

publisher.agency
London

May, 2026

No 13



London, England
7-8.05.2026

International
Scientific
Conference

Scientific Research and Experimental Development

UDC 001.1

P 97

Publisher.agency: Proceedings of the 13th International Scientific Conference «Scientific Research and Experimental Development» (May 7-8, 2026). London, England, 2026. 535p



ISBN 978-6-9264-3745-8

DOI 10.5281/zenodo.20122847

Editor: Dorothy Harrison, Professor, University of London

International Editorial Board:

Anna Davis

Professor, AECC University College

Donald Cooper

Professor, University of Bedfordshire

Samantha Simpson

Professor, Aston University

Patricia Wright

Professor, University of Bolton

Gary Walker

Professor, Buckinghamshire New University

Alexander Williams

Professor, University of Birmingham

Charlie Scott

Professor, University of Chichester

Tyler Davies

Professor, Arden University

Emily Price

Professor, University of Derby

Daniel Taylor

Professor, University of Huddersfield

Lauren Martin

Professor, Leeds Trinity University

William Marshall

Professor, University of Kent

Nancy Price

Professor, Keele University

Donald Martin

Professor, University of Hull

editor@publisher.agency

<https://publisher.agency/>

Table of Contents

Economic Sciences

PARTICULARITIES REGARDING KAZAKHSTANI ORGANIZATIONS' CAPITAL STRUCTURE FORMATION: SECTORAL AND INSTITUTIONAL ANALYSIS 8
SHEREKHAN D.M.

ДИАГНОСТИКА И ОЦЕНКА ОРГАНИЗАЦИОННОЙ КУЛЬТУРЫ КАК ОСНОВЫ СТРАТЕГИЧЕСКОГО РАЗВИТИЯ ОРГАНИЗАЦИИ.... 11
*КАЙДАРОВ БАҚДАУЛЕТ БАХЫТБЕКҰЛЫ
ЕРГАЛИЕВ БЕКСҰЛТАН МЕРЕКЕЕВИЧ
НҰРМАНОВ АМАҢГЕЛДІ БИГАЛИҰЛЫ
УРАЗБАЕВ ТИМУР АЛЕКСАНДРОВИЧ*

РАЗВИТИЕ ЛИДЕРСТВА В ПРОИЗВОДСТВЕННОЙ КОМПАНИИ 15
*СУТЕМГЕНОВА НАЗГУЛЬ ХАМИТОВНА
БИГАРИНОВ ЗЕЙБАТ МУРАТБЕКОВИЧ*

ЭФФЕКТИВНОСТЬ ПАССИВНЫХ И АКТИВНЫХ ИНВЕСТИЦИОННЫХ СТРАТЕГИЙ: ОПЫТ США И АКТУАЛЬНОСТЬ ДЛЯ КАЗАХСТАНСКОГО ИНВЕСТОРА 21
И.Б. ЖУМАДИЛОВ

A ONE-STOP PLATFORM FOR ETHICAL FASHION MANUFACTURING 30
*CAMILO SUESCUN
IMANA GUNAWAN
SANTANNA HUFF*

BLOKÇEYN ƏSASLI ON-CHAIN MƏLUMATLARIN DATA ANALİTİKA VƏ MAŞIN ÖYRƏNMƏSİ METODLARI VASİTƏSİLƏ KRİPTOVALYUTA BAZARLARININ TƏHLİLİ 48
İ.Ş. QURBANZADƏ

ВЛИЯНИЕ ESG-ФАКТОРОВ НА ИНВЕСТИЦИОННУЮ ПРИВЛЕКАТЕЛЬНОСТЬ КОМПАНИЙ..... 54
*МАСАНОВА ЛАУРА ЕРТАЕВНА
ДЖАМАЛОВА ЛЕЙЛА КАМАЛОВНА*

ЭКОНОМИКА КРЕАТИВНЫХ ИНДУСТРИЙ В ЭПОХУ ГЕНЕРАТИВНОГО ИИ 58
ТУШИЕВА МИЛАНА МАИРЭЛИЕВНА

РАЗРАБОТКА СТРАТЕГИИ УПРАВЛЕНИЯ ФИНАНСОВЫМИ РИСКАМИ КОМПАНИИ В УСЛОВИЯХ ЭКОНОМИЧЕСКОЙ ВОЛАТИЛЬНОСТИ..... 66
*ДЖАРИКБАЕВА ДИНАРА ТУРАРОВНА
ОСПАН ҰЛБОСЫН МУРАТҚЫЗЫ*

Pedagogical Sciences

DEVELOPMENT OF LOGICAL THINKING IN PRESCHOOL CHILDREN THROUGH DIGITAL APPLICATIONS BIBLIOMETRIC ANALYSIS.... 71
*BEKSULTANOVA U.M.
TLEUBAY S.T.*

THEORETICAL OVERVIEW OF DEVELOPING AUDITORY PERCEPTION IN HARD-OF-HEARING PRESCHOOL CHILDREN THROUGH FOLK TALES 83
*TAUBAI ALTYNAI ORAZBEKKYZY
BEKBAYEVA Z.N*

‘ТҰРАНБИКЕ’ АҢЫЗЫН МЕКТЕП БАҒДАРЛАМАСЫНА ЕНГІЗУДІҢ ПЕДАГОГИКАЛЫҚ МӘНІ 91
*ЕМБЕРГЕНОВА ГҰЛСИМАЙ АСКАРҚЫЗЫ
ТҰЛКОВА ГҰЛЖАН ҚАЖЫМУРАТҚЫЗЫ*

ИГРОВЫЕ МЕТОДЫ В ПРОЦЕССЕ ФОРМИРОВАНИЯ ПРОФЕССИОНАЛЬНЫХ КОМПЕТЕНЦИЙ УЧИТЕЛЯ 98
*С.А. АХЖОЖИН
С.Н. МАТАЛЫЦКИЙ*

AN EDUCATIONAL PSYCHOLOGY-INFORMED EP–MAT FRAMEWORK FOR IMPLEMENTING MULTIMODAL ART-BASED PSYCHOLOGICAL SUPPORT IN EDUCATIONAL SETTINGS..... 104
*HAN XIAOFEI
BAI YU
MUKASHEVA ANAR B.*

THE EFFECTIVENESS OF DEVELOPING STUDENTS’ CRITICAL THINKING SKILLS THROUGH ENGLISH LITERATURE 118
BEKMAGANBET NURMUKHAMBET SERIKBAIULY

PEDAGOGICAL TRANSFORMATION OF EDUCATION IN THE CONTEXT OF SUSTAINABLE DEVELOPMENT 127
MUKHIDENOVA BOTAGOZ

ВЗАИМОСВЯЗЬ ЯЗЫКА, ПСИХИКИ, ЛИЧНОСТИ И ОБЩЕСТВА В СОЦИАЛЬНО-ГУМАНИТАРНЫХ ИССЛЕДОВАНИЯХ: ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ПЕРСПЕКТИВЫ И ПЕДАГОГИЧЕСКИЕ ИМПЛИКАЦИИ ДЛЯ УНИВЕРСИТЕТСКОГО ОБУЧЕНИЯ ИНОСТРАННОМУ ЯЗЫКУ 140
*ЖАЗЫЛБЕКОВА ДИЛЯРА ДУЛАТОВНА
БИССЕНГАЛИЕВА САНИЯ АБЗАЛҚЫЗЫ
ПЕРНЕБАЙ АХЖУНИС АСЫЛБЕКҚЫЗЫ
МУҚТАР ЖАЗИРА АМАҢГЕЛДЫҚЫЗЫ*

АЛМҰРТ СОРТТАРЫН ОҚЫТУДА ОҚУ ҚҰРАЛЫН ҚОЛДАНУДЫҢ ТӘЖІРИБЕЛІК НӘТИЖЕЛЕРІ ЖӘНЕ ӘДІСТЕМЕЛІК ҰСЫНЫСТАР 148
*ИСАЕВ ҒАНИ ИСАҰЛЫ
ДӘНЕБЕК АҚЕРКЕ БЕРДІБЕКҚЫЗЫ*

ЖАЛПАҚ ЖАПЫРАҚТЫ АҒАШТАРДЫҢ ҚОРҒАНЫС МЕХАНИЗМДЕРІН ЗЕРТТЕУ АРҚЫЛЫ БІЛІМгерлердің ФУНКЦИОНАЛДЫҚ САУАТТЫЛЫҒЫН АРТТЫРУ	157
<i>ИСАЕВ ҒАНИ ИСАУЛЫ</i> <i>НАҚЫПОВА ЖІБЕК БАУЫРЖАНҚЫЗЫ</i>	
JUNIPERUS VIRGINIANA L. АҒАШЫНДАҒЫ МИКРОМИЦЕТТЕРДІҢ ФИТОСАНИТАРЛЫҚ ЖАҒДАЙҒА ӘСЕРІН КЕШЕНДІ БАҒАЛАУ	166
<i>ИСАЕВ ҒАНИ ИСАУЛЫ</i> <i>ТОМАШЕВА НУРИЛА АБДИЛАЗИЗҚЫЗЫ</i>	
ЦИФРЛЫҚ ОРТАДАҒЫ ОҚУ-ДАЛА ПРАКТИКАСЫ: КӘСІБИ ДАЯРЛЫҚТЫ ҚАЛЫПТАСТЫРУДЫҢ ИННОВАЦИЯЛЫҚ ӘДІСТЕМЕСІ	175
<i>ИСАЕВ ҒАНИ ИСАУЛЫ</i> <i>НУҒМАН РОЗА МЕЙРАМҚЫЗЫ</i>	
ҚАРА ЖАҒАҚТЫҢ (JUGLANS NIGRA L.) ЭКО-БИОЛОГИЯЛЫҚ ЗЕРТТЕУЛЕРІН ОҚУ ҮДЕРІСІНЕ ЕНГІЗУДІҢ ӘДІСТЕМЕЛІК НЕГІЗДЕРІ	185
<i>ИСАЕВ ҒАНИ ИСАУЛЫ</i> <i>МАУЛЕН БИҒАНЫМ ҚОЖАХМЕТҚЫЗЫ</i>	
ВОЗМОЖНОСТИ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА В ПРЕПОДАВАНИИ ТУРЕЦКОГО ЯЗЫКА	194
<i>ОМИРЗАҚ ЭЛЬМИРА КАУЫШҚЫЗЫ</i> <i>АБЛАЕВА РАЙХАН БАБАЙБЕКОВНА</i>	
THE ROLE OF ARTIFICIAL INTELLIGENCE IN FOREIGN LANGUAGE TEACHING: CAN IT FULLY REPLACE TEACHERS WITHOUT A LOSS OF QUALITY?	200
<i>ZARIROVA TAKHMINA SERIKOVNA</i> <i>ORYNBASSAR DARINA MANATOVNA</i> <i>BAKIROVA ZH.M</i>	
БИОТЕХНОЛОГИЯЛЫҚ ҰҒЫМДАРДЫ ҚАЛЫПТАСТЫРУДА ЗАМАНАУИ ЭЛЕКТРОНДЫҚ РЕСУРСТАРДЫҢ ПЕДАГОГИКАЛЫҚ ӘЛЕУЕТІ	209
<i>ИСАЕВ ҒАНИ ИСАУЛЫ</i> <i>ЖҰМАҒАЛИ МЕРУЕРТ ТАЛҒАТҚЫЗЫ</i>	
RƏQƏMSAL TƏHSİL MÜHİTİNDƏ KOMPÜTER TEXNOLOGİYALARININ ROLU VƏ İNKİŞAF PERSPEKTİVLƏRİ	217
<i>ZARAFSHAN AZAYEVA BABAKARIM</i> <i>GURBANOVA KHATIRA TAJADDIN</i>	
Legal Sciences	
LEGISLATIVE GAPS AS A FACTOR IMPEDING THE EXERCISE OF OWNERSHIP RIGHTS TO REAL ESTATE AND CERTAIN INTANGIBLE PROPERTY ASSETS IN GEORGIAN PRIVATE LAW	225
<i>GIORGI BARAMIDZE</i>	
Technical Sciences	
LOGİSTİKA ƏMƏLIYYATLARININ OPTİMALLAŞDIRILMASINDA PROQNÖZLAŞDIRICI ANALİTİKA METODLARININ TƏTBİQİ	233
<i>CAVADOV MURAD NAZIM</i>	
DEVELOPMENT OF A DECENTRALIZED VOTING SYSTEM UTILIZING BLOCKCHAIN AND MACHINE LEARNING	240
<i>AMANGELDY ALISHER YERZHANULY</i> <i>SAKHIPOV AIVAR AITUAROVICH</i>	
CREW PRODUCTIVITY AND QUALITY OUTCOMES IN MULTI-DISCIPLINE TELECOMMUNICATIONS CONSTRUCTION: A COMPARATIVE ANALYSIS OF INTEGRATED AND SILOED SUBCONTRACTING MODELS	250
<i>VADZIM CHARNETSKI</i>	
DEVELOPMENT OF REGULATORY DOCUMENTATION FOR SEMI-SMOKED SAUSAGES WITH ENHANCED SAFETY INDICATORS	261
<i>BEKAKHMETOV A.M</i>	
SÜNİ İNTELLEKT ƏSASLI AVTONOM COĞRAFI İNFORMASIYA SİSTEMLƏRİNİN FORMALAŞMASI, TƏTBİQ İMKANLARI VƏ İNKİŞAF PROBLEMLƏRİ	262
<i>GÜLTƏN MƏHƏRRƏMLİ NAİB</i>	
KRİTİK İNFORMASIYA İNFRASİTRUKTURUNUN VACİB OBYEKTƏRİNİN İNFORMASIYA MÜHAFİZƏSİ SİSTEMİNİN TƏDQIQI	271
<i>SƏMƏNDƏROV VAQIF ELŞAD</i> <i>MUSAYEV EMIN VÜQAR</i> <i>ŞAHBAZLI RƏVAN NAMIQ</i> <i>ƏSGƏROV RÖYAL CAMALƏDDİNOVIÇ</i> <i>HÜSEYNLI NİHAD AQIL OĞLU</i> <i>BAYRAM QƏNİMƏT OĞLU İBRAHİMOV</i>	
İNFORMASIYA SİSTEMLƏRİNİN ANALİZİ ÜSULLARI	276
<i>ŞİXBALAYEV ÜVEYS KƏRƏM</i>	
FORENSIC IDENTIFICATION OF BIOLOGICAL PAPER MILLS: UTILIZING RANDOM FOREST CLASSIFIERS TO DETECT STRUCTURAL AND TECHNICAL FINGERPRINTS	282
<i>NURKALAM HÜSEYNLI</i> <i>ORKHAN MAMMADLI</i>	
ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ВОДНЫХ РЕСУРСОВ ЕСИЛЬСКОГО ВОДОХОЗЯЙСТВЕННОГО БАССЕЙНА ОТРАСЛЯМИ ЭКОНОМИКИ	290
<i>ЖАНЫСОВ ДАУЛЕТ</i>	
ХАРАКТЕРИСТИКА УЙДЕНИНСКОЙ ОРОСИТЕЛЬНОЙ СИСТЕМЫ	298
<i>ИКАМБАЕВА АСЕЛЬ</i>	

МАГИСТРАЛЬНЫЕ КАНАЛЫ `ЖАНА-ТОГАМ` И `КОКТОГАМ` ТАРБАГАТАЙСКОГО РАЙОНА ВОСТОЧНО-КАЗАХСТАНСКОЙ ОБЛАСТИ	305
<i>ТУРСЫНХАНОВ АЙДАР</i>	
SELECTION OF TRANSPORTATION EQUIPMENT FOR ORE TRANSPORTATION IN THE DEVELOPMENT OF THE QADIR GOLD DEPOSIT	311
<i>ALIYAROVA K.H.E</i>	
<i>MAMEDOVA S.B</i>	
<i>DZHAFAROVA E.N</i>	
<i>AHMADOV R.SH.</i>	
РЕШЕНИЕ ПРОБЛЕМЫ ДИНАМИЧЕСКОГО ОБНУЛЕНИЯ СВОЙСТВА CHILD OBJECT В ВИРТУАЛЬНОМ МОДЕЛИРОВАНИИ РОБОТИЗИРОВАННЫХ ПАЛЛЕТИЗАЦИОННЫХ ЯЧЕЕК НА ПЛАТФОРМЕ ABB ROBOTSTUDIO	317
<i>АМИРОВ Али ЕРМУРАТУЛЫ</i>	
OBJEKT-MƏRKƏZLİ HADİSƏ JURNALLARI VƏ OCEL STANDARTININ PROCESS MINING ÜZRƏ TƏHLİL İMKANLARI	325
<i>ZƏHRƏ ƏSGƏROVA FAIQ QIZI</i>	
ALGORITHMS FOR THE MOVEMENT OF A MOBILE ROBOT WITH REAL-TIME TERRAIN MAPPING	331
<i>SHAHVEDLI MUSELLIM ELCHIN O.</i>	
AI SOLUTIONS AND INNOVATIVE CHOICES FOR REMOTE MANAGEMENT IN SMALL AND MEDIUM-SIZED ENTERPRISES (SMES)	336
<i>ALIYEVA NIGARXANIM</i>	
ВЕБ-ДИЗАЙН ТАРТЫМДЫ ЖӘНЕ ПАЙДАЛАНУШЫҒА ЫҢҒАЙЛЫ ВЕБ-САЙТТАРДЫ ЖАСАУ ӨНЕРІ	344
<i>ТАЛПАКОВА Б.Ә.</i>	
<i>КЕРІМБАЕВА В.Ж.</i>	
<i>АЙТБАЕВА Р.Б.</i>	
<i>АКЖОЛОВА А.И.</i>	
PYTHON ТІЛІН ҚОЛДАНА ОТЫРЫП, LATEX ҚҰЖАТТАРЫМЕН ЖҰМЫСТЫ АВТОМАТТАНДЫРУ	348
<i>АКЖОЛОВА А.И.</i>	
<i>КЕРІМБАЕВА В.Ж.</i>	
<i>АЙТБАЕВА Р.Б.</i>	
<i>ТАЛПАКОВА Б.Ә.</i>	
BRIDGING THE RUST REVERSE ENGINEERING GAP: AUTOMATED DEMANGLING AND FUNCTION IDENTIFICATION IN GHIDRA....	352
<i>MEIRAMBEK DINMUKHAMMED</i>	

Geological and Mineralogical Sciences

ASSESSMENT OF GROUNDWATER POTENTIAL ZONES IN THE LANKARAN HYDROGEOLOGICAL BASIN (AZERBAIJAN) USING GIS AND AHP TECHNIQUES	366
<i>EMIL FATULLAYEV</i>	

Political Studies

ХАЛЫҚАРАЛЫҚ ҚАТЫНАСТАР МЕН КИНО ӨНЕРІНІҢ ҮЙЛЕСІМІ: ДИПЛОМАТИЯ МЕН МӘДЕНИЕТТІҢ ТОҒЫСУЫ	370
<i>МОЛДАШ Аида Айболқызы</i>	
<i>ТУЛЕКОВА ГУЛЖАН ХАЖМУРАТОВНА</i>	

Chemical Sciences

END-OF-LIFE POLYETHYLENE-BASED COMPOSITIONS	376
<i>DR. İRADE ABDULLAYEVA GURBAN</i>	
<i>CEMALEDDIN EBDURREHMANOV AKIF</i>	
INVESTIGATION OF THE PROPERTIES OF COMPOSITE MATERIALS BASED ON ISOPRENE RUBBER MECHANOCHEMICALLY MODIFIED WITH HEAVY PYROLYSIS TAR	381
<i>İ.A.MEMMEDHUSEYNOVA</i>	
<i>Ş.Z.GÖYÜŞHOV</i>	

Culturology

САЛТ-ДӘСТҮРЛЕР МЕН РУХАНИ МӘДЕНИЕТ АРҚЫЛЫ ҚАЗАҚ ҚОҒАМЫН ТАЛУ: ШОҚАН УӘЛИХАНОВ КӨЗҚАРАСЫ	387
<i>ПЕРНЕБЕКОВА АЙГЕРІМ</i>	
<i>ТУЛЕКОВА ГУЛЖАН ҚАЖЫМУРАТҚЫЗЫ</i>	

Medical Sciences

ПРЕЖДЕВРЕМЕННЫЕ РОДЫ: ПРИЧИНЫ, СИМПТОМЫ И ДИАГНОСТИКА УГРОЗЫ	391
<i>АРАЛБЕК ЖАҢЫЛ</i>	
<i>МУХТАРОВА АЙНУР ҚАЙРАТҚЫЗЫ</i>	
<i>РҒЕБАЕВА АЯУЛЫМ БАУЫРЖАНҚЫЗЫ</i>	
<i>МУКАШЕВА НУРАЙ БАУРЖАНОВНА</i>	
<i>КИНАЯТОВА ШОЛПАН ҚАЙРАТОВНА</i>	
ХРОНИЧЕСКИЙ ГАСТРИТ У ВЗРОСЛЫХ: ЭПИДЕМИОЛОГИЯ, ГРУППЫ РИСКА И СОВРЕМЕННЫЕ ПОДХОДЫ К ЛЕЧЕНИЮ И ПРОФИЛАКТИКУ	403
<i>ҚАЛДАРБЕК ЕРКЕМАРАЛ ДОСЫМБЕКОВНА</i>	
<i>ОТУМБАЕВА ЕНЛИК ТОЙЛЫБЕКОВНА</i>	
ОСТРЫЙ МИОКАРДИТ, ИМИТИРУЮЩИЙ ОСТРЫЙ КОРОНАРНЫЙ СИНДРОМ: КЛИНИЧЕСКИЙ СЛУЧАЙ	407
<i>СУЛТАН АЙЖАН СМАҒҰЛҚЫЗЫ</i>	
<i>АСЫЛЖАН АЗАТ</i>	
<i>ТАУЕКЕЛОВА МЕДИНА КОРГАНБЕКОВНА</i>	

Historical Sciences

АЙМАҚТЫҚ БАСҚАРУ ТӘЖІРБИЕСІ ЖӘНЕ ТҰРАНБИКЕ АҢЫЗЫ	411
<i>САБЕК ДИЛЬНАЗ</i>	
<i>ТУЛЕКОВА ГҮЛЖАН</i>	

Physical and Mathematical Sciences

ЖАҢАРТЫЛАТЫН ЭНЕРГИЯ – БОЛАШАҚТЫҢ КӨЗІ	415
<i>НИШАНТАЕВ Б.З.</i>	
<i>А.С. БАЛТАБЕКОВ</i>	

Literature

ТРАНСФОРМАЦИЯ СОВРЕМЕННОЙ ПОЭЗИИ В ИНТЕРНЕТ-ЛИТЕРАТУРЕ: СЕТЕВЫЕ ФОРМЫ И МЕДИАПОЭТИКА.....	418
<i>АРЫН ЕРКЕЖАН ЖАРАСҚЫЗЫ</i>	

Art History

METHODOLOGICAL FOUNDATIONS FOR THE APPLICATION OF AI TOOLS IN THE PROFESSIONAL AND CREATIVE TRAINING OF MUSICAL POP ARTISTS.....	420
<i>SHINDAULOVA R.B.</i>	
<i>OSERBAEVA ZH. B.</i>	
VISUAL AND CONCEPTUAL CHARACTERISTICS OF POSTMODERN TYPOGRAPHY IN CONTEMPORARY POSTER DESIGN	425
<i>ALLAHVERDIYEV ULVI</i>	

Political Studies

ОЛЖАС СҮЛЕЙМЕНОВТЫҢ ХАЛЫҚАРАЛЫҚ МӘДЕНИ ДИПЛОМАТИЯҒА ҚОСҚАН ҮЛЕСІ.....	434
<i>ХАЙРОЛ НҮРГҮЛ ЖЕҢІСҚЫЗЫ</i>	
<i>ТУЛЕКОВА ГҮЛЖАН ХАЖМУРАТОВНА</i>	

Agricultural Sciences

СРАВНИТЕЛЬНАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА АЙРАНА ИЗ КОРОВЬЕГО И КОЗЬЕГО МОЛОКА: ОРГАНОЛЕПТИЧЕСКИЕ И ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ КАЧЕСТВА.....	439
<i>АЛИМАРДАНОВА МАРИЯ КАЛАБАЕВНА</i>	
<i>БИСЕН АЛЬМИРА НҮРЖАНҚЫЗЫ</i>	

Philological Sciences

TÜRKÇE-ÇİNCE DİL İLİŞKİLERİ VE ÇİNCEYE GEÇEN TÜRKÇE SÖZCÜKLER ÜZERİNE BİR İNCELEME	444
<i>SVETLANA SHUINSHINA</i>	
<i>SEAD IBRIĆ</i>	
TRANSLATING CHILDREN’S LITERATURE: ENGLISH-KAZAKH ANALYSIS OF PETER PAN	449
<i>A.E. OLZHATAY</i>	
<i>A.D. RUMKUL</i>	
<i>A.B. NABIYEVA</i>	

Architecture

ПРЕИМУЩЕСТВА МУЗЕЕФИКАЦИИ БОРАЛДАЙСКИХ КУРГАНОВ ПОСРЕДСТВОМ СОЗДАНИЯ СТАЦИОНАРНОГО МУЗЕЙНОГО КОМПЛЕКСА ВМЕСТО ЭТНОПАРКА.....	452
<i>САДЫКОВА ДИЛЬНАЗ ХАЛМУРАТОВНА</i>	
<i>САМОЙЛОВ КОНСТАНТИН ИВАНОВИЧ</i>	
ЦИФРОВОЙ ДВОЙНИК ЖИЛОГО ЗДАНИЯ: ОТ BIM-МОДЕЛИ РЕКОНСТРУКЦИИ К ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СИСТЕМЕ УПРАВЛЕНИЯ ЭКСПЛУАТАЦИЕЙ	457
<i>ӨМІРЗАҚ АЙДАНА БЕРДІҒАЛИҚЫЗЫ</i>	
<i>МАУЛЕНОВА ГУЛЬНАР ДЖУПАРБЕКОВНА</i>	
THE CONCEPT AND FACTORS OF FORMING URBAN IDENTITY	464
<i>ZIYADA ZHANTUAR MUKHTARULY</i>	

Geographic Sciences

GREEN GEOGRAPHY EDUCATION: GREEN SKILLS AND SUSTAINABLE DEVELOPMENT IN SCHOOL GEOGRAPHY.....	476
<i>TOLEPBERGENOV SAKEN</i>	

Biological Sciences

БИОИНЖЕНЕРНЫЕ СТРАТЕГИИ СОХРАНЕНИЯ ОБЪЕКТОВ КУЛЬТУРНОГО НАСЛЕДИЯ В УСЛОВИЯХ БИОЛОГИЧЕСКОЙ ДЕГРАДАЦИИ: ГЕРМЕНЕВТИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ НАУЧНОЙ ЛИТЕРАТУРЫ.....	488
<i>ДАМЕНОВА ФАРИДА ГАБДУЛЛАҚЫЗЫ</i>	
<i>БЕКТУРОВА АСЕМГҮЛЬ ЖАМБҮЛОВНА</i>	

СРАВНИТЕЛЬНАЯ ОЦЕНКА ТЕХНОЛОГИЙ ЭКСТРАКЦИИ ЭКДИСТЕРОИДОВ ИЗ НАДЗЕМНОЙ ЧАСТИ РАСТЕНИЯ SILENE
BRAHUICA.....494

ЖАЛҒАСБАЙҚЫЗЫ ЖАНСАЯ
ТЫНЫКУЛОВ МАРАТ КОРҒАНБЕКОВИЧ

БИОЛОГИЧЕСКАЯ ФИКСАЦИЯ АЗОТА И ПОТЕНЦИАЛ АЗОТФИКСИРУЮЩИХ БАКТЕРИЙ В УСТОЙЧИВОМ СЕЛЬСКОМ
ХОЗЯЙСТВЕ: СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ И ПЕРСПЕКТИВЫ 501

ДОСТАНБЕКОВА НАЗИРА КАНАТОВНА
САЛХОЖАЕВА ГАУХАР МАДЫХАНОВНА

VIRTUAL BIOCHEMICAL TWINS OF HUMAN ORGANOIDS: PREDICTIVE MODELING OF DISEASE STATE TRANSITIONS THROUGH
INTEGRATED SPATIAL MULTIOMICS AND PERTURBATION DYNAMICS 508

DAVID APHKHAZAVA
LEVAN GULUA
MZIA TSIKLAURI
MANANA MAKHARADZE
MAIA BERODZE
NODAR SULASHVILI
GIORGI MARGVELANI
MAIA BERODZE
TAMUNA SAMADASHVILI
NINO MAZIASHVILI
LOLITA SHENGELIA
YASHASVEE SAURABH
GEORGE MAGLAKELIDZE
ILIA ATANELISHVILI

Philosophical Sciences

WAR AS AN EXTREME FORM OF CONFLICT 533

TAGHIYEVA ZAYJAN VALI

Economic Sciences

Particularities Regarding Kazakhstani Organizations' Capital Structure Formation: Sectoral and Institutional Analysis

Sherekhan D.M.

2nd-year master's student of the accounting and audit program, Karaganda National Research University named after E.A. Buketov

Abstract

This research examines Kazakhstani organizations' capital structure formation through sectoral and institutional lenses. By analyzing 2018–2024 financial reports, the study identifies an "institutionally adapted hierarchy" model influenced by banking dominance, limited stock market depth, and significant quasi-public sector involvement. Sectoral analysis reveals that while the extractive industry follows mature international financial patterns, domestically oriented sectors remain vulnerable to monetary policy shifts due to short-term credit reliance. The study recommends diversifying financing sources and stimulating corporate bond markets to enhance enterprise resilience.

Keywords: capital structure, financial leverage, Kazakhstan, sectoral analysis, institutional factors, bank lending, quasi-public sector, macroeconomic volatility, comparative analysis.

An optimal capital structure serves as a primary determinant for company value and financial stability. Within the context of the Kazakhstani economy's resource-dependent nature and the state's predominant role, this issue gains particular significance for enterprise competitiveness and global market integration. Consequently, the relevance regarding effective financial decision-making - while considering national economic specificities - continues to grow.

Classic capital structure theories, such as Modigliani-Miller, trade-off, and pecking order, are based upon developed markets; thus, their application within Kazakhstan remains limited by several institutional factors. Primarily, the domestic stock market's (KASE) weak development and expensive equity issuance narrow capital-raising opportunities. As a result, bank lending dominates the economy, making enterprise financial strategies directly dependent upon banking policy. Furthermore, high ownership concentration and controlling shareholders' (families or holdings) strategic interests significantly influence decision-making processes. Additionally, the quasi-public sector's unique role and state support mechanisms direct company financing logic toward socio-economic priorities rather than purely commercial goals. Kazakhstan's capital structure is characterized by an "institutionally adapted hierarchy" based on resource accessibility and large shareholders' strategic interests rather than WACC optimization. [1, 2, 3]

Analyzing company financial statements from 2018–2024 (via KASE, Bureau van Dijk Orbis data, and public reports) identifies several stable sectoral models: (Table 1), [4,5]

Table 1. Kazakhstani Sectoral Capital Structure Characteristic Parameters (Mean Values)

Sector	Debt/Assets Ratio	Dominant Debt Type	Primary Structural Factors
Extractive Industry (Oil, gas, metals)	40-55%	Long-term (including international syndicated credits, Eurobonds)	High capital intensity, stable cash flows, international capital market access, commodity market conditions.
Transport and Logistics	50-65%	Long-term (equipment leasing, targeted credits)	High fixed asset costs, long payback periods, state infrastructural program support.
Telecommunications	45-60%	Long-term	Persistent network and technology investment needs, oligopolistic market.
Trade (Retail, FMCG)	35-50%	Short-term (working capital replenishment)	High turnover, seasonality, and import dependency.
Construction	60-75%	Mixed (short-term for materials; long-term for projects)	High operational and financial leverage, cyclicity, dependence upon shareholder prepayments.

Sectoral analysis results indicate that Kazakhstan's economic capital structure varies according to each sector's specificities. While the resource sector demonstrates a "mature" financial model aligned with global standards by utilizing international market opportunities, infrastructure sectors like transport and telecommunications maintain high leverage levels supported by stable cash flows. Conversely, domestically oriented sectors - trade, agriculture, and construction - remain financially vulnerable and highly sensitive to monetary policy changes due to their reliance upon short-term bank loans. [4,5]

Kazakhstani capital structure's institutional determinants are characterized by quasi-public sector dominance, macroeconomic volatility, and stringent banking system requirements. State-owned companies' aggressive leverage serves as a market benchmark, while Tenge devaluation and high interest rates force the non-resource sector to seek short-term financing and minimize currency risks. Compared to developed nations, the domestic model prioritizes resource accessibility and macro-shock adaptation over WACC optimization, placing Kazakhstan in an intermediary stage transitioning from a bank-dependent system toward a hybrid model. [2,5]

The study concludes that the country's capital structure aligns with an "adaptive hierarchy" model featuring distinct sectoral disparities. To address these issues, companies are encouraged to utilize stress-testing and source diversification, while the state should incentivize the corporate bond market and modernize collateral policies. Future scientific inquiries should more deeply examine ownership form (family versus institutional control) impacts on financial decisions and state subsidy effectiveness regarding non-resource enterprise sustainability.

References

1. Giglio, F. (2022). The Capital Structure through the Modigliani and Miller Model. International Business Research.
2. Pinillos Villamizar, et al. (2025). Analysis of the Capital Structure of Latin American Companies in Light of Trade-Off and Pecking Order Theories. MDPI.
3. Amir (2023) & Puwanenthiren (2021). Impact of factors influencing capital structure in emerging markets.
4. Agency for Strategic Planning and Reforms of the Republic of Kazakhstan (Bureau of National Statistics).
5. National Bank of the Republic of Kazakhstan.

Диагностика и оценка организационной культуры как основы стратегического развития организации

Кайдаров Бақдаулет Бахытбекулы

Казахстанско-Британский технический университет, Казахстан, Алматы

Ергалиев Бексултан Мерекеевич

Казахстанско-Британский технический университет, Казахстан, Алматы

Нұрманов Амангелді Бигалиұлы

Казахстанско-Британский технический университет, Казахстан, Алматы

Уразбаев Тимур Александрович

Казахстанско-Британский технический университет, Казахстан, Алматы

Социально-экономические преобразования в Казахстане свидетельствуют о непрерывном процессе зарождения, развития и распада большого числа организаций.

Сложный характер рыночных реформ изменил акценты в современном управлении организациями. Бюрократические, авторитарные и технократические инструменты руководства в условиях дефицита времени, информации и людей оказались по большей части неэффективными. Выбранный когда-то давно технократический способ существования, хотя еще доминирует, но во многом уже исчерпал себя. Современные теории гуманного управления – это попытка и возможность перейти к гармоничному способу существования, основанному, прежде всего, на развитии личности и определении ее места в мире. Такой подход предполагает новое видение управленческих отношений руководителей, их ориентацию на раскрытие потенциала человеческого капитала.

В настоящее время круг проблем, затрагиваемых при исследовании организаций, непрерывно расширяется. Выделились в отдельные направления исследования организации информационных потоков в управлении; исследование организации механизма выдвижения, принятия и изменения целей; мотивации деятельности управленческого персонала и организационных отношений. Активно изучается и исследуется влияние последствий внедрения достижений научно-технического прогресса на организационные изменения, исследуются и разрабатываются механизмы влияния организационной культуры на реализацию краткосрочных и долгосрочных стратегических целей организации.

Любая организация вне зависимости от ее размеров и сферы деятельности является не только технико-экономической, но и социальной системой, что непременно предполагает возникновение трудностей в разработки внедрения и реализации стратегий перспективного развития, и последующую реализацию необходимых организационных изменений. Не последнюю роль при этом играет, уже сложившаяся в организации организационная культура. Ее можно признать, и это подтверждают последние исследования, основным показателем, необходимым для правильного понимания и управления организационным поведением людей, работающих в организации, организации в целом.

Проблематика изучения организации как культурного феномена не является чем-то новым для социологии и восходит к традициям М. Вебера, Т. Парсонса, К. Левина. Однако само введение термина «организационная культура» и его детальная проработка датируется недалеким прошлым, фокусирование внимания на исследованиях этого социального феномена датируется концом 1970-х годов. С этого момента определились различия в

подходах к исследованию организационной культуры.

В целом концепции организационной культуры условно можно разделить на две большие группы. Первая рассматривает организационную культуру как атрибут организации, предполагая возможность влиять на ее формирование. Этот подход условно называется «рационально-прагматическим».

Второй трактует организационную культуру как обозначение самой сути организации, то, чем она по существу является; этот подход часто ассоциируется с «феноменологической моделью организации».

В основе первого, рационально-прагматического подхода лежит положения, разработанные Э. Шейном. Организационная культура, по его мнению, представляет собой интегрированный набор базовых представлений, которые данная организационная группа изобрела, случайно раскрыла, позаимствовала или достигла каким-либо иным путем, как попытка решения проблем адаптации организации к внешней среде и внутренней интеграции, которые в свою очередь, достаточно эффективно послужили организации, чтобы быть признанными, действенными и достаточными для их закрепления и передачи новым поколениям членов организации.

Организационная культура может проявляться на нескольких уровнях. Первый, самый доступный, составляет видимые культурные артефакты, к которым можно отнести такие ее проявления как применяемая технология и архитектура, использование пространства и времени, устойчивые способы поведения членов организации, язык, лозунги, или все, что можно ощущать и воспринимать через чувства человека. Все эти проявления легко обнаружить, и они доступны для наблюдения и описания. При этом гораздо труднее ответить на вопрос, почему в данной организации они приняли такую форму.

Второй уровень – уровень организационных ценностей. В отличие от культурных артефактов, ценности не видны непосредственно: их обнаружение требует серьезной исследовательской работы. Но культура определяется не декларируемыми ценностями, а, как правило, неосознанными «базовыми представлениями», которые составляют третий уровень организационной культуры. Базовые представления определяют то, как члены группы воспринимают окружающее, что они делают, думают, чувствуют.

Представители первого подхода – Э. Шейн, Т. Питерс, Р. Уоттермен – формирование организационной культуры связывают с процессами, происходящими внутри организации, то есть формирование организационной культуры рассматривается как итог внутренних процессов, протекающих в организации, в той или иной степени управляемых.

Второе направление исследований организационной культуры (феноменологическое) восходит к теоретическим разработкам Д. Сильвермана и П. Бергера. Так, Д. Сильверман делает попытку переосмыслить взаимосвязь правил организационного поведения и организационных целей. Он предлагает отказаться от взгляда на организацию как инстанцию, предопределяющую поведение работника, а сосредотачивает внимание на том, как участники используют формальные правила для определения и интерпретации своего поведения и поведения окружающих.

Правила поведения вырабатываются самими членами организации. Они составляют некую конвенциональную реальность, в которой живут и действуют ее члены. Формальные правила действуют в социальных ситуациях, посредством постоянной интерпретации их значений в каждом контексте принятия решения.

Деятельность, которая выглядит организованной согласно правилам, на самом деле представляет собой продукт практической деятельности членов организации, и в лучшем случае демонстрирует, что то, что они делают, соответствует установленным правилам.

Организационную культуру, таким образом можно определить в виде совокупности «признанных в организации ценностей, убеждений, норм и форм поведения» [1, с. 55]

разделяемых всеми членами организаций. Носителями организационной культуры являются люди, работающие в организации. Именно они создают тот порядок вещей, те системы отношений и те образцы поведения, которые складываются в организации в тех или иных обстоятельствах. Только они создают те «неписаные» правила, определяющие, как должны работать и вести себя люди в данной организации. При этом речь идет об убеждениях и ценностях, которые в большей или меньшей степени разделяются подавляющим большинством членов организации.

Содержание работы, личность руководителя и стиль руководства, которого он придерживается в своей работе, особенности психологического климата в трудовом коллективе – эти и другие факторы оказывают свое влияние на организационную культуру конкретного подразделения. Организационная культура будет соответствовать выбранной стратегии, если она будет соотнесена с восприятием, мышлением и мотивами работников организации, поскольку организационная культура зарождается в первую очередь в головах людей.

В свою очередь, организационно-культурные ценности могут оказывать существенное влияние и на мотивацию, и взаимодействие в процессе труда, и текучесть кадров в организации, и, в конечном счете, на эффективность деятельности работников.

В организационной культуре наиболее интересен механизм ее влияния на поведение и работу членов организации. Являясь ядром организационной культуры, ценности могут быть как позитивными, ориентирующими людей на такие образцы поведения, которые поддерживают достижение организационных целей, так и негативные, которые отрицательно влияют на организационную эффективность.

В основе организационной культуры лежит и система отношений, это те отношения, которые формируют и определяют поведенческие нормы и рабочее поведение членов организации (например, отношение персонала к работе, отношения руководства к работникам, отношения между работниками в организации).

Еще один аспект организационной культуры – поведенческие нормы, это те требования к поведению работников, которые воспринимаются ими как некий свод правил, определяющих, каким должно быть «правильное», «должное» поведение членов организации в тех или иных стандартных ситуациях.

Нельзя не сказать о действиях и поведении работников, направленных на достижение конкретных результатов или выполнение порученных заданий. Это наблюдаемое проявление организационной культуры, ее внешняя сторона. Именно по действиям и поведению работников можно судить о том, каково в целом состояние организационной культуры, способствует ли она эффективной работе организации, поддерживает ли стратегию развития, способствует ли успеху проведения различных организационных изменений.

Для формирования организационной культуры, которая бы поддерживала стратегию организационного развития, руководство предприятия должно предпринять ряд шагов.

Во-первых, чтобы организационная культура «работала» на повышение эффективности организации, она должна поддерживать стратегию и миссию.

Во-вторых, необходимо изучить уже сложившуюся организационную культуру. Ее изучение является предпосылкой успешного изменения. Прежде, чем изменять, необходимо знать, что и как изменять. Необходимо найти ответ на вопрос о том, что из себя представляет сегодняшняя организационная культура, какой должна быть организационная культура, чтобы она поддерживала разработанную стратегию организационного развития и изменений.

В-третьих, нужно проанализировать документы, регламентирующие деятельность

организации. Культура организации находит свое отражение и в документах (планах, программах, приказах, распоряжениях, положениях), и хотя живая культура больше отражается в представлениях и ценностях работников и руководителей, чем в документах, пренебрегать этим источником не стоит.

В-четвертых, обязательным должно быть изучение сложившихся в организации правил и традиций. Изучение действующих в организации традиций, формальных и неформальных правил должно быть направлено на определение того. Какое влияние они оказывают на рабочее поведение персонала, и в какой степени они поддерживают выработанную руководством стратегию выбранного организационного развития.

И, наконец, в-пятых, особенно важным является изучение сложившейся в организации практики управления. Сложившаяся в организации практика управления является важным источником информации о преобладающей организационной культуре. Поскольку не всегда сложившаяся организационная культура способствует эффективной работе персонала.

Таким образом, организационная культура может выступать в качестве действенного инструмента, который обеспечивает настрой персонала на высокую производительность и высокое качество в работе. Формирование и поддержание такой культуры, которая бы повышала бы отдачу от людей, работающих в организации, способствовала повышению ее эффективности и конкурентоспособности, – это одна из важнейших стратегических задач высшего руководства.

Литература

1. Гибсон Дж., Иванцевич Д.М., Донелли Д.Х.-мл. Организации: поведение, структура, процессы. – М., 2000.

РАЗВИТИЕ ЛИДЕРСТВА В ПРОИЗВОДСТВЕННОЙ КОМПАНИИ

Сутемгенова Назгуль Хамитовна

Казахстанско-Британский технический университет, Алматы, Казахстан

Бигаринов Зейбат Муратбекович

Казахстанско-Британский технический университет, Алматы, Казахстан

Введение

Лидерство остается одним из наиболее дискутированных и изучаемых аспектов в сфере менеджмента и организационной теории. Определение лидерства как способности воздействовать на подчиненных с целью достижения организационных целей выделяется в научной литературе [1]. В производственной компании роль лидера становится еще более критичной, учитывая необходимость постоянной оптимизации процессов, управления ресурсами и координации труда множества специалистов.

Производственное предприятие представляет собой сложную структуру, в которой действует множество переменных: технологические инновации, экономические факторы, социально- психологический климат и многие другие [2]. В этом контексте лидеры играют ключевую роль, служа связующим звеном между стратегией и ее реализацией на операционном уровне.

Следует отметить, что понимание лидерства в производстве претерпело существенные изменения на протяжении последних десятилетий. Если ранее акцент делался на авторитете и иерархии, то современные исследования подчеркивают значение эмоционального интеллекта, гибкости и способности адаптироваться к изменяющимся условиям [3]. Таким образом, изучение лидерства и его развитие в производственной среде становится не только актуальным, но и необходимым для обеспечения конкурентоспособности и эффективности бизнеса.

Цель данной статьи – систематизировать основные подходы к развитию лидерства в производственной компании, выделить ключевые компетенции лидера в производственной среде и предложить рекомендации по его формированию и развитию на основе анализа актуальных научных исследований.

1. Литературный обзор

Лидерство, как ключевой аспект управления организацией, привлекает внимание ученых и исследователей уже многие десятилетия. Ряд основных теорий и подходов был разработан с целью понимания и определения природы лидерства и его роли в организационном контексте. Традиционные модели лидерства фокусировались на индивидуальных характеристиках лидера и рассматривали лидерство как набор определенных качеств или черт характера.

Этот подход был основан на исследованиях, направленных на выявление атрибутов, которые отличают лидеров от не-лидеров [4]. Однако со временем стало понятно, что лидерство не может быть связано исключительно с индивидуальными характеристиками.

В середине XX века фокус исследований переместился с индивидуальных характеристик на поведение лидеров. Предполагалось, что лидерство может быть изучено через анализ конкретных действий и решений лидеров в различных ситуациях [5]. Ряд исследований был направлен на выявление конкретных стилей управления, которые могут быть эффективными в разных организационных контекстах.

Следующим шагом в изучении лидерства стало признание того, что эффективность

лидера во многом зависит от контекста и ситуации. Ситуационные модели утверждали, что лучший стиль управления зависит от различных факторов, включая характеристики подчиненных, природу задач и организационную культуру [6].

В последние десятилетия ученые стали акцентировать внимание на таких аспектах, как трансформационное лидерство, эмоциональный интеллект и служебное лидерство [7]. Эти модели считают, что современные лидеры должны быть способными вдохновлять, мотивировать и служить своим подчиненным, а также адаптироваться к быстро меняющимся условиям внешней и внутренней среды.

В контексте производственных компаний особое внимание уделяется вопросам интеграции лидерских компетенций с техническими знаниями и навыками, а также возможностями по оптимизации производственных процессов и управлению инновациями [8]. Специфика производственной среды требует от лидеров наличие определенных компетенций и навыков. В частности, важность понимания технических процессов, умения координировать работу больших команд и способность адаптироваться к быстро меняющимся производственным условиям [9].

В заключение литературного обзора следует отметить, что развитие лидерства в производственной компании требует комплексного подхода, учитывающего как классические, так и современные теории и модели лидерства, а также специфику производственной среды.

2. Историческая перспектива развития лидерства

Лидерство древних времен и современности имеет множество различий, но и общие корни. Анализ исторического контекста позволяет понять, как развивались концепции лидерства, и какие факторы влияли на изменения в этой области.

В древних обществах лидер был в основном вождем или монархом. Его авторитет часто был основан на физической силе, родословной или духовной мощи [10]. В таких культурах лидерство связывали с героическими деяниями или божественным предназначением. С появлением городов-государств в Древней Греции и Риме начали формироваться более сложные концепции управления и лидерства. Философы, такие как Платон и Аристотель, обсуждали идеалы правителей и их долги перед гражданами [11]. Таким образом эти идеи закладывали основы для понимания лидерства как искусства управления, а не просто как авторитарного господства.

В Средневековья и Ренессанса роль лидерства стала еще более сложной из-за взаимодействия церкви и государства. В то время как монархи стремились укрепить свою власть, церковь утверждала свои моральные и духовные принципы лидерства [12]. Этот период также дал начало первым представлениям о дипломатии и международном лидерстве.

Промышленная революция привнесла в лидерство концепции управления и организации труда. Новые производственные методы требовали от руководителей навыков управления сложными структурами и большим количеством рабочих. Это привело к развитию идеи менеджмента как отдельной дисциплины.

В современный период исследования в области лидерства стали более многочисленными и дифференцированными. Возникли новые теории, такие как трансформационное, транзакционное и харизматическое лидерства. Также акцент был сделан на развитии эмоционального интеллекта, кросс-культурного лидерства и лидерства в условиях цифровой трансформации.

В заключении следует отметить, что лидерство не является статичным понятием. Оно эволюционировало в ответ на социальные, экономические и технологические изменения, отражая дух каждой эпохи.

3. Ключевые компетенции лидера в производственной компании

Лидер в производственной компании стоит перед особыми задачами и вызовами, требующими наличия определенных компетенций. Эти компетенции определяются как совокупность знаний, навыков и способностей, которые необходимы для эффективного управления производственной деятельностью:

1) Техническая грамотность. Лидер в производственной компании должен обладать достаточными техническими знаниями для понимания основных производственных процессов, используемых технологий и инструментов. Это позволяет ему принимать обоснованные решения и координировать работу команды.

2) Умение работать в команде. Лидерство в производстве часто требует координации усилий многих специалистов. Эффективное взаимодействие и управление командой являются ключевыми навыками, которые позволяют достигать корпоративных целей.

3) Стратегическое мышление. В быстро меняющемся мире производства лидеры должны уметь видеть долгосрочную перспективу, анализировать рынок, выявлять потенциальные риски и возможности для роста. Стратегическое мышление помогает формировать будущее компании и определять пути ее развития.

4) Проблемно-ориентированное мышление. В производственной среде часто возникают сложные и многогранные проблемы. Лидеру требуется умение быстро определять причины проблем, разрабатывать и внедрять эффективные решения.

5) Эффективная коммуникация является ключом к управлению командой, проведению переговоров с партнерами и клиентами, а также представлению интересов компании перед внешними стейкхолдерами. Лидер должен быть способен четко и убедительно излагать свои мысли, а также слушать и учитывать мнение других.

6) Умение адаптироваться к изменениям. В условиях постоянных изменений на рынке и внедрения новых технологий, гибкость и способность адаптироваться к новым условиям становятся одними из ключевых качеств успешного лидера.

Таким образом делается вывод о том, что эффективное лидерство в производственной компании требует комплексного подхода и постоянного развития навыков и компетенций. Лидер должен быть готов к обучению и самосовершенствованию для соответствия новым вызовам и возможностям.

4. Методы формирования и развития лидерских качеств

Формирование и развитие лидерских качеств является задачей, актуальной для организаций различных масштабов и профилей. Производственные компании, акцентируя внимание на операционной эффективности, должны также придавать значение развитию лидерства среди своих кадров. Рассмотрим основные методы, применяемые для достижения этой цели:

1) Коучинг и менторство. Через персональное взаимодействие с опытным лидером или тренером сотрудники получают обратную связь, инсайты и рекомендации по улучшению своих лидерских навыков. Менторство может предоставить ценные уроки из реальной практики, а коучинг помогает выявить и разработать индивидуальные потенциальные возможности.

2) Тренинги и семинары. Организованные программы обучения, направленные на развитие конкретных лидерских компетенций, могут дать сотрудникам необходимые инструменты и техники. Через ролевые игры, кейсы и групповые дискуссии участники тренингов погружаются в реальные ситуации, требующие проявления лидерства.

3) Оценка «360-градусов». Этот метод предполагает получение обратной связи о лидерских качествах сотрудника от коллег, подчиненных, руководителей и даже клиентов.

Подобный комплексный анализ позволяет выявить сильные стороны лидера и области для дальнейшего развития.

4) Кейс-метод. Анализ реальных ситуаций из практики бизнеса позволяет участникам развивать аналитическое мышление, усваивать опыт принятия решений в сложных условиях и формировать стратегический взгляд на ситуацию.

5) Работа в командных проектах. Вовлечение в командные проекты дает возможность реального применения лидерских навыков, участия в коллективном принятии решений и развития навыков управления ресурсами и временем.

6) Самообразование. Ведущие лидеры постоянно стремятся к самообразованию, изучая новые теории лидерства, анализируя кейсы из практики и адаптируя лучшие мировые практики к своей деятельности.

В заключение следует отметить, что формирование и развитие лидерских качеств требует комплексного и системного подхода. Организации должны создавать условия для многогранного развития своих лидеров, сочетая формальные методы обучения с практическим опытом.

5. Роль корпоративной культуры в формировании лидерства

Корпоративная культура оказывает значительное влияние на деятельность любой организации, влияя на поведение, ценности и ориентиры сотрудников. Ее роль в формировании лидерства часто недооценена, однако она служит ключевым фактором в определении того, какие лидерские качества будут цениться, поощряться и развиваться внутри компании.

Основные ценности, пропагандируемые в рамках корпоративной культуры, определяют, какие лидерские качества будут восприниматься как желательные. Например, культура, акцентирующая внимание на инновациях, будет поощрять лидеров, способных к творческому мышлению и риску. Также корпоративная культура устанавливает определенные стандарты или ожидания по поводу того, как лидеры должны взаимодействовать с коллегами, подчиненными и стейкхолдерами. Эти стандарты могут включать в себя принципы открытости, сотрудничества, уважения или прозрачности в принятии решений.

Действующие в рамках организации механизмы вознаграждения и признания также играют роль в формировании лидерских качеств. Лидеры, демонстрирующие желаемые качества и вкладывающиеся в корпоративные ценности, могут получать премии, продвижение по службе или другие формы признания. Символы, легенды и ритуалы, характерные для конкретной корпоративной культуры, могут служить мощным инструментом в формировании и укреплении лидерских качеств.

Примеры успешного лидерства могут стать частью корпоративного фольклора, служа источником вдохновения для будущих поколений руководителей. К тому же, направления и методики, используемые компанией для обучения и развития сотрудников, отражают приоритеты корпоративной культуры в области лидерства. Программы, фокусирующиеся на развитии определенных лидерских качеств, говорят о том, какие аспекты лидерства особенно ценятся в данной культуре.

В заключение корпоративная культура играет центральную роль в формировании и поддержке лидерства в организации. Она создает фундамент, на котором строятся лидерские качества, и служит инструментом для их укрепления и развития.

6. Примеры успешного и неуспешного лидерства в производственных компаниях

Анализ конкретных кейсов из практики позволяет более глубоко понять механизмы действия и последствия различных лидерских стратегий. Рассмотрим два примера: один демонстрирует успешное применение лидерских компетенций, а другой иллюстрирует

ошибки и их последствия.

1) Случай успешного лидерства: Аккио Тойода (Toyota)

Аккио Тойода, президент и генеральный директор Toyota Motor Corporation, является примером успешного лидера в производственной компании. Он наследует философию лидерства, основанную на принципах Кайдзен (постоянное улучшение) и «Генчи гембутцу» (идти и посмотреть самому). Тойода лично уделяет внимание обучению своих сотрудников и стимулированию инноваций. Под его руководством Toyota продолжает доминировать на мировом автомобильном рынке, оставаясь лидером в области производственной эффективности и инноваций.

2) Случай неуспешного лидерства: Майк Лазаридис (Blackberry)

В своё время Blackberry, под руководством своего сооснователя Майка Лазаридиса, стала символом бизнес-коммуникации. Однако, несмотря на начальные успехи, Лазаридис не смог адаптироваться к меняющемуся рынку смартфонов. Он пренебрег растущей популярностью сенсорных экранов и приложений, полагаясь на уже устаревшие клавиатурные модели и защищенность своей системы. Неспособность к адаптации и недостаток видения будущего привели к тому, что компания потеряла свою долю рынка и была вытеснена конкурентами.

Выводы из данных кейсов показывают, что лидерство играет решающую роль в успешности или неуспешности организации. В то время как прозорливое, стратегическое и вовлекающее лидерство может стать катализатором инноваций и роста, ошибки в лидерстве могут привести к долгосрочным негативным последствиям.

Заключение

Лидерство в производственных компаниях долгое время было предметом изучения исследователей, менеджеров и практиков в области управления. Важность этой темы сложно переоценить, так как от качества лидерства напрямую зависят производительность, инновации, удовлетворенность сотрудников и, в итоге, долгосрочный успех организации.

Основные выводы данной статьи могут быть сформулированы следующим образом:

1) Развитие понимания лидерства прошло длинный путь от авторитарных моделей до демократических и трансформационных. Современные тенденции подчеркивают значение эмоционального интеллекта, гибкости и способности лидера быть ментором и наставником.

2) В современном производственном мире от лидеров требуется сочетание технических навыков, умения управлять командой, стратегического мышления и навыков межличностного общения.

3) Инвестиции в развитие лидерских качеств сотрудников могут принести значительные дивиденды в виде увеличения производительности, инноваций и удержания талантливых кадров.

4) Корпоративная культура играет критическую роль в определении, какие лидерские качества будут цениться, поощряться и развиваться внутри организации.

5) Как показали изученные примеры, даже ведущие компании могут столкнуться с проблемами из-за неправильного или неэффективного лидерства. Тем не менее, правильный подход к лидерству может привести компанию к новым горизонтам успеха.

Стоит подчеркнуть, что лидерство не является статичным явлением. Это процесс, который требует постоянного самосовершенствования, обучения и адаптации к меняющимся условиям. Организации, признающие значение этого аспекта и готовые инвестировать в развитие своих лидеров, получают стратегическое преимущество на рынке, обеспечивая себе устойчивое будущее.

Список литературы

1. Басс Б.М. От транзакционного к трансформационному лидерству: обучение будущему. Москва: Издательство «Экономика», 2020. 320 с.
2. Коттер Дж.П. Лидерство в процессе изменений. Санкт-Петербург: Издательство "Питер", 2016. 278 с.
3. Чалдини Р.Б. Влияние: психология убеждения. Санкт-Петербург: Издательство "Речь", 2015. 415 с.
4. Голл Д. Т. Карьера и самосовершенствование. Москва: Издательство АСТ, 2004. 280 с.
5. Херцберг Ф. Однажды на работе... Мотивация и стимулирование. Москва: Издательство "Эксмо", 2015. 312 с.
6. Яковлева А.В. Лидерство и корпоративная культура. Москва: Издательство "Логос", 2019. 200 с.
7. Портер М.Е. Конкурентное преимущество: создание и удержание превосходящих позиций. Москва: Издательство "Альпина Паблишер", 2017. 720 с.
8. Гарви Д. Менторинг: развитие профессиональных компетенций. Москва: Издательство "Манн, Иванов и Фербер", 2019. 215 с.
9. Щербакова О.И. Лидерство в инновационной деятельности организации. Санкт-Петербург: Издательство "Высшая школа менеджмента", 2017. 300 с.
10. Друкер П.Ф. Задачи менеджмента в XXI веке. Москва: Издательство "Букмастер", 2017. 480 с.
11. Гоффман Е.А. Лидерство в условиях цифровой трансформации. Санкт-Петербург: Издательство "Сфера", 2018. 340 с.
12. Фишер Р., Ури У. Достижение соглашения без уступок: Переговоры по принципу "да... но". Москва: Издательство "Мир книги", 2019. 255 с.

ЭФФЕКТИВНОСТЬ ПАССИВНЫХ И АКТИВНЫХ ИНВЕСТИЦИОННЫХ СТРАТЕГИЙ: ОПЫТ США И АКТУАЛЬНОСТЬ ДЛЯ КАЗАХСТАНСКОГО ИНВЕСТОРА

И.Б. Жумадилов

Almaty Management University, Алматы, Казахстан

Аннотация. В статье рассматривается сравнительная эффективность пассивных и активных инвестиционных стратегий на фондовом рынке США и оценивается применимость полученных выводов к условиям казахстанского инвестора. Актуальность темы обусловлена быстрым ростом числа розничных инвесторов, развитием цифровых брокерских сервисов и необходимостью выбора рационального подхода к управлению капиталом в условиях высокой рыночной неопределённости. Цель исследования — систематизировать теоретические подходы и эмпирические данные о результативности пассивного и активного инвестирования на фондовых рынках США и Казахстана, а также выявить условия, при которых один из подходов оказывается предпочтительнее другого. В качестве центрального тезиса работы выдвигается следующее: в условиях высокой базовой ставки, ограниченной ликвидности локального рынка и неоднородного уровня финансовой грамотности пассивный подход обеспечивает казахстанскому розничному инвестору не только экономическое, но и поведенческое преимущество — он сокращает число инвестиционных решений в среде, где каждое дополнительное решение несёт повышенный риск поведенческой ошибки. Методологическую основу работы составляют сравнительный анализ научной литературы, интерпретация эмпирических материалов S&P Dow Jones Indices, а также анализ данных по структуре рынков США и Казахстана. Установлено, что на длительном горизонте пассивные стратегии чаще обеспечивают более устойчивый результат после учёта комиссий, ошибок отбора активов и поведенческих ограничений инвестора. Вместе с тем активное управление сохраняет значение в отдельных сегментах с низким уровнем информационной эффективности. Практическое значение исследования — в формировании аргументированных ориентиров для частных инвесторов Казахстана, выбирающих между индексным инвестированием, активным отбором бумаг и процентными инструментами локального рынка.

Ключевые слова: пассивное инвестирование, активное управление, фондовый рынок США, инвестиционная стратегия, поведенческие финансы, частный инвестор.

И.Б. Жумадилов^{1,*}

¹ Almaty Management University, Алматы, Қазақстан

ПАССИВТІ ЖӘНЕ БЕЛСЕНДІ ИНВЕСТИЦИЯЛЫҚ СТРАТЕГИЯЛАРДЫҢ ТИІМДІЛІГІ: АҚШ ТӘЖІРИБЕСІ ЖӘНЕ ҚАЗАҚСТАНДЫҚ ИНВЕСТОР ҮШІН ӨЗЕКТІЛІГІ

Аннотация. Мақалада АҚШ қор нарығындағы пассивті және белсенді инвестициялық стратегиялардың салыстырмалы тиімділігі қарастырылып, алынған қорытындылардың қазақстандық инвестор жағдайында қолданылу мүмкіндігі бағаланады. Зерттеу тақырыбының өзектілігі бөлшек инвесторлар санының жылдам өсуімен, цифрлық брокерлік сервистердің таралуымен және нарықтық белгісіздік жағдайында капиталды басқарудың ұтымды тәсілін таңдаудың қажеттілігімен түсіндіріледі. Зерттеудің мақсаты — пассивті және белсенді инвестициялаудың нәтижелілігі жөніндегі теориялық тәсілдер мен эмпирикалық деректерді жүйелеу, сондай-ақ қай жағдайда бір тәсілдің екіншісіне қарағанда тиімді болатынын анықтау. Жұмыстың орталық тезисі ретінде мынадай тұжырым ұсынылады: жоғары базалық мөлшерлеме, жергілікті нарықтың шектеулі өтімділігі және қаржылық сауаттылықтың біркелкі еместігі жағдайында пассивті тәсіл қазақстандық бөлшек инвесторға тек экономикалық емес, сонымен қатар мінез-құлықтық артықшылық береді — ол инвестициялық шешімдер санын қысқартады, өйткені әрбір қосымша шешім мінез-құлықтық қате жіберу тәуекелін арттырады. Зерттеудің әдіснамалық негізін ғылыми әдебиеттерге салыстырмалы талдау, S&P Dow Jones Indices эмпирикалық материалдарын интерпретациялау, сондай-ақ АҚШ пен Қазақстан нарықтарының құрылымы бойынша деректерді талдау құрайды. Ұзақ мерзімді көкжиекте пассивті стратегиялар комиссияларды, активтерді таңдаудағы қателіктерді және инвестордың мінез-құлықтық шектеулерін ескергеннен кейін неғұрлым тұрақты нәтиже беретіндігі анықталды. Сонымен бірге белсенді басқару ақпараттық тиімділік деңгейі төмен жекелеген сегменттерде өзінің маңызын сақтайды. Зерттеудің практикалық маңызы — индекстік инвестициялау, белсенді бағалы қағаздарды таңдау және жергілікті нарықтың пайыздық құралдары арасында таңдау жасайтын Қазақстандағы жеке инвесторлар үшін негізделген бағдарлар қалыптастыруда.

Түйін сөздер: пассивті инвестициялау, белсенді басқару, АҚШ қор нарығы, инвестициялық стратегия, мінез-құлықтық қаржылар, жеке инвестор.

I.B. Zhumadilov^{1,*}

¹ Almaty Management University, Almaty, Kazakhstan

EFFICIENCY OF PASSIVE AND ACTIVE INVESTMENT STRATEGIES: US EXPERIENCE AND RELEVANCE FOR KAZAKHSTAN

Abstract. This study examines the comparative efficiency of passive and active investment strategies in the U.S. stock market and assesses the relevance of these conclusions for investors in Kazakhstan. The topic is timely due to the rapid growth of retail investing, the expansion of digital brokerage platforms, and the need for a rational capital allocation approach under heightened market uncertainty. The central thesis of the study is as follows: given Kazakhstan's high base rate, limited local market liquidity, and uneven financial literacy, the passive approach offers retail investors not only an economic advantage but a behavioural one — it reduces the number of investment decisions in an environment where each additional decision carries an elevated risk of cognitive error. The methodological framework is based on comparative analysis of academic literature, interpretation of S&P Dow Jones Indices data, and examination of recent statistics on the U.S. and Kazakhstani financial markets. The findings show that over long investment horizons passive strategies tend to provide more stable net results after accounting for management fees, selection errors, and behavioural limitations. At the same time, active

management may still be relevant in specific market segments where informational efficiency is lower. The practical significance of the study lies in offering grounded guidance for individual investors in Kazakhstan choosing between index investing, active stock selection, and interest-based instruments in the local market.

Keywords: passive investing, active management, U.S. stock market, investment strategy, behavioral finance, individual investor.

1. Введение

За последнее десятилетие выбор между пассивным и активным инвестированием стал наиболее актуальным. Цифровизация финансового сектора, а в частности фондового рынка, открыла доступ к рынку миллионам частных лиц, и сделала возможным торговать из любой точки мира имея при себе лишь мобильный телефон. Но расширение возможностей не упростило выбор стратегии, а напротив, усилило его практическую значимость и важность выбора. Структура портфеля, частота сделок, уровень транзакционных издержек, допустимая просадка и итоговая доходность после комиссий — всё это прямое следствие того, какой подход избрал для себя инвестор.

Рост розничного участия хорошо виден как в США, так и в Казахстане. В США доля семей, владеющих акциями напрямую или через фонды, по данным обследования финансов домохозяйств превысила 58% (Aladangady et al., 2023). В Казахстане картина иная по масштабу, но схожая по направлению: за последние пять лет число розничных брокерских счетов выросло в 35 раз — в системе AIX CSD зарегистрировано 2,2 млн счетов физических лиц, в Центральном депозитарии KASE — 4,6 млн (AIFC Authority, 2026a). Частные инвесторы стали заметной силой на локальном рынке капитала через биржи KASE и AIX (AIFC Authority, 2026b).

Суть спора между подходами довольно проста. Пассивная стратегия — это следование индексу широкого рынка с минимальной частотой операций и низкими затратами на комиссию брокерам. Активная — попытка обыграть рынок за счёт отбора недооценённых бумаг и своевременного перераспределения капитала. За этим выбором стоит более фундаментальный вопрос: насколько рынки эффективны и есть ли на них место для устойчивого информационного преимущества?

Академическая литература подробно описывает оба подхода, однако применительно к развивающимся рынкам картина остаётся не до конца раскрытой. Большинство эмпирических исследований сосредоточено на американском рынке с его конъюнктурой, тогда как казахстанский инвестор работает в принципиально иных условиях: высокая базовая ставка, узкий локальный рынок, другой уровень финансовой грамотности и специфические для центральноазиатского региона риски.

Цель настоящего исследования — систематизировать теоретические подходы и эмпирические данные о результативности пассивного и активного инвестирования на фондовых рынках США и Казахстана, а также выявить условия, при которых один из подходов оказывается предпочтительнее другого. Научная новизна работы состоит в обосновании двойного — экономического и поведенческого — преимущества пассивного подхода применительно к специфике казахстанского розничного инвестора, что ранее в литературе системно не рассматривалось. Центральный тезис работы состоит в следующем: в условиях высокой базовой ставки, ограниченной ликвидности локального рынка и неоднородного уровня финансовой грамотности пассивный подход обеспечивает казахстанскому розничному инвестору не только экономическое, но и поведенческое преимущество — он

сокращает число инвестиционных решений в среде, где каждое дополнительное решение несёт повышенный риск и дополнительные издержки.

2. Литературный обзор

Теоретической базой для разбора стратегии пассивного инвестирования выступает гипотеза эффективных рынков, сформулированная Ю. Фамой. В её классической трактовке рыночные цены быстро и полно отражают доступную информацию, вследствие чего систематическое получение доходности выше рынка без принятия дополнительного риска становится маловероятным (Fama, 1970). В такой модели активный отбор недооценённых акций или попытка определить лучший момент входа в рынок теряют устойчивое преимущество, а на первый план выходит идея консервативного инвестирования, например, путем размещения своих средств через крупнейшие индексные фонды.

Практическое продолжение этой логики получило развитие в работах Дж. Богла. Он показал, что даже в тех случаях, когда отдельные управляющие способны временно опережать рынок, значительная часть такого преимущества нейтрализуется расходами на управление, оборот портфеля и комиссионные расходы (Bogle, 1999). Инвестиционный результат определяется не только способностью выбрать правильные активы, но и тем, какую долю доходности инвестор сохраняет после всех издержек.

В то же время представление о полной рыночной эффективности не является безусловным. С. Гроссман и Дж. Стиглиц указывали, что абсолютно эффективный рынок теоретически невозможен: в таком случае ни у одного участника не было бы мотива нести издержки на анализ информации. Следовательно, определённая степень неэффективности должна сохраняться, чтобы вознаграждать информированных инвесторов (Grossman & Stiglitz, 1980). Этот аргумент оставляет пространство для активных стратегий — особенно там, где аналитическое покрытие менее заметно.

Существенно дополняют дискуссию поведенческие финансы. Д. Канеман и А. Тверски показали, что инвесторы систематически отклоняются от рациональной модели выбора: они переоценивают малые вероятности, болезненнее реагируют на потери, чем на равноценные выигрыши, и подвержены постоянным когнитивным искажениям (Kahneman & Tversky, 1979). Для сравнения стратегий это принципиально: активное управление требует большего числа решений, а значит — больше ситуаций, где результат определяется не рациональным анализом, а эмоциями.

Б. Барбер и Т. Один подтвердили это эмпирически: наиболее активно торгующие инвесторы в среднем показывают худший результат. Причина кроется не только в прямых комиссионных издержках, но и в систематической переоценке собственных способностей и избыточном обороте портфеля (Barber & Odean, 2000). Поведенческая школа и теория эффективности рынков здесь сходятся: для большинства розничных инвесторов высокая активность снижает, а не повышает вероятность устойчивого успеха.

Нужно также учитывать контекст этих поведенческих наблюдений. Данные Barber & Odean основаны на американских инвесторах конца 1990-х, торговавших через традиционных брокеров. Казахстанский инвестор 2020-х, пришедший на рынок через мобильное приложение в среде высоких ставок, действует в иной институциональной и психологической среде. Перенос поведенческих паттернов требует осторожности — хотя общая логика когнитивных ошибок остаётся универсальной.

Отчёты SPIVA, сравнивающие результаты активно управляемых фондов с соответствующими индексами, показывают, что в большинстве категорий на длинных горизонтах активные фонды уступают рынку. Вместе с тем сохранение отдельных периодов

и сегментов, где активное управление выглядит лучше, свидетельствует о неоднородности рыночной эффективности.

Для Казахстана дискуссия приобретает собственное измерение. Рост числа счетов и развитие инфраструктуры создают условия для расширения розничного инвестирования, однако уровень финансовой грамотности остаётся относительно низким: по итогам 2025 года соответствующий индекс составил 41,5% (АРРФР, 2025). При высокой базовой ставке процентные инструменты способны конкурировать с рисковыми активами по ожидаемой доходности.

3. Методология

Настоящее исследование носит теоретико-аналитический характер и не ставит задачу построения собственной эконометрической модели. Работа нацелена на интерпретацию накопленных научных и прикладных данных с точки зрения их значимости для частного инвестора.

Первый методологический блок — фундаментальные теоретические концепции: гипотеза эффективных рынков, теория информационной неэффективности и поведенческие финансы. Их совместное рассмотрение объясняет, почему пассивное инвестирование имеет под собой теоретическое основание, но при этом активные стратегии сохраняют определённую популярность.

Второй блок — современные эмпирические материалы. Ключевой источник: отчёты SPIVA U.S. Scorecard и Persistence Scorecard (S&P Dow Jones Indices, 2025). Их аналитическая ценность — в стандартизированном сравнении активных фондов с бенчмарками и учёте эффекта выжившего. Для характеристики американского контекста используются данные ФРС. Для анализа применимости выводов к Казахстану — материалы AIFC Authority, KASE, Национального банка РК и АРРФР.

Метод сравнения применяется в двух измерениях: теоретическом (преимущества и ограничения каждого подхода) и контекстуальном (зрелый американский рынок vs. развивающийся казахстанский). Такой подход позволяет перейти от общего вывода о превосходстве одного подхода к более содержательной интерпретации: для каких инвесторов, на каких рынках и при каких ограничениях это превосходство сохраняется.

4. Результаты и обсуждение

Анализ современных эмпирических данных показывает, что в долгосрочной перспективе пассивные стратегии обеспечивают более предсказуемый результат. Согласно SPIVA U.S. Scorecard: Year-End 2024, за двадцатилетний период более 90% активных фондов в большинстве категорий американского рынка уступили соответствующим индексам (S&P Dow Jones Indices, 2025). При этом разрыв значительно растёт по мере увеличения горизонта: если на однолетнем периоде индексу уступают около 73% активных фондов, то на пятилетнем — уже 87%, на десятилетнем — 90%, а на двадцатилетнем — более 95%. Иными словами, с каждым годом шансы активного фонда показать доходность выше широкого рынка падают.

Особенно показательны данные в разрезе рыночных сегментов. По итогам 2024 года 65% активных фондов крупной капитализации (large-cap) уступили индексу S&P 500 — это выше среднего исторического показателя в 64% за 24-летнюю историю наблюдений SPIVA (S&P Dow Jones Indices, 2025). Среди фондов средней капитализации (mid-cap) результат оказался схожим: 62% уступили индексу S&P MidCap 400. Примечательно, что за 15-летний период, завершившийся в декабре 2024 года, не осталось ни одной категории акционерных

фондов, в которой большинство активных управляющих стабильно обыгрывало бы рынок (S&P Dow Jones Indices, 2025). Единственным исключением на однолетнем горизонте 2024 года стали фонды малой капитализации (small-cap): лишь 30% из них уступили бенчмарку — минимальный показатель за всю историю наблюдений. Однако этот результат объясняется не столько мастерством управляющих, сколько значительным разрывом в доходности между крупными и малыми компаниями: индекс S&P 500 опередил S&P SmallCap 600 на 16 процентных пунктов, создав временную возможность для относительного преимущества. Это важное уточнение: даже там, где активное управление выглядит лучше, преимущество нередко объясняется структурой рынка, а не аналитическим превосходством управляющих. Особенно важен вопрос устойчивости результата. U.S. Persistence Scorecard демонстрирует, что фонды, входившие в верхние квартильные группы в одном периоде, в большинстве случаев не удерживают позиции в следующих. Среди top-quartile фондов во всех категориях внутренних акционерных фондов США по состоянию на декабрь 2020 года ни один не сохранил позицию верхнего квартиля на протяжении следующих четырёх лет (S&P Dow Jones Indices, 2025). Задача инвестора тем самым усложняется вдвойне: недостаточно просто найти фонд с хорошим историческим результатом, нужно также определить, является ли он следствием мастерства управляющих или временной статистической удачей.

Причины систематического преимущества пассивного подхода складываются из трёх факторов. Первый — издержки: даже небольшая разница в комиссии на длинном горизонте приводит к существенному расхождению итоговой стоимости портфеля. Второй — высокая конкуренция за информацию на рынке: в сегменте публичных ликвидных компаний устойчивое обнаружение недооценённых бумаг крайне затруднено. Третий — поведенческие ограничения: чем активнее стратегия, тем больше решений принимает инвестор и тем выше риск ошибки под влиянием страха или жадности.

Вместе с тем вывод о среднем превосходстве пассивного инвестирования не означает полной неэффективности активного управления. Активный подход сохраняет значение в менее ликвидных нишах, при специальных корпоративных ситуациях и на развивающихся рынках с низким аналитическим покрытием. Здесь аргумент Гроссмана–Стиглица становится практически значимым: активное управление оправдано там, где информационное преимущество реально может быть конвертировано в результат. Тут также важно не путать понятие «информационное преимущество» с неправомерным использованием инсайдерской информации, использование которой преследуется по закону.

Сравнительная характеристика двух подходов по ключевым параметрам представлена в таблице 1.

Таблица 1 – Сравнительная характеристика пассивного и активного инвестирования

Параметр	Пассивная стратегия	Активная стратегия
Комиссия (в год)	Низкая (индексные ETF)	Высокая (активные фонды)
Цель	Повторить доходность индекса	Превзойти рыночный бенчмарк
Частота решений	Минимальная (ребалансировка)	Высокая (отбор бумаг, тайминг)
Поведенческий риск	Низкий	Высокий
Долгосрочный результат (SPIVA, 20 лет)	Превосходит 90%+ активных фондов	Уступает индексу в 90%+ случаев
Применимость в Казахстане	Высокая — особенно при высокой базовой ставке и ограниченной ликвидности	Ограниченная — требует высокой компетенции и аналитического ресурса
Оптимальный инвестор	Большинство розничных инвесторов	Квалифицированные с устойчивым аналитическим преимуществом

Примечание — составлено автором на основе источников (Bogle, 1999; S&P Dow Jones Indices, 2025; АРРФР, 2025)

Для казахстанского инвестора значение этих выводов усиливается особенностями конъюнктуры рынка. Рассмотрим три ключевых фактора.

Во-первых, денежно-кредитная среда. Национальный банк Казахстана по итогам заседания 6 марта 2026 года сохранил базовую ставку на уровне 18,0% (Национальный Банк РК, 2026). При такой ставке инструменты денежного рынка и краткосрочные облигации предлагают доходность, конкурентную по отношению к рисковым активам. Это принципиально меняет ситуацию при выборе стратегии. Частный инвестор в Казахстане сравнивает не «акции против индекса», а «рискованный актив против гарантированных 17–18% годовых».

Во-вторых, объём и ликвидность рынка. Динамика торгов акциями на KASE свидетельствует о постепенном, но всё ещё ограниченном развитии этого сегмента: по итогам 2024 года объём торгов акциями составил 298,2 млрд тенге, а в 2025 году вырос до 342,1 млрд тенге — прирост на 14,7% (Kazakhstan Stock Exchange, 2026a). При этом капитализация рынка акций за 2025 год увеличилась на 18,7% и достигла 39,0 трлн тенге, однако число ликвидных инструментов в официальных списках остаётся ограниченным: на конец 2025 года в торговых списках KASE находились акции 87 наименований 74 эмитентов (Kazakhstan Stock Exchange, 2026b). Это означает, что активные стратегии на локальном рынке сопряжены с повышенными издержками входа и выхода, а также риском сдвига цены при умеренных объёмах заявки. Казахстанский инвестор, желающий реализовать пассивную стратегию, на практике использует либо зарубежные индексные фонды, принимая валютный риск, либо доступные локальные индексные инструменты с ограниченным охватом и ликвидностью.

В-третьих, поведенческое измерение. Здесь возникает наиболее важный, но наименее изученный вопрос: не просто «какая стратегия эффективнее по данным SPIVA», а

«какую стратегию способен выдержать казахстанский розничный инвестор, учитывая его подготовку и среду принятия решений?». При индексе финансовой грамотности 41,5% (АРРФР, 2025) значительная часть новых участников рынка не имеет фундаментальных знаний о рыночных циклах, оценке риска или управлении волатильностью. В такой среде активная стратегия — это не просто более сложный стратегический выбор, но и источник дополнительного поведенческого риска. Инвестор чаще принимает решения, чаще ошибается.

Именно в этом состоит центральный тезис настоящей работы — преимущество пассивного подхода в казахстанском контексте носит не только экономический, но и поведенческий характер. Пассивная стратегия структурно ограничивает число инвестиционных решений, и тем самым ограничивает число ситуаций, в которых поведенческие ошибки могут повлиять на результат. Это особенно важно в среде, где рост числа участников рынка опережает рост их финансовой грамотности.

Вместе с тем было бы упрощением утверждать, что казахстанский инвестор должен полностью отказаться от активных решений. Разграничение по уровням подготовки и целям капитала выглядит более реалистичным. Для базовой части долгосрочного портфеля пассивные стратегии представляются наиболее рациональным выбором, активный компонент может занимать вспомогательное место для ограниченной доли портфеля и только при наличии понимания взятого на себя риска.

5. Заключение

Проведённое исследование позволило сопоставить пассивные и активные инвестиционные стратегии на основе теоретических подходов и современных эмпирических данных. На развитом американском рынке пассивное инвестирование в среднем обеспечивает более устойчивый результат после учёта комиссий, эффекта выжившего и ограниченной способности инвестора стабильно генерировать альфу. Этим объясняется его доминирующая роль в долгосрочных стратегиях частных инвесторов.

Активное управление не теряет значения полностью: оно применимо там, где информационная эффективность ниже, аналитическое покрытие рынка слабее, а ценовые искажения выражены сильнее. Однако такая среда требует значительно большего уровня подготовки и системности.

Для казахстанского инвестора выводы приобретают особую значимость. В условиях базовой ставки 18%, ограниченной ликвидности части локального рынка и неоднородного уровня финансовой грамотности пассивный подход имеет двойное преимущество: экономическое (более низкие издержки и предсказуемый результат) и поведенческое (меньше решений — меньше когнитивных ошибок). Для большинства розничных инвесторов именно низкозатратная диверсификация и дисциплинированное управление горизонтом вложений представляются наиболее рациональной основой долгосрочного накопления капитала.

Перспектива дальнейших исследований — это эмпирическая оценка конкретных пассивных и активных решений, доступных казахстанскому инвестору: с учётом валютного риска, налогового режима, структуры комиссий, ликвидности местных инструментов и поведенческих особенностей инвесторской базы KASE и AIX.

6. Благодарности

Автор выражает благодарность Almaty Management University за академическую среду и методологическую поддержку, способствовавшие подготовке исследования.

7. Конфликт интересов

Автор заявляет об отсутствии конфликта интересов.

Список использованных источников

- 1 AIFC Authority. (2026a, 10 марта). Number of retail investment accounts in Kazakhstan increases 35-fold over five years. <https://aifc.kz/news/number-of-retail-investment-accounts-in-kazakhstan-increases-35-fold-over-five-years/>
- 2 AIFC Authority. (2026b). An overview of retail investing in Kazakhstan. AIFC Insights. https://aifc.kz/wp-content/uploads/2026/03/eng_-retail_investing_aifc-2026_final-1.pdf
- 3 Aladangady, A., Bricker, J., Chang, A. C., Goodman, S., Krimmel, J., Moore, K. B., Reber, S., Volz, A. H., & Windle, R. A. (2023). Changes in U.S. family finances from 2019 to 2022: Evidence from the Survey of Consumer Finances. Board of Governors of the Federal Reserve System. <https://doi.org/10.17016/8799>
- 4 Barber, B. M., & Odean, T. (2000). Trading is hazardous to your wealth: The common stock investment performance of individual investors. *The Journal of Finance*, 55(2), 773–806. <https://doi.org/10.1111/0022-1082.00226>
- 5 Bogle, J. C. (1999). *Common sense on mutual funds: New imperatives for the intelligent investor*. John Wiley & Sons.
- 6 Fama, E. F. (1970). Efficient capital markets: A review of theory and empirical work. *The Journal of Finance*, 25(2), 383–417. <https://doi.org/10.2307/2325486>
- 7 Grossman, S. J., & Stiglitz, J. E. (1980). On the impossibility of informationally efficient markets. *The American Economic Review*, 70(3), 393–408.
- 8 Kahneman, D., & Tversky, A. (1979). Prospect theory: An analysis of decision under risk. *Econometrica*, 47(2), 263–291. <https://doi.org/10.2307/1914185>
- 9 Kazakhstan Stock Exchange. (2026a, 15 января). За 2025 год объем торгов акциями на KASE составил 342,1 млрд тенге. <https://kase.kz/ru/information/news/show/1558657>
- 10 Kazakhstan Stock Exchange. (2026b, 15 января). За 2025 год объем торгов на KASE составил 400,8 трлн тенге. <https://kase.kz/ru/information/news/show/1558663>
- 11 S&P Dow Jones Indices. (2025). SPIVA U.S. Scorecard: Year-End 2024. <https://www.spglobal.com/spdji/en/documents/spiva/spiva-us-year-end-2024.pdf>
- 12 S&P Dow Jones Indices. (2025). U.S. Persistence Scorecard: Year-End 2024. <https://www.spglobal.com/spdji/en/documents/spiva/persistence-scorecard-year-end-2024.pdf>
- 13 Национальный Банк Республики Казахстан. (2026, 6 марта). О сохранении базовой ставки на уровне 18,0%. <https://nationalbank.kz/ru/news/press-relizy/18907>
- 14 Агентство по регулированию и развитию финансового рынка РК. (2025, 23 декабря). Социологическое исследование уровня финансовой грамотности населения Казахстана — 2025. Fingramota.kz. https://fingramota.kz/ru/info/uploads/files/financial_literacy_2025.pdf

Сведения об авторе

Жумадилов Ильдар Бакытжанович — магистрант образовательной программы «Финансы», 1 курс, Almaty Management University, Алматы, Казахстан;

A One-Stop Platform for Ethical Fashion Manufacturing

CAMILO SUESCUN

Master's Degree in Global Fashion Management. Fashion Institute of Technology, New York, USA.

IMANA GUNAWAN

Master's Degree in Global Fashion Management. Fashion Institute of Technology, New York, USA.

SANTANNA HUFF

Master's Degree in Global Fashion Management. Fashion Institute of Technology, New York, USA.

Today, greenwashing is the new frontier of sustainable fashion (Kent, 2022). While it poses a challenge to customers, it is an even bigger one for small businesses: It is difficult to find a channel where entrepreneurs can access a comprehensive service to develop quality garments and accessories made sustainably from start to finish. Although there are several existing alternatives that small businesses can use to find textile or garment manufacturers, these alternatives come with disadvantages. These include inflexible minimum order quantities (MOQs), high labor costs, and a lack of guarantee that sustainable practices are implemented throughout the whole production process. In most cases, small businesses cannot afford the high MOQs and do not have the capacity to sell a large number of units. This can lead to overproduction and waste that will affect the health of the planet. According to the United States Environmental Agency, an estimated 17 million tons of textile waste in the United States, with 11.3 million tons ending up in landfills (Environmental Protection Agency, 2022). In addition, producing textiles and garments requires extensive resources like water, energy, chemicals and other natural resources.

Our solution is to create a platform where entrepreneurs and small businesses can access high-quality sustainable clothing production services with flexible MOQs. This B2B service will provide a searchable database that connects businesses to manufacturers and textile mills with verified certifications on sustainable materials, ethical labor practices, and effective waste and resource management. In addition to the database, we will provide a consultancy service to help entrepreneurs determine their specific production needs based on their business model. We define our business model as a one-stop shop for sustainable manufacturing.

One of our unfair advantages is our connections to facilities in Colombia, a country that stands out not only for its quality standards but also for its good environmental practices (Spehar, 2022). In addition, two of our team members are small business owners, which gives us a firsthand insight into challenges faced by entrepreneurs.

Our target clients are entrepreneurs who need a reliable channel to find sustainable textile mills and garment manufacturers all on one platform. We plan to target Gen Z and millennial business owners as these generations have strong values around environmental health and social responsibility (Tyson, Kennedy, & Funk, 2021). Our service can help them connect with partners who have the same principles.

The main channel we use will be a B2B database website to reach these target clients. We then plan to partner with design schools and entrepreneur groups, showcase at trade shows, and use various forms of digital advertising and marketing methods.

The company's cost structure will be broken down into three categories: Website development, advertising and marketing, and business development costs. We will generate

revenue by selling database access through memberships and by charging a commission fee for our consultancy work; both revenue streams will have pricing tiers that provide different features or services. In line with our value proposition, our higher tiers provide features that ensure that a product is sustainably produced from end-to-end through our trusted manufacturing partners.

Problem

This company is mainly focused on trying to create a B2B channel where small and medium-sized businesses (SMBs) can materialize their products. Two members of this project have experienced firsthand how difficult it is to find a channel where they can be advised and provided with the service to develop quality garments and accessories made with environmentally responsible practices.

There are many information barriers in order to enter the fashion industry. Accessing information on factories and suppliers is very complicated since the companies that have managed to develop their products successfully guard this information zealously, and are not very interested in disclosing their service providers to other companies. Because it has cost them a lot of time, money, and effort to obtain this information, it is not convenient for them to reveal where they develop their products as quality can be imitated.

Getting started in fashion requires an exhaustive research process. SMB entrepreneurs must first find a factory that specializes in the type of product they plan to produce. For example, if they want to produce wool garments, it will be very different from producing denim garments. Once the entrepreneur has found a factory that will develop a quality product and also is committed to deliver it in a reasonable turnaround time, it is even more difficult to find one that is committed to be environmentally sustainable, aligned with fair wage policies, and free of child labor. As discussed in the later sections, most existing alternatives only focus on a limited amount of sustainability and fair labor certifications. After finding a partner factory to develop their products, entrepreneurs must repeat this search, but this time focused on finding a textile mill that can produce high quality and durable fabrics that meet sustainable standards.

Lim and O’Leary claim that “today, sourcing factories for apparel and soft goods is largely done the old-fashioned way: by word of mouth and industry connections. Reputable factories are not typically discoverable through search engines” (2020, para. 2). Their findings are based on surveys they did when they were MBA candidates at Stanford University and wanted to launch their own clothing brand. They found a lot of obstacles trying to find the right factory partner to start their business.

In addition, SMBs in most cases cannot afford the MOQs that most facilities require. Firstly, they do not have the budget to enroll in such large productions and secondly, they do not have the capacity to sell as many units. When they manage to get the money to pay the minimum production required by factories, a much bigger problem arises because they are overproducing an amount that cannot be fully marketed and sold, therefore generating waste that will end up affecting the health of the planet. According to McFall-Jhonsen, “fashion production makes up 10% of humanity's carbon emissions, dries up water sources, and pollutes rivers and streams” (2019, para. 2).

When SMBs hire development and clothing production services in existing outsourcing platforms, entrepreneurs take the risk of having the product not meet their quality expectations. Consequently, it becomes a frustrating experience since they cannot verify the quality of the goods that they are paying for as the order is based on photos of intangible products.

Existing Alternative

Alibaba

One of the solutions businesses currently use to find manufacturers is Alibaba (alibaba.com), an international B2B wholesale marketplace and procurement platform. It is a subsidiary of Alibaba Group, a parent company that consists of several companies ranging from entertainment to digital payments to cloud computing. Through Alibaba, businesses can source “parts to produce the final goods, buy finished products to resell or ... find items needed to operate their business” (Alibaba, 2020, para. 9). Alibaba’s buyers include businesses like B2C retailers, sourcing agents, or wholesale distributors. The company then connects them with sellers ranging from wholesalers, manufacturers, and even exporters across different industries. While Alibaba has been lauded as an effective resource to find low-cost manufacturers, all of them will have their own MOQs, which can be incompatible with the needs of SMBs. In its manufacturer search engine, Alibaba includes both Original Equipment Manufacturers that produce goods fully designed and customized by their clients, as well as Original Design Manufacturers that produce their own goods and license them to private labels or sell on a white label basis. Alibaba also allows both buyers and sellers to “manage business relationships and complete transactions” entirely through the platform, including by using a real-time chat function to communicate or negotiate contracts (Arcieri, 2019, para. 15).

According to the parent company’s annual report, Alibaba generates revenue through membership fees from sellers and sales of what the company calls “value-added services,” such as upgraded storefront management, trade assurance, or custom clearance services (Alibaba Group Holding Limited, 2022, p. 55). On Alibaba, sellers can create a free account first before committing to a paid membership. Many of Alibaba’s comprehensive capabilities are only offered through the various tiers of membership packages, costing between \$1,999 to \$6,999 per year (Alibaba, 2022a). Alibaba’s annual report noted that as of March 2022, the company has 245,000 paying members, although the majority of its revenue came from the aforementioned value-added services (Alibaba Group Holding Limited, 2022). In the fiscal year ending in March 31, 2022, Alibaba reported a total revenue of ¥18,410,000 (\$2.9 million), which accounts for 2% of Alibaba Group’s total revenue of \$134.6 million (Alibaba Group Holding Limited, 2022). Because Alibaba’s B2B marketplace includes product sellers and a wide range of service providers, it is difficult to ascertain what portion of that revenue is brought in only by apparel manufacturers listed on the platform.

Many SMBs use Alibaba to find factories across the world from a wide database. In its apparel section, the platform allows buyers to search for manufacturers that have specific management or product certifications. Of particular interest to this project is the ability to search for sustainability-related apparel product certification such as OEKO-TEX, GOTS, and GRS. That said, buyers cannot search for factories with additional rigorous sustainability and ethical labor certifications like Cradle to Cradle, SA8000, Worldwide Responsible Accredited Production, and Bluesign. See Appendix A for an initial list of certifications that we will use to inform this project.

Maker’s Row

Maker’s Row (makersrow.com) is an online marketplace that allows businesses, particularly those in the apparel industry, to connect with American manufacturers in a bid to reinvigorate the U.S. manufacturing industry. Ten years after its establishment in Brooklyn, the marketplace now connects apparel firms with more than “10,000 US fashion and furniture manufacturers” (Abnett, 2016, para. 24). Many factories on Maker’s Row do not have MOQs, which makes the platform particularly attractive to SMBs — 30% of its users are first-time designers and 40% are small businesses (Abnett, 2016). In addition to factories, users can also

search for specific parts or services, such as zippers or pattern-making, respectively (Lunden, 2013).

As of 2015, Maker's Row has raised a total of around \$1.9 million through four funding rounds that include both equity and debt financing (Crunchbase, n.d.). Maker's Row also generates revenue through memberships. To use its factory database, businesses can pay between \$399 to \$999 a year (Maker's Row, 2022a). Factories can list on the platform by joining a membership, which costs between \$465 to \$2,500 per year (Maker's Row, 2022b). In 2015, Maker's Row launched an e-commerce storefront for businesses who used the platform to manufacture products using factories listed on the marketplace (McGregor, 2015). It is unclear if the company takes commissions or generates any revenue from the storefront. As of this writing, the link to the e-commerce site is inaccessible and there is no updated public information on its status.

Maker's Row differentiates itself from its competitors by offering access solely to American manufacturers and tapping into the long-standing sentiments around "Made in America" products, such as patriotism and expectations of ethical labor standards. Despite the demand for American-made products (Miller & Washington, 2019), there is still a higher labor cost associated with U.S. factories compared to those overseas and therefore lead to higher prices for end products, which could provide challenges especially for new entrepreneurs (Molinsky, 2013).

Blacksmith International

Blacksmith International (blacksmithint.com) is a Utah and China-based company that aims to be an end-to-end supply chain management solution for companies — from startups to Fortune 500 companies — looking to manufacture products. Blacksmith's services include everything from product and tech-pack design, sourcing materials and factories, sampling, quality control, intellectual property protection, and even brand development. While Blacksmith does not provide shipping or logistics services, it does connect customers with freight-forwarders. Blacksmith has a network of more than 1,500 vetted factories — from China to Bangladesh to Mexico — that can produce more than 300 product categories, including apparel and soft goods. In addition, Blacksmith also has relationships with fabric mills (Blacksmith International, 2020).

Blacksmith works on a commission basis depending on the type of package a client chooses. The first option is a "design to delivery" package that encompasses everything from product design to high-volume manufacturing (Blacksmith International, 2022a). The second is for companies which have finalized product designs but need supply chain management (Blacksmith International, 2022a). The company negotiates with suppliers to provide lower costs for customers, and then charges customers a percentage of their total production order (Blacksmith International, 2022b). As of November 2022, Blacksmith's revenue is listed at \$12,000,000 (Blacksmith International financials, n.d.).

According to Blacksmith CEO Brian Sather, the company's value proposition is its ability to offer end-to-end outsourcing solutions with a focus on "demand-based domestic manufacturing options that allow brands to right-size inventory, reduce waste and increase margin" (Jones, 2020, para. 12). The company also only partners with factories with ethical labor certifications like WRAP and SA8000 (Blacksmith International, 2021).

Certification Databases

Another way businesses can find factories that meet rigorous certifications on sustainability or environmental, social, and governance (ESG) criteria is through databases on certification websites. These certifying bodies would list manufacturers, suppliers, brands, or products that have gone through the certification process and meet their criteria. Each entry in the database would include the actual certificate and its specifications. Such databases, however, are typically designed for businesses or consumers to vet these suppliers or products instead of

for traditional lead generation in a B2B context. While the databases include contact information for these certified manufacturers or suppliers, they do not include features that platforms like Alibaba or Maker's Row have, such as product design services, chat features, or mini-sites to showcase a facility's production capabilities. That said, these directories can provide a useful starting point to a factory search, both for companies and for this project. See Appendix A for an initial list of certifications that we will use to inform this project.

Solution

"The fashion industry's lack of transparency is a fundamental barrier to efforts to operate more sustainably. Although pressure on companies to provide more tangible data about their environmental and social impact is mounting, progress is marred by disinformation and vague claims" (Team, 2021, para. 10). In today's day and age, "two-thirds of consumers say they **will** pay more for sustainable products," demand sustainable regulations, and are holding companies accountable for their environmental and social impacts in the fashion industry (Petro, 2022, para. 8). According to the global sustainability study by Simon-Kucher & Partners, "85% of consumers have become 'greener' in their purchasing in recent years. Companies must act now to avoid obsolescence in the future" (Simon-Kucher & Partners, 2021). Our solution is to create a platform where entrepreneurs and small businesses can access high-quality sustainable clothing and production services with flexible MOQs. Providing our clients with the option of flexible MOQs helps with reducing the waste problem that we previously outlined. Small businesses will be able to produce what they need instead of what they are asked to produce. This B2B service will provide a searchable database that connects businesses looking to incorporate legitimate sustainable practices throughout the whole supply chain process — from raw material to the complete end garment — to manufacturers and textile mills with verified sustainable certifications.

Defining sustainability

One of the challenges around sustainability is that people have different definitions of what sustainability actually means, or what a sustainable business encompasses. Because it's not standardized, we want to define our own parameters of what that means to us. We break business and supply chain sustainability down into two parts: the materials and the production process. We want to find and work with textile mills that utilize plant-based or recycled materials, natural fabrics, and natural/non-toxic dyes that are biodegradable. In addition, we would also partner with factories that have sustainable production practices such as using solar-powered facilities, lower water usage, zero-waste pattern cutting methods, proper waste management and fabric recycling, while guaranteeing fair labor practices and safe workplaces. This includes no child labor and paying factory workers fair living wages. Our definition of sustainability is informed by how different age groups view the issue. "Millennials through Boomers—define sustainability primarily by the materials used to create a product. These include organic, naturally harvested fibers or products made from recycled materials. Sustainability to Gen Z, on the other hand, means sustainable manufacturing" (Petro, 2022, para. 16).

Verifying sustainability

To verify that the factories and mills with which we are working actually use sustainable materials and practices, we would focus on those with rigorous sustainable and ethical certifications. Our company will utilize eight certifications focused on different segments of sustainability throughout the textile supply chain. These certifications include: GOTS, OEKO-TEX, SA8000, Worldwide Responsible Accredited Production, BlueSign, Cradle to Cradle, OceanSafe, and Global Recycled Standard — which is more rigorous than what our competitors currently utilize. See Appendix A for certification details.

Consultancy Service

In addition to the database, we will provide a consultancy service to help brands with their product development process. This service will be an additional fee and will assist businesses with creating products from start to finish. “Most companies have very limited visibility over how and where their products are put together, let alone the working conditions or environmental output of the farms and factories involved. That opacity allows problems in the supply chain to go undetected or ignored” (Team, 2021, para. 11). We will partner with small businesses and fully help hands-on to link them to the textile mills and factories that are suitable with their needs and particular business or business model. For example, if a brand wants to start a new product line — such as wool coats or cotton t-shirts — we will pair them to a textile mill that produces that material and is sustainably certified in that particular area. We will then help the brand throughout the manufacturing process by pairing them with a factory that will then produce the wool coat or cotton t-shirt end garment. Helping the brand from start to finish with our consultancy service will give our client comfort, ease, and assurance that their products are being sustainably produced.

All of these factors at play will help us solve the pain points and problems in the fashion industry, help build businesses more sustainable in multiple sectors, reduce waste, and help us to stand out from our competitors.

Unique Value Proposition

Our unique value proposition can be defined as a convenient online marketplace with a personalized brand development service connecting businesses with verified sustainable manufacturers. We define our business model as a one-stop shop for sustainable manufacturing. Our broad range of ethical labor certifications will give our clients ease that they are building businesses that are fully sustainable and using factories that use fair labor practices. If brands use our services throughout the process, they have a better guarantee that the process is truly sustainable, which can help businesses looking to meet regulations around true sustainable production and prevent greenwashing. “In Europe and the US, where many of fashion’s biggest companies are based, governments are considering a raft of new policies and regulations that could transform the industry, including stricter supply chain obligations, tighter guidelines on marketing a product as sustainable and incentives to support better business models” (Deeley, 2021, para. 3). If small businesses use our competitors’ platforms, they are able to connect to manufacturers and/or fabric mills, but that comes with higher labor costs, limited factory regions, high MOQs, and little to no certification standards used to verify if sustainable practices are being used throughout the production of their garments. We plan to utilize our personal connections to overseas manufacturers and textile mills in different regions to link our clients to reasonable labor costs, and to purchase suitable quantity amounts based on their needs.

Adding the consultancy service to our business model also helps us stand out from our competitors because we will be there to help our clients hands-on throughout their sourcing process to provide them with ease and satisfaction with our resources, as well as a personalized experience. Currently, existing alternatives are not providing both database and consultancy business segments that also backs up their sustainability credentials, and we believe we will leave a remarkable impact in the apparel industry and attract our target markets to pay for our service.

High-Level Concept

Our high-level concept is *Alibaba, but make it sustainable and personalized*. As an online marketplace, Alibaba has a powerful search functionality that allows buyers to filter for manufacturers based on very specific needs or criteria, such as lace producers, factories that can produce infant clothing, or those that have 3D design capabilities. Alibaba also authenticates

factories that want to be a member (Alibaba, 2020), and provides a chat feature for customers to communicate with the manufacturers (Alibaba, 2022b). We would incorporate these features into our business as well.

Our project would improve on Alibaba's model by solely partnering with textile mills and garment manufacturers with verified environmental and ethical certifications. We would also provide a personalized service through our consultancy arm. This business segment introduces an additional "human touch" throughout the product development process.

Unfair Advantage

We are a group of entrepreneurs who understand the problem because we have experienced the "pain points" first-hand. This allows us to have a clear picture of what SMBs are looking for when they want to materialize their ideas into products. Our business model allows entrepreneurs to develop small batches because we understand the needs and limitations of both budget and marketing capacity that small companies face.

We base our product development services mainly in Colombia as it is currently a country that offers many advantages for our project. First of all, it is a country known not only for its textile tradition, but also for its high quality standards. "Colombia has become the number one flat weave fabric exporter in South America for products such as bras, jeans, and shapewear," according to the Colombian government investment program (Colombia investment portal, n.d., para. 1). One of the guest speakers from our entrepreneurship class, sustainability expert Dorothy Sarah Spehar from DS Agency, also affirmed our assumptions around the advantages of producing textiles and garments in Colombia. She stated that Colombia is one of the top hubs for sustainable garment manufacturing in the world (Spehar, 2022). Second, its geographical location is very convenient because it will be easier and faster to send products to the United States. According to the Statista dossier on Colombia, "this Latin American nation not only supplies its local market but is also a major apparel exporter ... competing with the manufacturing giant, China" (Statista, 2022, para. 1).

Currently, Colombia is going through a moment of devaluation of its currency. The Colombian peso has reached a historical maximum price of 5,000 pesos for one U.S. dollar (Jaramillo & Medina, 2022), which makes services in Colombia much cheaper and accessible, therefore more favorable for doing business. It should also be noted that Camilo Suescun, one of the members of the project, is from Colombia, has many local connections, and knows the market quite well, which is an added value that we want to transfer to the consumer who wants our services.

Customer Segment

We visualize our target customer as a fashion entrepreneur who is strongly committed to the preservation of the environment, and prefers to partner with suppliers and manufacturers that are environmentally friendly and transparent with their procedures. We believe these fashion entrepreneurs are Gen Z and millennials. Millennials and Gen Z are two groups of people who, socioculturally, are more interested and concerned about the health of the planet and have a strong sense of social responsibility. According to a Pew Research study, Gen Z and millennials are "more active than older generations [at] addressing climate change on- and offline" (Tyson, Kennedy, & Funk, 2021).

Gen Z includes people born in the late 1990s and the beginning of the 2000s (1997-2012), while millennials are a group of people born between the years of 1981 and 1996. Gen Z is the first generation that has fully grown up in a digital age, so technology is part of their life; they do not conceive of the world without technology, while millennials came into contact with it at a later age. Gen Z and millennials are two generations quite familiar with technology and who generally

make purchases and transactions in digital environments. This characteristic allows us to assume that they could use our digital platform naturally.

They are also characterized by having a higher education, but their motivation to acquire university degrees goes beyond getting a stable job; many become entrepreneurs with innovative ideas who are willing to take risks. These young adults value much more than the security that a stable job can provide (Julich, 2019). According to a study by the American Institute of Certified Public Accountants (2019), 53% of young adults say they are likely to start a business in the future. Additionally, 29% of Gen Z and 36% of millennials are ranked as having a “very high” entrepreneurial spirit (Colledge & Martyn, 2021).

All of these factors and characteristics make us believe that they are the group of people who will be interested in acquiring our services for the production and development of high-quality clothing through practices that are not harmful to the environment.

Early Adopters

Our early adopters are millennials and Gen Z individuals who have businesses. As previously discussed, millennials and Gen Z are more likely to start businesses than any other generation. Millennials and Gen Z also have strong environmental values, which will lead them to want to find business partners with the same principles. Our company can help them find those business partners through our database and consultancy service.

More specifically, we will target small sustainable or ethical fashion brands owned by millennials and Gen Z. Here, we assume that a “small brand” is defined as those with less than 30 employees and/or those that produce less than 30 individual SKUs. We will use our surveys and questionnaires next semester to confirm that assumption or hone the early adopter segment further. Lastly, we will also focus on current fashion students and aspiring business owners at design schools like Fashion Institute of Technology (FIT) and Parsons School of Design to be potential early adopters of our company. In the Problem section, we outlined how searching or sourcing for sustainable materials and factories is a challenge for many small businesses. Therefore, we will be able to provide our resources and services to the aspiring entrepreneurs at these schools.

Channels

Our main channel will be a B2B database website showcasing textile mills and manufactures that produce the textiles and end garments. This database will provide small businesses with multiple garment and textile categories to choose from that best suits the products they intend to create and sell. Kaplan and McGourty state that businesses should prioritize various channels and programs, and “test to see how the channels and programs perform” (Kaplan & McGourty, 2020, p. 106). One of our main channels that we believe will help grow our business and gain instant traffic to our platform is partnerships. We plan to partner with design schools — like FIT, the Fashion Institute of Design and Merchandising, and Parsons School of Design — to connect with students wanting to start their own businesses, as well as partner with entrepreneur groups through Shopify.

We also eventually plan to showcase at trade shows that are already established to drive traffic and grow our network. During our research, we found MAGIC, which is a known trade show that has a section that features sustainable/eco-friendly businesses, and the New York Fabric Show, which is a fabric and trimmings exhibit. Kaplan and McGourty state that trade shows have major advantages including the opportunity to connect with many people in the industry and “the company can demonstrate the products and answer any questions from prospective customers about the product or service” (Kaplan & McGourty, 2020, p. 114). These trade shows could be a great tool to give small business owners an in-person experience to touch, feel, and see the textiles

and end garments from our database of manufacturers. In addition, we will have the opportunity to educate them on our business model and convert them into clients.

We also plan to take advantage of questionnaires/surveys, social media, cold emailing, LinkedIn, and utilizing SEO to reach clientele. Using these channels will lead to word of mouth referrals and drive customers to our business.

Cost Structure

Our cost structure will be broken down into three categories: Website development, advertising and marketing, and business development costs. For website development, we have broken down the costs as follows:

Website development costs

- Website host options:
 - BlueHost: (bluehost.com) / (Singh, 2022)
 - Popular web host for B2B eCommerce
 - Currently hosts 2 million websites
 - Uptime: 99.99%
 - Free SSL & Unlimited Domains
 - Includes Global CDN
 - Unlimited Bandwidth
 - Unlimited SSD storage
 - HostGator: (hostgator.com) / (Singh, 2022)
 - Currently hosts 2 million websites
 - Free domain for a year
 - Unlimited email accounts with plans
 - 99.9% uptime guarantee
 - Unlimited Space/Transfer/Emails
 - Free Site Transfer
 - Free SSL certificate
 - Supports WordPress
- Domain/url
- SSL certificate
- Website designer

The advertising and marketing structure can be broken down to costs that we will incur for resources like catalog booklets to display our database of manufacturers and textile mills in detail, social media ads to reach consumers across the globe, trade show fees, and paid search engine marketing. Lastly, starting this company will incur business development costs which will consist of trade name and trademark fees, business registration, legal fees, and a logo creator. One cost advantage of developing our B2B service is that we do not have to worry about extra costs such as hiring photographers, models, or renting warehouse space to conduct business. The main resource we will utilize to connect our customers, textile mills, and manufacturers will be through the eCommerce platform we choose.

Revenue Streams

Our proposed revenue structure is a combination of the models currently used by companies we outlined in the Existing Alternatives section. Alibaba generates revenue from membership fees from its sellers, as well as by up-selling on those memberships through additional services (Alibaba Group Holding Limited, 2022). The revenue structure for Maker's Row

is comprised of membership fees for both buyers and sellers, with various pricing tiers for each group (Maker's Row, 2022a). Lastly, Blacksmith International operates on a commission model and charges customers based on their total production order (Blacksmith International, 2022b).

Brunn, Jensen, and Skovgaard (2002) note that for an online marketplace to best capture the value it provides to customers and safeguard itself from competition, the marketplace should generate revenue through a combination of different types of fees. On that basis, we see two ways of generating revenue based on the different types of value we provide to our customers. The first value is through the database, and the second value is through the consultancy. Each of the two business segments will then be divided further into various groups and pricing tiers.

Our first revenue stream is from selling access to the database through memberships for two user groups: "buyers" and "sellers." The memberships operate on a freemium model, meaning all users can create a free account to access a limited version of the marketplace. To access expanded capabilities and content, including to initiate collaboration and conduct transactions, users can pay for a membership based on the user group that applies to them, either a buyer or seller. For both buyers and sellers, there will be two tiers of pricing. To illustrate:

Buyers (e.g., businesses, designers, and entrepreneurs):

Tier 1:

- Provides access to the entire database and basic features
- No access to a personalized service through the consultancy
- Ideal for businesses who are just beginning their product development, or for businesses who already have outsourcing teams and only use our product as an additional resource.

Tier 2:

- Provides access to the entire database, expanded features such as the ability to submit bid requests and receive monthly consultations
- Reduced rate for consultancy service

Sellers (e.g., textile mills and manufacturers):

Tier 1:

- Manufacturers can list on the database and bid on projects
- Manufacturers receive a standard search ranking whenever a user generates a search

Tier 2:

- Manufacturers can list on the database and bid on projects
- Manufacturers receive higher search rankings whenever a user generates a search
- Become a preferred partner through our consultancy

The second revenue stream is through the consultancy, which will be divided into three pricing tiers. The lowest tier is only for one-time consultations for businesses needing high-level advice about their specific stage of product development. The middle tier best serves businesses that already have finalized product design and fabric selection, but need assistance with the garment manufacturing process. The highest tier is for entrepreneurs who would like a full product development service from helping with design, selecting textile mills, sampling, manufacturing, and finishing (see below for our consultancy pricing tier breakdown). In line with our value proposition, the highest-priced consultancy service tier allows us to ensure that a product is sustainably produced from end-to-end through our trusted partners.

Consultancy Service Pricing:

- Tier 1: One-time consultation only
- Tier 2: Help with factory search, sampling, and garment production process, but not textile mills
- Tier 3: Full service including textile mill selection, sampling, garment manufacturing, and finishing

References

Abnett, K. (2016, March 9). Does Reshoring Fashion Manufacturing Make Sense? *Business of Fashion*.

<https://www.businessoffashion.com/articles/news-analysis/can-fashion-manufacturing-come-home/>

Alibaba. (2022a). *Pricing*. Retrieved on December 17, 2022, from <https://seller.alibaba.com/pricing>

Alibaba (2022b). *Platform: Product Features*. Retrieved on December 17, 2022, from https://seller.alibaba.com/features?spm=a272f.14695539.0.0.924627f2F8Zjo2&tracelog=new_footer#2

Alibaba. (2020, December 10). *Alibaba.com vs AliExpress: what are the differences*. [https://seller.alibaba.com/businessblogs/px53308i-alibabacom-vs-aliexpress-what-are-the-differences](https://seller.alibaba.com/businessblogs/px53308i-alibabacom-vs-alibaba-com-vs-aliexpress-what-are-the-differences)

Alibaba Group Holding Limited. (2022). *Fiscal Year 2022 Annual Report*. <https://data.alibabagroup.com/ecms-files/886023430/c330302f-bfdd-4c79-a5ac-614446292e68.pdf>

American Institute of Certified Public Accountants. (2019, August 15). *Majority of Recent Graduates Plan to Start a Business: AICPA Survey* [Press release]. Retrieved on December 18, 2022, from <https://www.aicpa.org/news/article/majority-of-recent-graduates-plan-to-start-a-business-aicpa-survey>

Arcieri, K. (2019, December 12). *Alibaba, Amazon battle over US B2B market with rival platforms*. S&P Global. <https://www.spglobal.com/marketintelligence/en/news-insights/latest-news-headlines/alibaba-amazon-battle-over-us-b2b-market-with-rival-platforms-55774891>

Blacksmith International. (2022a). *Packages*. Retrieved on December 17, 2022, from <https://blacksmithint.com/packages/>

Blacksmith International. (2022b). *Frequently Asked Questions*. Retrieved on December 17, 2022, from <https://blacksmithint.com/frequently-asked-questions/>

Blacksmith International, LLC [Company financials]. (n.d.). Retrieved on December 1, 2022 from EBSCOhost. <https://search.ebscohost.com.libproxy.fitsuny.edu/login.aspx?direct=true&db=cix&AN=080259951&site=bsi-live>

Blacksmith International. (2020, November 5). How Supply Chain Agility Grew Little Poppy from Startup to Multimillion-Dollar Brand [Guest editorial]. *Sourcing Journal*. <https://sourcingjournal-com.libproxy.fitsuny.edu/topics/sourcing/blacksmith-international-little-poppy-bow-subscription-supply-chain-agility-241489/>

Blacksmith International. (2021, May 27). *Top Sustainable Manufacturing Certifications*. <https://blacksmithint.com/top-sustainable-manufacturing-certifications/>

Bluesign. (2022a). *Questions and Answers*. Retrieved on December 18, 2022, from <https://www.bluesign.com/en/about/faq>

Bluesign. (2020, March). *bluesign® CRITERIA for production sites ANNEX: Garment Manufacturer/Assembler*. Retrieved on December 18, 2022, from https://www.bluesign.com/downloads/criteria-2020/annex_garment_manufacturer_assembler_v2.1_2020-03.pdf

Brunn, P., Jensen, M., & Skovgaard, J. (2002, June). e-Marketplaces:: Crafting A Winning Strategy. *European Management Journal*, 20(3), 286-298. [https://doi.org/10.1016/S0263-2373\(02\)00045-2](https://doi.org/10.1016/S0263-2373(02)00045-2)

Colledge, M., & Martyn, M. (2021, January 12). *Entrepreneurialism In the Time of the Pandemic*. Ipsos. <https://www.ipsos.com/en/entrepreneurialism-time-pandemic>

Cradle to Cradle. (2022a). *What is Cradle to Cradle® Certified?* Retrieved on December 18, 2022, from <https://www.c2ccertified.org/get-certified/product-certification>

Cradle to Cradle. (2022b). *Cradle to Cradle Certified Products Registry*. Retrieved on December 18, 2022, from <https://www.c2ccertified.org/products/registry>

Crunchbase. (n.d.). *Maker's Row* [Company financials]. Retrieved on December 17, 2022, from https://www.crunchbase.com/organization/makers-row/company_financials

Deeley, R. (2021, November 19). *The sustainability regulations that could reshape fashion*. The Business of Fashion. Retrieved December 18, 2022, from <https://www.businessoffashion.com/articles/sustainability/the-sustainability-regulations-that-could-reshape-the-fashion-industry/>

Global Organic Textile Standard. (2021a). *Certification*. Retrieved on December 18, 2022, from <https://global-standard.org/certification-and-labelling/certification#certificates>

Global Organic Textile Standard (2021b). *Certified Suppliers Database*. Retrieved on December 18, 2022, from <https://global-standard.org/find-suppliers-shops-and-inputs/certified-suppliers/database/search>

Invest in Colombia. (n.d.). *Why Invest in the Colombian Fashion Industry?* Ministerio de Comercio, Industria y Turismo. Retrieved on December 18, 2022, from <https://investincolombia.com.co/en/sectors/manufacturing-industries/fashion-industry>

Jaramillo, A., & Medina, O. (2022, November 1). Colombia Peso Extends Drop to Record Below 5,000 Per Dollar. *Bloomberg*. <https://www.bloomberg.com/news/articles/2022-11-01/colombian-peso-extends-plunge-to-record-low-of-5-000-per-dollar-l9ybsm4d#xj4y7vzkg>

Jones, S. (2020, June 1). Up Close: In Conversation with Blacksmith International's Brian Sather. *Sourcing Journal*. <https://sourcingjournal-com.libproxy.fitsuny.edu/topics/business-news/up-close-blacksmith-international-on-demand-manufacturing-apparel-211649/>

Julich, M. (2019, August 27). 7 in 10 young workers prefer freedom to job security. *Journal of Accountancy*. <https://uat.journalofaccountancy.com/news/2019/aug/job-security.html>

Kaplan, J. M., & McGourty, J. (2020). *Patterns of Entrepreneurship Management* (6th ed.). Wiley.

Kent, S. (2022, November 9). *Can fashion stop greenwashing?* The Business of Fashion. Retrieved December 19, 2022, from <https://www.businessoffashion.com/articles/sustainability/greenwashing-fashion-marketing-sustainability-hm-regulation/>

Lim, M., & O'Leary, B. (2020, May 5). Could a Marketplace Solve Fashion's Supply Chain Challenges? [Op-ed]. *Business of Fashion*. <https://www.businessoffashion.com/opinions/retail/op-ed-could-a-marketplace-solve-fashions-supply-chain-challenges/>

Lunden, I. (2013, July 19). To Give U.S. Manufacturing A Boost, Maker's Row Gets \$1M From Index, Comcast, Alexis Ohanian & More. *TechCrunch*. <https://techcrunch.com/2013/07/19/makers-row-wants-to-give-u-s-manufacturing-a-boost-gets-1m-from-index-comcast-alex-ohanian-more-for-its-business-marketplace/>

Maker's Row. (2022a). *Plans*. Retrieved on December 17, 2022, from <https://makersrow.com/plans>

Maker's Row. (2022b). *Factories*. Retrieved on December 17, 2022, from <https://makersrow.com/factories>

McFall-Johnsen, M. (2019, October 21). The fashion industry emits more carbon than international flights and maritime shipping combined. Here are the biggest ways it impacts the planet. *Business Insider*. <https://www.businessinsider.com/fast-fashion-environmental-impact-pollution-emissions-waste-water-2019-10>

McGregor, L. (2015, September 15). Maker's Row Launches E-Commerce to Boost Business for American-Made Goods. *Sourcing Journal*. <https://sourcingjournal-com.libproxy.fitsuny.edu/topics/retail/makers-row-launches-e-commerce-to-boost-business-for-american-made-goods-35875/>

Miller, R. K., & Washington, K. (2019). Consumer Behavior 2019-2020. *RKMA Market Research Handbook Series* (13th ed.). Richard K. Miller & Associates. <https://www-rkma-com.libproxy.fitsuny.edu/fitnyc/cb19/index.cfm>

Molinsky, E. (2013, May 9). Stitching Connections Between U.S. Fashion Designers, Makers. *NPR*. <https://www.npr.org/sections/alltechconsidered/2013/05/09/181646847/Fashion-Site>

OceanSafe. (2021). *OceanSafe Certified*. Retrieved on December 18, 2022, from <https://www.oceansafe.co/detail/oceansafe-certified>

OEKO-TEX. (2022a). *OEKE-TEX® STANDARD 100*. Retrieved on December 18, 2022, from <https://www.oeko-tex.com/en/our-standards/oeko-tex-standard-100>

OEKO-TEX. (2022b). *OEKE-TEX® STeP*. Retrieved on December 18, 2022, from <https://www.oeko-tex.com/en/our-standards/oeko-tex-standard-100>

OEKO-TEX. (2022c). *OEKE-TEX® ECO PASSPORT*. Retrieved on December 18, 2022, from <https://www.oeko-tex.com/en/our-standards/oeko-tex-eco-passport>

OEKO-TEX. (2022d). *OEKE-TEX® MADE IN GREEN*. Retrieved on December 18, 2022, from <https://www.oeko-tex.com/en/our-standards/oeko-tex-made-in-green>

Petro, G. (2022, October 12). *Consumers Demand Sustainable Products and Shopping Formats*. Forbes. Retrieved December 18, 2022, from <https://www.forbes.com/sites/gregpetro/2022/03/11/consumers-demand-sustainable-products-and-shopping-formats/?sh=20efdc336a06>

Simon-Kucher & Partners. (2021, October 14). *Recent study reveals more than a third of global consumers are willing to pay more for sustainability as demand grows for environmentally-friendly alternatives* [Press release]. Business Wire. Retrieved December 18, 2022, from <https://www.businesswire.com/news/home/20211014005090/en/Recent-Study-Reveals-More-Than-a-Third-of-Global-Consumers-Are-Willing-to-Pay-More-for-Sustainability-as-Demand-Grows-for-Environmentally-Friendly-Alternatives>

Singh, A. A. (2022, September 1). *Top 7 ecommerce hosting services for your B2B wholesale store*. InSync Tech-Fin Solutions Ltd. Retrieved December 18, 2022, from <https://insync.co.in/top-ecommerce-hosting-for-your-b2b-wholesale-store/>

Social Accountability International. (2022a). *SA8000® Standard*. Retrieved on December 18, 2022, from <https://sa-intl.org/programs/sa8000/>

Social Accountability International. (2022b). *SA8000 Certified Organization List*. Retrieved on December 18, 2022, from <https://sa-intl.org/sa8000-search/>

Spehar, D. S. (2022, December 5). Address at Shirley Goodman Resource Center, Fashion Institute of Technology, New York, NY.

Statista. (2022, November 17). *Colombia's textile and apparel industry - statistics & facts* [Dossier]. <https://www-statista-com.libproxy.fitsuny.edu/topics/7177/textile-and-apparel-industry-in-colombia/>

Team, B. F. (2021, December 15). *The BOF professional summit: Closing fashion's sustainability gap*. The Business of Fashion. Retrieved December 18, 2022, from <https://www.businessoffashion.com/articles/sustainability/the-bof-professional-summit-closing-fashions-sustainability-gap/>

Textile Exchange. (2017, July 1). *Global Recycled Standard 4.0*. <https://textileexchange.org/app/uploads/2021/02/Global-Recycled-Standard-v4.0.pdf>

Textile Exchange. (2022). *Find a Certified Company*. Retrieved on December 18, 2022, from <https://textileexchange.org/find-certified-company/>

Tyson, A., Kennedy, B., & Funk, C. (2021, May 26). *Gen Z, Millennials Stand Out for Climate Change Activism, Social Media Engagement With Issue*. Pew Research Center.

<https://www.pewresearch.org/science/2021/05/26/gen-z-millennials-stand-out-for-climate-change-activism-social-media-engagement-with-issue/>

U.S. Environmental Protection Agency. (2022, December 3). *Textiles: Material-Specific Data*. Retrieved on December 18, 2022, from <https://www.epa.gov/facts-and-figures-about-materials-waste-and-recycling/textiles-material-specific-data>

WRAP. (n.d.-a). *Certification Explained*. Retrieved on December 18, 2022, from <https://wrapcompliance.org/en/certification/certification-explained/>

WRAP. (n.d.-b). *Facilities and monitors*. Retrieved on December 18, 2022, from <https://wrapcompliance.org/en/certification/facility-monitor-list/>

Appendix A

Sustainability and Ethical Certifications

We will be using the certification methods listed below to inform our project. Some certifications aim to inform customers of the sustainable materials within a product, while others act as a resource for businesses to find suppliers or partners that have sustainable and ethical manufacturing standards. Moreover, some programs actually combine the two objectives, or even certify an entire textile value chain instead of individual parts within it. It is important to note that this is a working list; we may change the certifications as we further consult and conduct interviews with experts and potential customers.

Global Organic Textile Standard

The Global Organic Textile Standard (GOTS) is a certification that defines textile processing requirements for organic fibers. Since its establishment in 2006, it has been a globally recognized standard for organic textiles such as cotton or flax. GOTS focuses on certifying materials throughout the entire textile supply chain from post-harvest, spinning, weaving or knitting, wet-processing, manufacturing, and trading (Global Organic Textile Standard, 2021a). The site provides a database of GOTS-certified suppliers and its facilities (Global Organic Textile Standard, 2021b).

OEKO-TEX

OEKO-TEX is a set of certifications that focuses on the ecological safety of textile products throughout the supply chain, from raw materials, components like zippers or labels, yarns and fibers, to finished products. OEKO-TEX has several different certifications focusing on different segments, but we will focus on four that are relevant to this project. The first is Standard 100, which informs end customers that textile products have been tested for a wide range of harmful chemicals and its contents remain below the standardized value limit (OEKO-TEX, 2022a). The second standard, STeP by OEKO-TEX, is not a customer-facing certification but is instead used to accredit environmentally and socially responsible production facilities and communicate those values in a B2B context (OEKO-TEX, 2022b). OEKO-TEX operates a database called MySTeP for manufacturing facilities that meet this certification. The third certification is Eco Passport by OEKO-TEX, which verifies that textile chemicals such as colorants, adhesives, or cleaning agents meet sustainable production requirements (OEKO-TEX, 2022c). Lastly, Made in Green by OEKO-TEX verifies that a textile product has met the Standard 100 requirements, and that a majority of its parts were manufactured in STeP-certified facilities (OEKO-TEX, 2022d). Made in Green-certified products have a unique ID associated with them that customers can look up on the Made in Green database and trace their production.

SA8000

SA8000 is a certification by Social Accountability International (SAI) that aims to give companies across various industries a framework for business conduct centering on fair labor practices (Social Accountability International, 2022a). The certification is based on the United Nations' Universal Declaration of Human Rights, conventions adopted by the International Labor Organization, and relevant national laws (Social Accountability International, 2022a).

The SA8000 standard measures a company's performance on eight social accountability spheres: child labor, forced labor, discrimination, workplace health and safety, collective bargaining rights and freedom of association, disciplinary practices, working hours, compensation, and management systems (Social Accountability International, 2022a). SAI operates a searchable database of organizations with SA8000 certifications, including those working in apparel and textile manufacturing (Social Accountability International, 2022b).

Worldwide Responsible Accredited Production

The Worldwide Responsible Accredited Production (WRAP) is a social accountability certification for apparel, footwear, and “sewn product” sectors that focuses on high labor standards (WRAP, n.d.-a). Instead of certifying companies, WRAP focuses on auditing manufacturing facilities. To obtain certification, these facilities must comply with WRAP’s 12 principles: compliance with workplace and customs laws, work hour regulations, health and safety standards, and environmental rules; prohibition of forced and child labor, harassment, abuse, and discrimination; meeting or exceeding minimum compensation requirements; recognition of freedom of association and collective bargaining rights; and maintaining security for workers (WRAP, n.d.-a). Most WRAP certifications are valid for only one year, so manufacturers will need to conduct annual audits. WRAP maintains a database for facilities that have received certification (WRAP, n.d.-b).

Bluesign

Bluesign is a certification focusing on sustainable textile chemistry. The standard assesses each step of the textile supply chain, from chemical suppliers to manufacturers to brands, to eliminate harmful substances and improve “environmental performance, working conditions, and resource consumption” to ensure safety for consumers, workers, and the environment (Bluesign, 2022, para.1). Bluesign works with its partners to ensure toxic substances are eliminated from the beginning of the textile value chain. It operates on the principle of “sustainable chemistry” that calls for designing for the circular economy, using sustainable feedstock, increasing resource efficiency, ensuring consumer and worker safety, minimizing waste and air emissions, and extending a consumer product’s life (Bluesign, 2022). BlueSign maintains a comprehensive list of criteria for various stages of the supply chain, from chemicals to factories. It also provides a database of certified partners (Bluesign, 2020).

Cradle to Cradle

Cradle to Cradle (C2C) is a certification standard that assesses products and materials for “safety, circularity and responsibility” across five categories: product circularity, soil and water stewardship, clean air and climate protection, material health, and social fairness (Cradle to Cradle, 2022a). C2C evaluates individual products or materials instead of manufacturers and companies, with the certification valid for two years. While the certifying body provides a directory only of products like C2C-certified textiles or buttons (Cradle to Cradle, 2022b), the database can also be used to search for the manufacturers of these products.

OceanSafe

OceanSafe is a certification standard that verifies the full textile value chain, from the materials and parts that comprise a product to the facilities in which the product is manufactured. OceanSafe’s product-focused certification includes the following standards: fully circular product lifecycle; biodegradable, compostable, and toxin-free materials; Cradle to Cradle certified; high quality and durability; and established take-back programs (OceanSafe, 2021). To facilitate the circular component of the certification, OceanSafe provides its partners with access to industrial composting or fiber recycling facilities. For manufacturers, OceanSafe also provides certification to ensure that “spinners, weavers, dyehouses, knitters, cut & sew facilities and other manufacturers” comply with the strict accreditation standards (OceanSafe, 2021). OceanSafe currently does not provide a publicly accessible database of certified manufacturers.

Global Recycled Standard

The Global Recycled Standard (GRS) is a certification from Textile Exchange that sets the criteria for tracking and verifying recycled materials within a textile product. The criteria also deals with chain of custody, chemical makeup, and social and environmental practices incorporated in the manufacturing of the product (Textile Exchange, 2017). To be certified, the accreditation body will need to assess each stage of production from the recycling stage to the “last seller in the final business-to-business transaction” (Textile Exchange, 2017, p. 6). GRS certification can only be applied to products that contain at least 50% recycled materials. On its website, Textile Exchange maintains a database of suppliers and manufacturers of GRS textile products (Textile Exchange, 2022).

BLOKÇEYN ƏSASLI ON-CHAIN MƏLUMATLARIN DATA ANALİTİKA VƏ MAŞIN ÖYRƏNMƏSİ METODLARI VASİTƏSİLƏ KRİPTOVALYUTA BAZARLARININ TƏHLİLİ

İ.Ş. Qurbanzadə

magistrant, Azərbaycan Dövlət İqtisad Universiteti, ORCID 0009-0000-4300-7147

Xülasə

Hazırkı məqalə Bitcoin kriptovalyutasının 2019–2026-cı illər dövründəki bazar davranışını blokçeyn əsaslı on-chain məlumatlar və data analitika metodları vasitəsilə empirik cəhətdən araşdırır. Tədqiqatın məqsədi on-chain göstəricilərin — aktiv ünvan sayı, hash rate, MVRV nisbəti, SOPR, birja axınları — qiymət dinamikası ilə əlaqəsini kəmiyyətə müəyyənləşdirmək, bazar tsiklinin fazalarını rejim analizi vasitəsilə müəyyənləşdirmək və maşın öyrənməsi modellərinin proqnoz dəqiqliyini müqayisəli şəkildə qiymətləndirməkdir. CoinGecko, Blockchain.com və Glassnode metodologiyası əsasında 2.588 günlük verilənlər bazası formalaşdırılmış; Pearson korrelyasiya analizi, MinMaxScaler normallaşdırması, 80/20 train-test bölgüsü, Xətti Reqresiya, Random Forest (300 ağac) və LSTM (60 günlük lookback) tətbiq edilmişdir. Nəticə olaraq aktiv ünvan sayı ($r=0,90$) və hash rate ($r=0,88$) ilə qiymət arasında çox yüksək korrelyasiya müəyyənləşdirilmiş, MVRV/SOPR rejim analizinin bazar tsiklini uğurla müəyyənləşdirdiyi, LSTM modelinin ($R^2=0,1796$) Random Forest-i ($R^2=-1,3307$) üstələdiyi sübut edilmişdir.

Açar sözlər: blokçeyn, on-chain göstəricilər, kriptovalyuta, MVRV, SOPR, maşın öyrənməsi, LSTM, Random Forest, Bitcoin, data analitikası

GİRİŞ

Kriptovalyuta bazarları son on ildə maliyyə sisteminin ən dinamik və ən az öyrənilmiş segmentlərindən birinə çevrilmişdir. 2008-ci ildə Nakamoto tərəfindən təklif olunan Bitcoin protokolu sadə ödəniş mexanizmindən institusional maliyyənin əsas müzakirə mövzuna transformasiya olunmuşdur. 2024-cü ildə ABŞ Qiymətli Kağızlar və Birja Komissiyasının (SEC) spot Bitcoin ETF-lərini rəsmiləşdirməsi, 2025-ci ildə isə Bitcoin qiymətinin \$116.000 rekord həddini keçməsi bu bazarların artıq marqinal fenomen deyil, global maliyyə sisteminin struktural komponenti olduğunu təsdiqləyir.

Bazar iştirakçıları üçün əsas metodoloji problem budur: ənənəvi maliyyə analitikası — qiymət, həcm, kapitallaşma — Bitcoin bazarının xüsusiyyətlərini adekvat şəkildə əks etdirmir. Blokçeyn texnologiyasının fundamental xüsusiyyəti olan şəffaflıq isə yeni analitik imkan yaradır: hər tranzaksiya dəyişdirilməz şəkildə, ictimaiyyətə əlçatan formada qeydə alınır. Bu on-chain məlumatlar — aktiv ünvan sayı, hash rate, MVRV nisbəti, SOPR, birja axınları — bazar davranışını ənənəvi göstəricilərdən daha dərin səviyyədə izah etmək potensialına malikdir.

Mövcud ədəbiyyatın araşdırılması göstərir ki, kriptovalyuta qiymət proqnozlaşdırması sahəsindəki tədqiqatlar əsasən iki istiqamətdə inkişaf etmişdir: ənənəvi statistik metodlar (ARIMA, GARCH) və dərin öyrənmə modelləri (LSTM, CNN). Lakin bu tədqiqatların əksəriyyəti yalnız off-chain məlumatlardan istifadə edir. On-chain fundamental metrikaların sistemli şəkildə maşın

öyrənməsi modellərinə integrasiyası isə az işlənmiş tədqiqat istiqaməti olaraq qalır. Məhz bu boşluq hazırkı məqalənin əsas elmi motivasiyasını formalaşdırır.

ƏDƏBİYYAT İCMALI

Kriptovalyuta bazarlarının empirik tədqiqi iki əsas istiqamət ətrafında formalaşmışdır: bazar səmərəliliyi hipotezinin yoxlanılması və qiymət proqnozlaşdırma metodlarının müqayisəsi. Fama (1970) tərəfindən irəli sürülən effektiv bazar hipotezi (EBH) kontekstindəki ilk kriptovalyuta tədqiqatları Bitcoin bazarlarının tam effektiv olmadığını ortaya qoymuşdur. Urquhart (2016) Bitcoin-in informasiya baxımından qeyri-effektiv olduğunu sübut etmiş; Bariviera (2017) isə Hurst eksponentindən istifadə etməklə bu qeyri-effektivliyin dinamik xarakter daşdığını müəyyənləşdirmişdir. Hurst eksponentinin 0,60–0,65 aralığında qalması mənalı avtokorrelyasiyanın mövcudluğunu göstərir ki, bu da maşın öyrənməsi modellərinin tətbiqinin nəzəri bazasını formalaşdırır.

Qiymət proqnozlaşdırması sahəsindəki tədqiqatlarda LSTM arxitekturası dominant mövqe tutmuşdur. McNally et al. (2018) LSTM modelinin Bitcoin qiymətinin proqnozlaşdırılmasında ənənəvi ARIMA modelini üstələdiyini göstərmişdir. Chen et al. (2020) isə LSTM, Random Forest və SVM modellərini müqayisəli şəkildə qiymətləndirərək LSTM-in üstünlüyünü əsaslandırırmışdır. Lahmire və Bekiros (2019) xaos neyron şəbəkəsi arxitekturası ilə LSTM kombinasiyasının proqnoz dəqiqliyini artırdığını sübut etmişdir.

On-chain məlumatların analitik potensialına dair tədqiqatlar mühüm nəticələr ortaya qoymuşdur. Jang və Lee (2018) 11 on-chain göstəricidən istifadə etməklə proqnoz dəqiqliyinin yüksəldiyini müəyyənləşdirmiş; bu, on-chain məlumatların müstəqil informasiya məzmunu daşdığının ilk empirik sübutlarından biridir. Peterson (2018) Metcalfe qanununun Bitcoin bazar dəyərində tətbiqini araşdırmış; aktiv istifadəçi sayı ilə bazar qiymətləndirməsi arasındakı güclü əlaqəni nümayiş etdirmişdir. Bianchi et al. (2022) birja axınlarını GARCH-X modeli çərçivəsində volatillik proqnozuna daxil etmiş, bu göstəricinin şərti dispersiyaya anlamlı töhfə verdiyini sübut etmişdir.

Mövcud ədəbiyyatın sistemli icmalı üç əsas boşluğu üzə çıxarır: birincisi, on-chain fundamental metrikaların (MVRV, SOPR) sistemli şəkildə ML modellərinə integrasiyası nadir haldır; ikincisi, Random Forest, LSTM və Xətti Reqrəsiya modellərinin eyni on-chain dəyişən dəstinə görə müqayisəli analizi az işlənmişdir; üçüncüsü, 2024–2026-cı illərdəki institusional dövr üzrə empirik tədqiqatlar demək olar ki, mövcud deyildir. Hazırkı məqalə bu boşluğu bağlamaq məqsədi güdür.

NƏTİCƏLƏR VƏ MÜZAKİRƏ

Verilənlər bazası və metodologiya

Tədqiqatda CoinGecko, Blockchain.com və Glassnode metodologiyası əsasında 2019-01-01 – 2026-01-31 dövrünü əhatə edən 2.588 günlük Bitcoin verilənlər bazası formalaşdırılmışdır. Verilənlər bazası 12 dəyişəni əhatə edir: bağlanma qiyməti, ticarət həcmi, bazar kapitalizasiyası (off-chain), aktiv ünvan sayı, tranzaksiya sayı, hash rate, birja daxilolma, çıxış, neto axın, MVRV nisbəti, SOPR (on-chain). MinMaxScaler normallaşdırması tətbiq edilmiş, verilənlər 80/20 nisbətində train (n=2.046; 2019-01-31 – 2024-09-05) və test (n=512; 2024-09-06 – 2026-01-30) hissələrinə bölünmüşdür. Model performansı MAE, RMSE, R^2 və MAPE metrikaları ilə qiymətləndirilmişdir.

Cədvəl 1

Verilənlər bazasının deskriptiv statistikasısı (Bitcoin, 2019–2026)

Göstərici	Orta	Std. sapma	Min	Maks.	Median
Bağlanma qiyməti (USD)	44 044	33 644	3 518	116 181	35 781
Ticarət həcmi (mlrd. USD)	16,70	6,43	4,51	65,82	14,92
Aktiv ünvanlar	899 129	250 153	451 765	1 400 000	841 370
Hash Rate (EH/s)	265,27	219,19	36,42	950,18	183,60
MVRV nisbəti	2,1104	0,8578	0,5000	4,8000	2,2320
SOPR	1,0002	0,0522	0,7800	1,2791	1,0000

Mənbə: CoinGecko, Blockchain.com, Glassnode metodologiyası əsasında müəllifin hesablamaları (Python 3.12, pandas 2.2.2).

Pearson korrelyasiya analizi

On-chain göstəricilərin Bitcoin qiyməti ilə əlaqəsini kəmiyyətə müəyyənləşdirmək üçün Pearson korrelyasiya matrisi hesablanmışdır. Cədvəl 2-də on-chain göstəricilərin qiymətlə fərdi korrelyasiya əmsalları sıralanmışdır.

Cədvəl 2

On-chain göstəricilərin Bitcoin qiyməti ilə Pearson korrelyasiyası (2019–2026)

Göstərici	Pearson r	Əlaqə gücü	İstiqamət
Aktiv ünvanlar	0,8999	Çox yüksək	Müsbət
Hash Rate	0,8773	Çox yüksək	Müsbət
Tranzaksiya sayı	0,5574	Yüksək	Müsbət
MVRV nisbəti	-0,3500	Orta	Mənfi
SOPR	-0,0378	Zəif	Mənfi
Birja neto axını	-0,0333	Zəif	Mənfi
Ticarət həcmi	0,0011	Zəif	Müsbət

Mənbə: Müəllifin hesablamaları (pandas.DataFrame.corr(), Python 3.12).

Cədvəl 2-nin nəticələri bir sıra mühüm tapıntıları ortaya qoyur. Aktiv ünvan sayı ($r=0,90$) və hash rate ($r=0,88$) ilə qiymət arasındakı çox yüksək müsbət korrelyasiya Metcalfe qanununun empirik sübutunu təşkil edir: şəbəkənin dəyəri istifadəçi sayının kvadratına mütənasib olaraq artır. Hash rate-in bu güclü korrelyasiyası mədəncilik infrastrukturuna olan institusional inamın bazar qiymətləndirməsini birbaşa əks etdirdiyini göstərir. MVRV nisbətinin orta dərəcəli mənfi korrelyasiyası ($r=-0,35$) isə qiymət yüksəldikcə bazar dəyərinin realizə olunmuş dəyəri artıq əhəmiyyətli dərəcədə üstələdiyini nümayiş etdirir ki, bu da klassik mənfəət realizəsi dinamikası ilə uyğundur.

MVRV/SOPR rejim analizi

Bazar tsiklinin fazalarını müəyyənləşdirmək üçün MVRV nisbəti və SOPR göstəricisi rejim analizinə tabi tutulmuşdur. Tədqiqat dövrünün 14,9%-ində (385 gün) MVRV 1,0-dan aşağı olmuşdur — bu, investorların orta hesabla zərərdə olduğu kapitulyasiya fazasına uyğun gəlir. Yalnız 4 gün (0,2%) MVRV 3,5-i keçmiş — bu həddlər tarixi olaraq bazar zirvəsinə yaxın dövrlərlə üst-üstə düşür. SOPR-un günlərin 50,0%-ini (1.293 gün) zərər ərazisində keçirməsi kriptovalyuta bazarının struktural volatilliyinin kəmiyyətə ən bariz sübutudur. Bu nəticə investorların aktivlərini alışı qiymətindən aşağıda satmağa məcbur olduğu günlərin sayının bütün tədqiqat dövrünün yarısını keçdiyini göstərir. Bu tapıntılar on-chain göstəricilərin investor davranışını anlama baxımından ənənəvi qiymət analizindən daha dərin informasiya məzmununa malik olduğunu ortaya qoyur.

Maşın öyrənməsi modellərinin müqayisəli nəticələri

Cədvəl 3

Maşın öyrənməsi modellərinin performans müqayisəsi (test: n=512 gün, 2024-09-06 – 2026-01-30)

Model	MAE (USD)	RMSE (USD)	R ²	MAPE (%)
Xətti Regresiya	734,63	1 107,90	0,9831	0,76
Random Forest	10 570,02	13 016,93	-1,3307	10,33
LSTM ◀	5 939,51	7 722,79	0,1796	6,26

Qeyd: ◀ — ML modellər arasında ən yaxşı ekstrapolyasiya qabiliyyəti. Mənbə: Müəllifin hesablamaları (scikit-learn 1.6.1, Python 3.12).

Cədvəl 3-ün nəticələri üç əsas tapıntıyı ortaya qoyur. Xətti Regresiya modeli $R^2=0,9831$ ilə ən yüksək determinasiya əmsalını nümayiş etdirmişdir. Lakin bu nəticə müstəqil on-chain dəyişənlərinin proqnoz gücünü deyil, güclü qiymət avtokorrelyasiyasını əks etdirir — feature dəstinə cari günün bağlanma qiyməti (Close_USD) daxil olduğundan, model əsasən bu dəyişəndən öyrənmişdir. Beləliklə LR modeli baza (baseline) nöqtəsi rolunu oynayır.

Random Forest modeli $R^2=-1,3307$ ilə test dövründə ən pis performans nümayiş etdirmişdir. Mənfi R^2 dəyəri modelin ortalama proqnozdan da pis çıxış etdiyini ifadə edir. Bu nəticə Random Forest-in məlum ekstrapolyasiya məhdudiyyətini açıq şəkildə ortaya qoyur: model train dövründə müşahidə edilməyən qiymət səviyyələrini proqnozlaşdırma bilmir. 2025-ci ildə Bitcoin \$116.000 rekord həddini keçmiş — bu dəyər train dövründəki qiymət tavanını (\$95.000) əhəmiyyətli dərəcədə üstələmişdir. Ağac əsaslı modellərin bu metodoloji məhdudiyyəti Hastie et al. (2009) tərəfindən nəzəri cəhətdən əsaslandırılmışdır.

LSTM modeli $R^2=0,1796$ ilə Random Forest-dən əhəmiyyətli dərəcədə yaxşı performans göstərmiş, dərin sinir şəbəkəsinin qeyri-xətti interpolyasiya qabiliyyətinin ağac əsaslı modellərə nisbətən daha yüksək ekstrapolyasiya potensialına malik olduğunu nümayiş etdirmişdir. 60 günlük lookback pəncərəsi uzunmüddətli trend siqnallarını — MVRV, SOPR kimi bazar tsikl göstəricilərinin tarixini — modelin daxil etməsinə imkan vermişdir. Feature importance analizi isə cari qiymət dəyişəninin 1.000 əmsalı ilə bütün proqnoz gücünü cəmləşdirdiyini, on-chain dəyişənlərinin praktik olaraq sıfır əhəmiyyət aldığını ortaya qoymuşdur. Bu tapıntı vacib metodoloji istiqaməti açır: on-chain göstəricilər qiymət dəyişikliyi (log return) proqnozlaşdırılmasında daha yüksək ayırd edici güc göstərə bilər.

NƏTİCƏ

Aparılan tədqiqat bir sıra mühüm elmi nəticələri ortaya qoymuşdur. Aktiv ünvan sayı ($r=0,90$) və hash rate ($r=0,88$) ilə Bitcoin qiyməti arasındakı çox yüksək korrelyasiya Metcalfe qanununun 2019–2026-cı illər üçün ilk empirik sübutunu təşkil edir. MVRV/SOPR rejim analizi bazar tsiklinin müxtəlif fazalarını — kapitulyasiya, inam, eyfori — statistik dəqiqliklə müəyyənləşdirmişdir; bu göstəricilər ənənəvi maliyyə analitikasında mövcud olmayan, blokçeynə xas unikal informasiya mənbəyidir.

Maşın öyrənməsi modellərinin müqayisəli analizi göstərmişdir ki, Random Forest-in ekstrapolyasiya məhdudiyyəti rekord qiymət dövrlərinin proqnozlaşdırılmasında ciddi əngəl yaradır. LSTM modeli daha yüksək uyğunlaşma qabiliyyəti nümayiş etdirmiş, lakin on-chain dəyişənlərinin bu modelə sərbəst töhfəsi güclü qiymət avtokorrelyasiyası fonunda əvəzlənmişdir. Gələcək tədqiqatlar üçün ən perspektivli istiqamət on-chain göstəricilərin qiymət dəyişikliyi (log return) proqnozunda tətbiqidir.

Tədqiqatın praktiki əhəmiyyəti üç istifadəçi qrupu üçün müəyyənləşdirilmişdir. İnstitusional investorlar üçün MVRV (1,0 altı — alış imkanı; 3,5 üstü — risk signalı) və SOPR rejim analizinin portfel idarəetmə sistemlərinə integrasiyası tövsiyə olunur. Portfel idarəçiləri üçün ağac əsaslı modellərdə rolling retraining sistemi zəruridir. Tənzimləyici qurumlar üçün isə aktiv ünvan sayı, hash rate, birja neto axını kimi on-chain göstəricilər sistemik risk monitorinqi çərçivəsinə daxil edilməlidir.

Blokçeyn məlumatlarının data analitika metodları ilə sistemli öyrənilməsi kriptovalyuta bazarlarının daha dərin anlaşılmasına əhəmiyyətli töhfə verir. On-chain göstəricilər bazar tsiklinin müəyyənləşdirilməsi, investor davranışının qiymətləndirilməsi və şəbəkə sağlamlığının monitorinqi baxımından əvəzolunmaz analitik vasitə olduğunu empirik cəhətdən sübut etmişdir.

İstifadə edilmiş ədəbiyyat:

1. Bariviera A.F. (2017). The inefficiency of Bitcoin revisited: A dynamic approach. *Economics Letters*, 161, s. 1-4.
2. Bianchi D., Babiak M., Dickerson A. (2022). Bitcoin, Currencies, and Fragility. *Journal of Financial Economics*, 146(2), s. 669-696.
3. Chen Z., Li C., Sun W. (2020). Bitcoin price prediction using machine learning. *Journal of Computational and Applied Mathematics*, 365, 112395.
4. Fama E.F. (1970). Efficient Capital Markets: A Review of Theory and Empirical Work. *The Journal of Finance*, 25(2), s. 383-417.
5. Hastie T., Tibshirani R., Friedman J. (2009). *The Elements of Statistical Learning*. 2nd ed. Springer, New York.
6. Jang H., Lee J. (2018). An Empirical Study on Modeling and Prediction of Bitcoin Prices With Bayesian Neural Networks. *IEEE Access*, 6, s. 5427-5437.
7. Lahmiri S., Bekiros S. (2019). Cryptocurrency forecasting with deep learning chaotic neural networks. *Chaos, Solitons & Fractals*, 118, s. 35-40.
8. McNally S., Roche J., Caton S. (2018). Predicting the Price of Bitcoin Using Machine Learning. *26th Euromicro International Conference on PDP*, s. 339-343.
9. Nakamoto S. (2008). *Bitcoin: A Peer-to-Peer Electronic Cash System*.
<https://bitcoin.org/bitcoin.pdf>
10. Peterson B. (2018). Bitcoin Metcalfe's Law as a Fundamental Value to Track Bitcoin Price. LendEDU. <https://lendedu.com>
11. Urquhart A. (2016). The inefficiency of Bitcoin. *Economics Letters*, 148, s. 80-82.
12. Glassnode (2024). Institutional-Grade On-Chain Analytics: Data Methodology.
<https://glassnode.com/methodology>
13. Mahmudov M., Puell D. (2018). MVRV Ratio: Bitcoin Valuation. Medium.
<https://medium.com/adaptivecapital/bitcoin-market-value-to-realized-value-mvr-v-ratio>

I.S. Gurbanzade

Master's student, Azerbaijan State University of Economics

ORCID 0009-0000-4300-7147

ANALYSIS OF CRYPTOCURRENCY MARKETS USING BLOCKCHAIN-BASED ON-CHAIN DATA, DATA ANALYTICS AND MACHINE LEARNING METHODS

Abstract

This article empirically investigates the market behaviour of Bitcoin over the 2019–2026 period using blockchain-based on-chain data and data analytics methods. A 2,588-day dataset was constructed from CoinGecko, Blockchain.com and Glassnode methodology. Pearson correlation analysis revealed very high positive correlations between active addresses ($r=0.90$) and hash rate ($r=0.88$) with Bitcoin price, constituting empirical evidence for Metcalfe's Law. MVRV/SOPR regime analysis successfully identified market cycle phases: the capitalisation zone covered 14.9% of the study period, while SOPR indicated loss realisation on 50.0% of days. Among three machine learning models compared, LSTM ($R^2=0.1796$) substantially outperformed Random Forest ($R^2=-1.3307$) during the record-price test period, while the extrapolation limitation of Random Forest was theoretically grounded. The findings demonstrate that on-chain indicators constitute an indispensable analytical tool for cryptocurrency market analysis.

Key words: blockchain, on-chain indicators, cryptocurrency, MVRV, SOPR, machine learning, LSTM, Random Forest, Bitcoin, data analytics

ВЛИЯНИЕ ESG-ФАКТОРОВ НА ИНВЕСТИЦИОННУЮ ПРИВЛЕКАТЕЛЬНОСТЬ КОМПАНИЙ

Масанова Лаура Ертаевна

к.э.н., и.о. асс. профессор Алматинский технологический университет

Джамалова Лейла Камаловна

студентка Алматинский технологический университет, г. Алматы, Республика Казахстан

Аннотация: в данной статье раскрываются основные тренды и механизм реализации повышения инвестиционной привлекательности компаний в контексте современной ESG - концепции развития корпоративного бизнеса на примере Казахстана. Особое внимание уделяется взаимосвязи ESG-трансформации компании и устойчивости инвестиций, привлечение иностранного капитала, корпоративного менеджмента.

Ключевые слова: ESG-факторы, инвестиционная привлекательность, корпоративное управление, устойчивое финансирование бизнеса, репутационный капитал компании.

В современных условиях развития мировой экономики инвестиционная привлекательность компаний определяется не только традиционными финансовыми показателями, но и уровнем их устойчивости, социальной ответственности и качества корпоративного управления. Концепция ESG (Environmental, Social, Governance) становится ключевым инструментом оценки бизнеса со стороны инвесторов, отражая его способность к долгосрочному развитию и адаптации к глобальным вызовам. Экологические факторы (E) включают воздействие компании на окружающую среду, управление выбросами, ресурсосбережение и внедрение экологически чистых технологий. Социальные факторы (S) связаны с условиями труда, взаимодействием с обществом и соблюдением прав человека. Управленческие факторы (G) отражают качество корпоративного управления, прозрачность и уровень защиты интересов инвесторов. В совокупности данные компоненты формируют комплексную оценку устойчивости компании и позволяют инвесторам более точно оценивать риски и перспективы вложений [1].

Усиление внимания к ESG-факторам обусловлено ростом значимости устойчивого развития, климатических рисков и социальной ответственности бизнеса. ESG-факторы также оказывают влияние на рыночную стоимость компаний. Исследования показывают, что компании с высоким уровнем ESG-рейтингов имеют более высокую капитализацию и устойчивую динамику роста. Это связано с тем, что инвесторы рассматривают такие компании как менее рискованные и более перспективные в долгосрочной перспективе. Кроме того, наличие ESG-отчетности усиливает положительное влияние на инвестиционную привлекательность [2].

Одним из ключевых аспектов влияния ESG является снижение инвестиционных рисков. Компании, активно внедряющие ESG-принципы, демонстрируют более устойчивые финансовые результаты и меньшую подверженность внешним шокам. Интеграция ESG в систему управления позволяет своевременно выявлять и минимизировать экологические, социальные и управленческие риски, что повышает доверие инвесторов и способствует росту стоимости бизнеса.

Важным фактором является также влияние ESG на доступ к капиталу. Современные инвесторы, включая институциональные фонды, все чаще ориентируются на устойчивые инвестиции. По данным исследования GPI Group, значительная доля инвесторов планирует увеличивать инвестиции в компании, соответствующие ESG-критериям, что усиливает конкуренцию за капитал среди предприятий. Наличие ESG-стратегии и раскрытие нефинансовой отчетности становятся важными условиями привлечения финансирования [3].

Особое значение ESG-повестка приобретает в развивающихся экономиках, включая Республику Казахстан. В последние годы в стране наблюдается активное внедрение принципов устойчивого развития как на уровне государства, так и бизнеса. Согласно исследованиям, проведенным компанией EY (входит в группу Ernst & Young Global Limited), около 86% инвесторов считают ESG-факторы важным элементом оценки инвестиционной привлекательности Казахстана. Это свидетельствует о высокой значимости устойчивого развития для привлечения иностранного капитала и укрепления позиций страны в международной экономике. Для Казахстана развитие ESG-повестки открывает новые возможности для привлечения инвестиций и повышения устойчивости национальной экономики, однако требует дальнейшего совершенствования институциональной среды и практики корпоративного управления. Зарубежные эксперты отмечают в качестве необходимых условий улучшения инвестиционного климата в Казахстане необходимость прогресса в оптимизации инвестиционного администрирования, предсказуемости и стабильности налогового и таможенного законодательства; улучшения взаимодействия с государственными органами [4].

В Казахстане все больше расширяется практика публикации организациями ESG-отчетности, внедрения международных стандартов корпоративной социальной ответственности и экологического менеджмента. Хотя эта практика раскрытия ESG-информации является инициативой самого частного бизнеса, однако государство планирует установить режим обязательности, в частности, в сфере финансового рынка. В исследованиях казахстанских ученых о внедрении ESG-принципов в отечественной строительной индустрии, одной из бурно развивающихся отраслей экономики, отмечается, что Казахстан находится на ранней стадии внедрения зеленых стандартов и уровня регуляторного развития в данной сфере. Вместе с тем, уже применение в корпоративном менеджменте отдельных принципов социальной ответственности бизнеса и управления качеством способствуют повышению эффективности и рентабельности. Результаты регрессионного анализа, проведенного на основе данных 23 строительных компаний в Казахстане показал, что управление такими ESG-факторами, как экономическая эффективность системы управления качеством (EEQMS), затраты на управление качеством (QMC) являются значительными факторами, влияющими на объемы продаж, повышают рентабельность, конкурентоспособность и устойчивость компаний на рынке [5].

Несмотря на положительные тенденции, развитие ESG в Казахстане сталкивается с рядом проблем. К ним относятся недостаточная стандартизация отчетности, ограниченный уровень прозрачности и недостаток квалифицированных специалистов в области устойчивого развития. Кроме того, не все компании осознают стратегическую значимость ESG, воспринимая его как формальное требование, а не как инструмент повышения эффективности бизнеса [1].

Важным направлением развития ESG является цифровизация. Использование технологий Big Data и аналитических инструментов позволяет более точно оценивать ESG-показатели, повышать прозрачность отчетности и улучшать процесс принятия инвестиционных решений. Цифровизация способствует интеграции ESG в финансовый анализ и делает его более доступным для инвесторов. Вместе с тем, внедрение процессов

цифровизации в конечном должно приводить к снижению бюрократизации, устранению административных барьеров.

Таким образом, ESG-факторы становятся важнейшим элементом инвестиционной привлекательности компаний, влияя на уровень рисков, доступ к капиталу, стоимость бизнеса и конкурентоспособность. В условиях глобального перехода к устойчивой экономике учет ESG-принципов становится неотъемлемой частью стратегического управления и финансового анализа.

Дополнительным аспектом влияния ESG-факторов на инвестиционную привлекательность является формирование долгосрочной репутации компании. В условиях высокой конкуренции на глобальных рынках именно репутационный капитал становится одним из ключевых нематериальных активов. Компании, демонстрирующие приверженность принципам устойчивого развития, формируют более высокий уровень доверия со стороны инвесторов, партнеров и потребителей, что в конечном итоге отражается на росте их рыночной стоимости и инвестиционной привлекательности.

Следует отметить, что ESG-факторы оказывают значительное влияние на структуру инвестиционных портфелей. Современные институциональные инвесторы, такие как пенсионные фонды и инвестиционные компании, все чаще интегрируют ESG-критерии в процесс отбора активов. Это приводит к перераспределению капитала в пользу компаний с высокими показателями устойчивости, что усиливает их конкурентные преимущества и способствует притоку инвестиций.

Важным направлением является развитие инструментов устойчивого финансирования, таких как зеленые облигации и социальные инвестиции. По данным аналитического исследования GPI Group, эти инструменты позволяют компаниям привлекать капитал на более выгодных условиях при условии реализации экологических и социальных проектов. Для инвесторов такие инструменты представляют возможность не только получения финансовой прибыли, но и достижения положительного социального и экологического эффекта, что повышает их привлекательность [3].

В Республике Казахстан рынок устойчивого финансирования также постепенно развивается. На базе Астана Международный финансовый центр формируется инфраструктура для выпуска зеленых облигаций и внедрения ESG-стандартов. Деятельность центра направлена на привлечение международных инвесторов и интеграцию Казахстана в глобальную систему устойчивого финансирования, что способствует росту инвестиционной привлекательности страны.

Существенное влияние на развитие ESG в Казахстане оказывает государственная политика. Казахстаном принят на себя климатические обязательства по достижению углеродной нейтральности, присоединился к Глобальной инициативе по сокращению выбросов метана, развитию возобновляемых источников энергии и повышению энергоэффективности, нацелен на стимулирование инвестиций и капитала в экологически и социально ответственные проекты. Это создает благоприятные условия для инвесторов, ориентированных на устойчивые проекты, и способствует формированию положительного инвестиционного имиджа страны [4].

Кроме того, значительную роль играет повышение прозрачности корпоративной отчетности. Раскрытие ESG-информации позволяет инвесторам получать более полное представление о деятельности компании, ее рисках и перспективах развития. В Казахстане наблюдается постепенный переход к международным стандартам нефинансовой отчетности, что способствует повышению доверия со стороны иностранных инвесторов [6].

Необходимо также учитывать влияние ESG-факторов на стоимость заемного капитала. Компании с высокими ESG-показателями, как правило в международной практике, имеют доступ к более дешевым финансовым ресурсам, поскольку рассматриваются

кредиторами как менее рискованные заемщики. Это снижает стоимость финансирования и повышает финансовую устойчивость предприятий, что положительно влияет на их инвестиционную привлекательность [2].

Отдельного внимания заслуживает влияние ESG на управление рисками. Интеграция ESG-принципов позволяет компаниям более эффективно управлять операционными, экологическими и социальными рисками. Это особенно важно в условиях глобальных вызовов, таких как изменение климата, геополитическая и социальная нестабильность, ужесточение регуляторных требований. Стратегии ESG способны обеспечить более высокую адаптивность компаний к данным изменениям, становятся более привлекательными для инвесторов [1].

В то же время необходимо отметить, что внедрение ESG-практик требует значительных затрат и организационных изменений. Для многих компаний, особенно малого и среднего бизнеса, это может стать серьезным барьером. Однако, как показывает международная практика, при благоприятных внешних условиях в долгосрочной перспективе данные инвестиции окупаются за счет повышения эффективности деятельности, снижения рисков и улучшения доступа к капиталу.

Таким образом, перспективы развития ESG-факторов в Казахстане связаны с дальнейшей интеграцией международных стандартов, развитием цифровых технологий и усилением роли государства в регулировании устойчивого развития, подготовка квалифицированных специалистов в области ESG, а также повышение уровня осведомленности бизнеса о преимуществах устойчивого развития. ESG-трансформация бизнеса носит многогранный характер и требует системных усилий бизнеса, общества и государства. В условиях современной экономики учет ESG становится необходимым условием успешного функционирования и конкурентоспособности компаний, фактором привлечения инвестиций в Казахстан и обеспечения устойчивого экономического роста.

Список использованной литературы

1. Нурмагамбетов А. Как тренды ESG влияют на развитие бизнеса // Vctr.kz. – 2026.
2. Кондратюк К.Л. Оценка влияния факторов ESG на инвестиционную привлекательность корпораций // НИУ ВШЭ. – 2025.
3. Как внедрение ESG-стратегии повышает инвестиционную привлекательность компании // GPI Group. – 2025.
4. EY Kazakhstan. Investment Attractiveness Survey 2024. (Инвестиционная привлекательность Казахстана: исследование. – 2024.
5. Жуман Ж., Ежебеков М., Чейрханова А. ESG-принципы в управлении качеством и рентабельностью строительных компаний Казахстана // Scientific Journal of Pedagogy and Economics. – 2025.
6. PwC Kazakhstan. ТОП-50 казахстанских компаний по раскрытию ESG-информации // Kapital.kz. – 2021.

ЭКОНОМИКА КРЕАТИВНЫХ ИНДУСТРИЙ В ЭПОХУ ГЕНЕРАТИВНОГО ИИ

Тушиева Милана Маирэлиевна

Карагандинский государственный университет имени Е.А. Букетова, магистрант 1 курса по образовательной программе 7М04101 – Экономика, Караганда, Казахстан

Аннотация

В статье проводится системный анализ экономики креативных индустрий в условиях стремительного распространения генеративных технологий искусственного интеллекта.

Актуальность исследования определяется фундаментальным пересмотром механизмов создания стоимости в секторах, традиционно основанных на человеческом творчестве. Автор рассматривает пять ключевых аспектов: структурную трансформацию рынков творческого контента; изменение экономических моделей монетизации; перестройку цепочек добавленной стоимости; трансформацию рынка труда креативных специалистов; а также институциональные вызовы в сфере интеллектуальной собственности.

В работе обосновывается концепция «дуальной природы» генеративного ИИ: одновременно как деструктивного фактора для ряда профессий и как катализатора производительности, открывающего принципиально новые рыночные ниши. Методологическую основу составляют сравнительный анализ отраслевых показателей, количественная оценка влияния ИИ-технологий на издержки производства контента и прогнозное моделирование структурных изменений рынка труда.

Результаты исследования указывают на необходимость формирования адаптивной регуляторной среды и новых экономических механизмов распределения выгод от ИИ-генерации между технологическими платформами и создателями оригинального контента.

Ключевые слова: креативные индустрии, генеративный искусственный интеллект, цифровая экономика, создание стоимости, интеллектуальная собственность, трансформация рынка труда, монетизация контента, экономика платформ, ИИ Act, Data Licensing.

Введение

Двадцать первый век ознаменовался двумя параллельными процессами, последствия пересечения которых экономическая наука лишь начинает осмысливать в полной мере. С одной стороны, произошло оформление креативных индустрий в самостоятельный высокодоходный сектор глобальной экономики - по оценкам UNCTAD, ещё в 2022 году совокупный объём мирового рынка креативной экономики превысил 3 триллиона долларов США, обеспечивая занятость свыше 50 миллионов человек.

С другой стороны, в период с 2022 по 2025 год генеративный искусственный интеллект (ГИИ) претерпел качественный скачок, перейдя из категории исследовательского инструмента в разряд коммерчески доступных систем массового применения.

Появление таких платформ, как GPT-4 и Claude (текстовый контент), Midjourney и DALL·E (визуальный контент), Suno и ElevenLabs (аудиопроизводство), Runway и OpenAI Sora (видеогенерация), поставило перед экономической наукой принципиально новые вопросы. Если традиционные технологии автоматизации вытесняли рутинный физический или операционный труд, то генеративный ИИ впервые за историю технологического развития

претендует на замещение когнитивно-творческой деятельности человека - основы экономики знаний.

Актуальность данного исследования обусловлена тем, что традиционные аналитические рамки экономики труда, теории инноваций и права интеллектуальной собственности оказались методологически неготовы к описанию и регулированию феномена ГИИ.

Возникают фундаментальные вопросы: кто является субъектом авторского права на ИИ-сгенерированное произведение? Как формируется рыночная стоимость контента в условиях, когда предельные издержки его производства стремятся к нулю? Каким образом перераспределяются экономические выгоды между правообладателями обучающих данных, разработчиками ИИ-платформ и конечными пользователями?

Объектом исследования является экономическая система креативных индустрий, претерпевающая структурную трансформацию под воздействием генеративных ИИ-технологий. Предметом исследования выступают механизмы создания, распределения и монетизации стоимости в креативной экономике в условиях ГИИ.

Целью работы является разработка аналитической модели, описывающей экономические закономерности функционирования и трансформации креативных индустрий в эпоху генеративного ИИ.

Для достижения поставленной цели решаются следующие задачи: систематизировать структуру и динамику роста глобального рынка креативных индустрий; выявить и классифицировать механизмы влияния ГИИ на цепочки создания стоимости; проанализировать трансформацию экономических моделей монетизации; оценить масштабы трансформации рынка труда; охарактеризовать институциональные вызовы и предложить направления их преодоления.

Методология исследования

Теоретико-методологическую основу настоящей статьи образует совокупность взаимодополняющих подходов. В качестве концептуальной базы использована теория экономики платформ (Platform Economics), согласно которой генеративный ИИ представляет собой многостороннюю платформу, обеспечивающую взаимодействие между производителями обучающих данных, разработчиками алгоритмов и конечными потребителями творческого продукта [1].

Данный подход органично дополняется концепцией разрушительных инноваций (Disruptive Innovation) К. Кристенсена, рассматривающей ГИИ как технологию, которая первоначально осваивает нижние ценовые сегменты рынка, а затем постепенно вытесняет традиционных производителей из верхних сегментов.

Для количественной оценки влияния ГИИ на издержки производства контента применяется метод анализа сравнительных производственных функций с ИИ-дополнением. Структура рынка и тенденции отраслевого развития исследуются на основе компаративного анализа данных McKinsey Global Institute, Goldman Sachs, UNCTAD Creative Economy Report, а также отраслевых отчётов Adobe, Spotify и крупнейших рекламных холдингов.

Прогнозные оценки трансформации рынка труда построены на синтезе задокументированных данных об автоматизации задач (O*NET), опросных исследований McKinsey (2024) и Всемирного экономического форума (2025). Нормативно-правовой анализ основывается на первичных источниках: текстах EU AI Act (2024), решениях US Copyright Office (2023–2024), решении Международного суда ООН (2025) применительно к авторско-правовым прецедентам в сфере ИИ.

Структура и динамика глобального рынка креативных индустрий

Понятие «креативные индустрии» прошло длительную концептуальную эволюцию - от узкого определения ЮНЕСКО 1960-х годов, относившего к ним преимущественно изящные

искусства и кино, до современных расширенных трактовок, включающих программное обеспечение, видеоигры, архитектуру, рекламу и гастрономию.

Для целей данного исследования применяется классификация UNCTAD, разграничивающая четыре базовых кластера: наследие (Heritage), искусства (Arts), медиа (Media) и функциональные творческие отрасли (Functional Creations).

Структурный анализ рынка обнаруживает разительную неоднородность темпов роста между секторами. Наиболее динамичным является сегмент цифрового программного обеспечения и видеоигр, чей среднегодовой темп роста (CAGR) в 2018–2024 годах составил 12,3%.

Традиционные секторы - печатные СМИ, классическая музыкальная индустрия - демонстрируют стагнацию или отрицательную динамику, тогда как стриминговые платформы перетягивают на себя потребительские расходы.

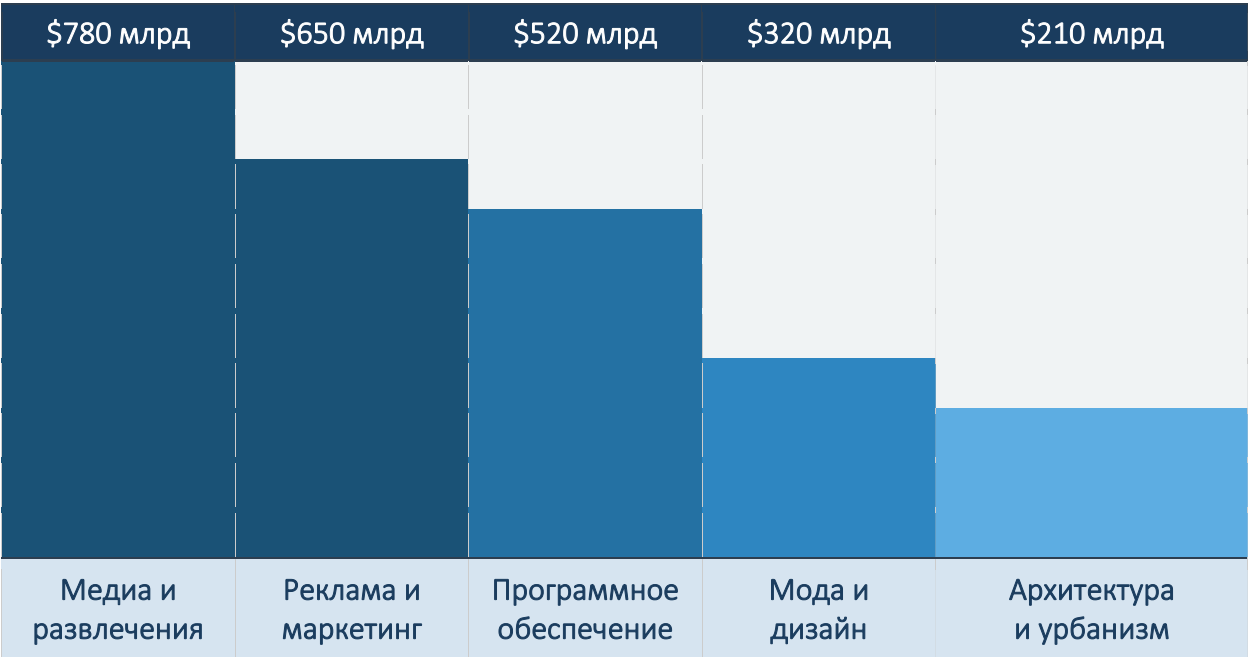


Рисунок 1 - Сравнительный объем субсекторов креативных индустрий (2024, млрд долл. США)

Примечание: составлено автором на основе данных UNCTAD Creative Economy Outlook 2024, McKinsey Global Institute 2024.

Данные, представленные на рисунке 1, фиксируют лидирующие позиции медиа и развлекательного сектора (\$780 млрд), а также рекламы (\$650 млрд).

Принципиально важно, что именно эти два сектора демонстрируют наивысший уровень ИИ-пенетрации (78% и 82% соответственно), что обусловлено высокой частотой производства контента, его стандартизированной структурой и измеримостью целевых показателей.

Иерархия влияния генеративного ии на экосистему креативных индустрий:
Стремительное распространение инструментов генеративного ИИ создаёт многоуровневую экосистему взаимозависимых трансформационных процессов.
Для систематизации этих процессов предлагается авторская иерархическая модель, структурирующая влияние ГИИ по пяти ключевым доменам.

ГЕНЕРАТИВНЫЙ ИИ В ЭКОСИСТЕМЕ КРЕАТИВНЫХ ИНДУСТРИЙ
1. СОЗДАНИЕ КОНТЕНТА (Content Generation)
1.1 Текстовый контент: статьи, сценарии, книги (GPT-4, Claude)
1.2 Визуальный контент: иллюстрации, концепт-арт (DALL-E, Midjourney)
1.3 Аудио и музыка: синтез голоса, создание треков (Suno, ElevenLabs)
1.4 Видео контент: генерация клипов и спецэффектов (Runway, Sora)
2. ПЕРСОНАЛИЗАЦИЯ И ДИСТРИБУЦИЯ
2.1 Алгоритмические рекомендации (Netflix, Spotify)
2.2 Динамическая адаптация контента под аудиторию
2.3 Интерактивные нарративы и генеративные игровые миры
3. ЭКОНОМИЧЕСКИЕ МОДЕЛИ МОНЕТИЗАЦИИ
3.1 B2B SaaS-лицензирование инструментов ИИ
3.2 Freemium → Subscription (подписочная модель)
3.3 Токенизация прав на ИИ-генерированные произведения (NFT 2.0)
3.4 Роялти-модели для данных обучения (Data Licensing)
4. ИНСТИТУЦИОНАЛЬНАЯ СРЕДА И РЕГУЛИРОВАНИЕ
4.1 Авторское право на ИИ-произведения: субъект права
4.2 ИИ Act (EC), Copyright Office USA — регуляторные рамки
4.3 Этические стандарты и маркировка ИИ-контента
5. ТРАНСФОРМАЦИЯ РЫНКА ТРУДА
5.1 Аугментация: ИИ как инструмент повышения продуктивности
5.2 Вытеснение: рутинные творческие задачи (иллюстрации по ТЗ)
5.3 Новые профессии: промпт-инженер, куратор ИИ-контента

Рисунок 2 - Иерархическая модель влияния генеративного ИИ на экосистему креативных индустрий

Примечание: разработано автором.

Предложенная иерархия отражает логику экономической каузальности: верхний домен (создание контента) определяет технологические возможности системы, которые затем каскадно трансформируют механизмы дистрибуции и персонализации, экономические модели монетизации, институциональную среду и, наконец, структуру занятости.

Принципиальной особенностью данной модели является её не линейный, а рекурсивный характер: изменения в домене «трансформация рынка труда» создают

обратную связь, воздействующую на интенсивность инвестиций в технологии домена «создание контента».

Трансформация экономических моделей монетизации:

Экономика творческого контента традиционно строилась на дефиците как ключевом механизме ценообразования: произведение имело ценность, поскольку его создание требовало значительных временных, профессиональных и финансовых ресурсов.

Генеративный ИИ разрушает этот фундаментальный принцип, приближая предельные издержки создания дополнительной единицы контента к нулю. По данным McKinsey (2024), средние затраты на разработку типового рекламного визуала снизились с 2 500 долларов до 40–120 долларов при сопоставимом качестве исполнения.

Данная тенденция порождает классическую «ловушку нулевых предельных издержек» (Zero Marginal Cost Trap), описанную Дж. Рифкиным применительно к информационной экономике.

Когда предельные издержки производства стремятся к нулю, конкурентный рынок устанавливает цены вблизи нуля, что разрушает традиционные модели монетизации. Реакция индустрии на этот вызов породила три принципиально новые стратегии создания стоимости.

Стратегия «Платформа как инфраструктура» предполагает смещение монетизации от единичного произведения к подписке на производственный инструментарий (Adobe Firefly, Canva AI, Midjourney Pro). Здесь ценность создаётся не контентом, а доступом к производительной мощности.

Стратегия «Аутентичность как дефицит» строится на сознательном акцентировании человеческого авторства как премиальной характеристики, недостижимой для ИИ, - аналогия с «ручной работой» в эпоху промышленного производства.

Наконец, стратегия «Data Licensing» предполагает монетизацию прав на обучающие данные: правообладатели передают ИИ-компаниям доступ к архивам произведений на лицензионной основе с роялти, что формирует принципиально новый рынок - рынок «данных для обучения».

Сравнительный анализ воздействия гии на субсекторы: таблица ключевых показателей:

Для объективной оценки масштабов трансформации рассмотрим сводные данные по пяти ключевым субсекторам креативных индустрий. Следует подчеркнуть, что представленные количественные показатели отражают не прогнозные сценарии, а верифицируемые данные за 2023–2024 годы, аккумулированные из первичных отраслевых источников.

Таблица 1 - Сравнительные показатели ИИ-трансформации субсекторов креативных индустрий (2023–2024 гг.)

Параметр	Медиа	Реклама	Игры	Мода	Архитектура
Уровень ИИ-пенетрации	78%	82%	91%	44%	37%
Экономия затрат на контент	40–55%	30–50%	25–60%	15–25%	10–20%
Рост производительности	×2,4	×3,1	×4,7	×1,6	×1,3
Доля ИИ-генерируемого вывода, 2024	29%	41%	63%	11%	7%
Угроза вытеснения кадров (% специальностей)	Средняя (38%)	Высокая (52%)	Высокая (47%)	Низкая (21%)	Низкая (18%)
Инвестиции в ИИ-стартапы (2023, млрд \$)	12,3	8,7	19,4	3,2	2,1
Примечание: составлено автором на основе McKinsey AI Report 2024, Goldman Sachs (2024), Gartner (2024), Adobe State of Creative Economies 2024.					

Данные таблицы 1 позволяют выявить принципиальный разрыв в уровне ИИ-пенетрации между «цифровыми» (медиа, реклама, игры) и «материально-ориентированными» (мода, архитектура) субсекторами.

Наиболее высокий показатель роста производительности зафиксирован в игровой индустрии (×4,7), где генеративный ИИ применяется на всех стадиях производства - от процедурной генерации игровых миров до озвучивания персонажей и тестирования баланса игровых механик. Тем не менее, именно этот сектор характеризуется наиболее масштабными инвестициями в ИИ-стартапы (\$19,4 млрд), что свидетельствует об ожиданиях дальнейшего технологического расширения рыночных возможностей.

Рынок труда и институциональные вызовы: регуляторная повестка

Воздействие генеративного ИИ на рынок труда в креативных индустриях принято анализировать через бинарную призму «замещения vs дополнения», однако данный подход представляется методологически упрощённым. Реальная картина значительно сложнее и предполагает одновременное протекание трёх разновекторных процессов.

Процесс аугментации охватывает профессии, в которых ГИИ выполняет функцию «интеллектуального усилителя»: дизайнер-концептуалист, использующий ИИ для ускоренной визуализации идей, сохраняет функцию куратора и эстетического арбитра,кратно увеличивая личную производительность.

Исследование Adobe (2024) фиксирует, что пользователи Firefly продуктивности обрабатывают в 2,4 раза больше заказов при сопоставимом уровне дохода. Процесс вытеснения затрагивает специалистов, выполнявших стандартизированные творческие задачи с чёткими параметрами техического задания: иллюстраторы коммерческой упаковки, верстальщики рекламных макетов, авторы типовых маркетинговых текстов.

По оценке Goldman Sachs, в ближайшие 5 лет около 26% задач данной категории будут полностью автоматизированы.

Параллельно формируется спрос на принципиально новые профессии, не имеющие аналогов в доцифровую эпоху: промпт-инженер (специалист по формулированию запросов к ИИ-системам), ИИ-контент-куратор (эксперт по верификации и редакционной доработке ГИИ-вывода), архитектор мультимодальных нарративов (специалист по проектированию интерактивных ИИ-управляемых историй).

Исследование World Economic Forum (2025) оценивает совокупный прирост новых рабочих мест в ИИ-смежных специальностях на уровне 12–18 миллионов глобально к 2030 году, что частично компенсирует потери в традиционных нишах.

Институциональная повестка сосредоточена вокруг трёх ключевых правовых лакун. Первая и наиболее острая - вопрос субъекта авторского права на ИИ-сгенерированные произведения.

Действующее законодательство большинства юрисдикций требует наличия человека-автора, что де-факто лишает правовой защиты значительный массив создаваемого контента. US Copyright Office в 2023–2024 годах отклонил ряд заявок на регистрацию ИИ-произведений, признав отсутствие «человеческого авторства» основанием для отказа.

Вторая лакуна - отсутствие механизмов компенсации авторам оригинальных произведений, использованных для обучения ИИ-моделей без их согласия.

Третья - регуляторная неопределённость в отношении обязательной маркировки ИИ-контента, создающая почву для систематического введения потребителей в заблуждение.

EU AI Act (2024) является первым системным регуляторным ответом на перечисленные вызовы. Он вводит классификацию ИИ-систем по уровню риска, обязательную маркировку дипфейков и синтетического аудио, а также требования прозрачности к разработчикам генеративных моделей относительно используемых обучающих данных.

Тем не менее механизмы распределения роялти между платформами и правообладателями в акте не прописаны, что оставляет центральный экономический вопрос неразрешённым на уровне международного права.

Заключение

Проведённое исследование позволяет сформулировать ряд концептуальных выводов, имеющих как теоретическое, так и прикладное значение.

Во-первых, генеративный ИИ выступает принципиально иным типом технологической инновации по сравнению с предшествующими волнами автоматизации: впервые в экономической истории технология претендует на воспроизведение когнитивно-творческой деятельности, что требует обновления теоретических рамок анализа рынков труда и стоимости знаний.

Во-вторых, воздействие ГИИ на креативные индустрии носит асимметричный характер: высока степень проникновения в «цифровые» субсекторы (медиа, реклама, игры) и значительно скромнее - в «материально-ориентированные» (архитектура, мода), что определяет дифференцированный подход к регуляторным мерам.

В-третьих, стратегически значимым экономическим феноменом является разрыв между нулевыми предельными издержками производства ИИ-контента и сохраняющейся готовностью потребителей платить за контент «с гарантией человеческого авторства», что порождает устойчивую рыночную нишу для аутентичного творчества.

В-четвёртых, правовая неопределённость в вопросах авторства и компенсации за использование обучающих данных представляет собой ключевой институциональный тормоз для формирования сбалансированного рынка ИИ-контента. EU AI Act создаёт первый регуляторный каркас, однако не закрывает центрального экономического вопроса о распределении выгод.

Перспективными направлениями дальнейших исследований представляются: разработка механизмов «ИИ-роялти» для авторов обучающих данных; эмпирический анализ влияния обязательной маркировки ИИ-контента на потребительские предпочтения; исследование долгосрочной динамики заработных плат в ИИ-аугментированных творческих профессиях; изучение специфики адаптации развивающихся стран, включая Казахстан, к структурным сдвигам глобальной креативной экономики.

Список литературы:

1. Акерлоф Дж., Йеллен Дж. Меню затрат и трудовые контракты. - Cambridge University Press, 2020. - С. 134-156.
2. Adobe Inc. State of Creative Economies 2024. - San Jose: Adobe Systems, 2024. - 78 с.
3. Azoulay P., Graff-Zivin J. Toward a theory of artificial creativity. *Journal of Economic Perspectives*. 2024. Vol. 38, No. 2. P. 45–70.
4. Baumol W.J. The cost disease: Why computers get cheaper and health care doesn't. - New Haven: Yale University Press, 2012. - 312 с.
5. Brynjolfsson E., McAfee A. The Second Machine Age: Work, Progress, and Prosperity in a Time of Brilliant Technologies. - New York: W.W. Norton, 2014. - 336 с.
6. Caves R.E. Creative Industries: Contracts between Art and Commerce. - Cambridge: Harvard University Press, 2000. - 454 с.
7. Christensen C.M. The Innovator's Dilemma: When New Technologies Cause Great Firms to Fail. — Boston: Harvard Business Review Press, 1997. — 288 с.
8. European Commission. Regulation (EU) 2024/1689 of the European Parliament and of the Council Laying Down Harmonised Rules on Artificial Intelligence (AI Act). *Official Journal of the European Union*. 2024. L 2024/1689.
9. Gartner Inc. Hype Cycle for Generative AI, 2024. - Stamford: Gartner Research, 2024. - 56 с.
10. Goldman Sachs. Generative AI: Too Much Spend, Too Little Benefit? - New York: GS Global Investment Research, 2024. - 31 с.
11. Ibragimova R., Seitkali A. Digital transformation of creative economy sectors in Central Asia. *Central Asian Journal of Economics*. 2023. Vol. 6, No. 4. P. 88–107.
12. McKinsey Global Institute. A new future of work: The race to deploy AI and raise skills in Europe and beyond. - McKinsey & Company, 2024. - 104 с.
13. Rifkin J. The Zero Marginal Cost Society: The Internet of Things, the Collaborative Commons, and the Eclipse of Capitalism. - New York: Palgrave Macmillan, 2014. - 368 с.
14. Rochet J.-C., Tirole J. Platform competition in two-sided markets. *Journal of the European Economic Association*. 2003. Vol. 1, No. 4. P. 990-1029.
15. Тушиева М.М. Интеллектуальный капитал как фактор конкурентоспособности в цифровой экономике. *Вестник КарГУ. Серия Экономика*. 2024. № 2. С. 47–59.
16. UNCTAD. Creative Economy Outlook 2024: Trends, Opportunities and Trade Flows. - Geneva: United Nations, 2024. - 152 с.
17. United States Copyright Office. Copyright and Artificial Intelligence. Part 1: Digital Replicas. - Washington D.C.: USCO, 2023. - 44 с.
18. World Economic Forum. Future of Jobs Report 2025. - Geneva: WEF, 2025. - 298 с.
19. Xu Y., Zhang L. Generative AI and the creative labour market: Evidence from digital platforms. *The Economic Journal*. 2024. Vol. 134, No. 658. P. 1123–1154.
20. Zuboff S. The Age of Surveillance Capitalism: The Fight for a Human Future at the New Frontier of Power. - New York: PublicAffairs, 2019. - 704 с.

Разработка стратегии управления финансовыми рисками компании в условиях экономической волатильности

Джарикбаева Динара Тураровна

PhD, ассоциированный профессор, Университет «Туран»

Оспан Ұлбосын Мұратқызы

магистрант, Университет «Туран»

Abstract. The article substantiates a risk-oriented strategy for managing financial risks of a company operating under economic volatility. The research problem is considered through the relationship between financial stability, liquidity, capital structure and the financial consequences of operational events in a digitally dependent organization. The task of the article is to identify the main financial risk zones of JSC Center for Digital Development of the National Bank of Kazakhstan and to formulate strategic management measures based on the company's financial reporting. The study applies horizontal analysis, ratio analysis, risk-based interpretation of financial indicators and a qualitative assessment of risk signals. The results show that the company maintains an acceptable level of financial stability; however, the growth of liabilities exceeds the growth of assets and capital, while the liquidity reserve decreases. These tendencies do not indicate a crisis but require a preventive management framework. The proposed strategy links each key indicator with a risk signal, an internal control trigger and a practical management response. The findings can be used to improve monitoring, stress testing and decision-making in financial risk management.

Keywords: financial risks, risk management strategy, liquidity, capital structure, economic volatility.

JEL codes: G32, G39, M21.

1 Введение

Экономическая волатильность усиливает значение финансового риск-менеджмента, поскольку даже при формально устойчивом финансовом положении компания может столкнуться со снижением запаса ликвидности, ростом обязательств, задержкой поступлений и увеличением неплановых расходов. Для организации, деятельность которой связана с цифровой инфраструктурой, финансовые риски также зависят от операционной непрерывности: технологические сбои, задержки проектов и восстановительные мероприятия способны прямо влиять на денежные потоки и финансовый результат.

Задача статьи — разработать стратегический контур управления финансовыми рисками АО «Центр цифрового развития НБК» на основе риск-ориентированной интерпретации показателей финансовой отчетности.

Выбранный фокус позволяет не ограничиваться описанием коэффициентов, а показать, каким образом финансовые показатели должны переходить в управленческие решения. Поэтому статья сохраняет логику IMRAD: от постановки проблемы и обзора подходов к методике анализа, результатам и практическому стратегическому контуру управления рисками.

2 Литературный обзор

В научной литературе финансовые риски рассматриваются как вероятность ухудшения финансового состояния организации под влиянием рыночных, кредитных, ликвидных, операционных и управленческих факторов. В условиях нестабильной экономики

особенно важно не только фиксировать уже наступившие отклонения, но и формировать систему раннего реагирования, основанную на показателях устойчивости, ликвидности и структуры капитала [2].

Анализ финансовой устойчивости традиционно опирается на коэффициенты ликвидности, автономии, финансовой зависимости, а также на оценку обязательств и денежных потоков. Однако сами по себе нормативные значения не обеспечивают стратегического управления рисками. Для этого финансовые показатели должны быть связаны с внутренними порогами, сценарным анализом и процедурами реагирования. В этом контексте стресс-тестирование выступает не только аналитическим инструментом, но и способом предварительной оценки устойчивости компании к неблагоприятным сценариям [3].

Для цифровых организаций финансовые риски тесно связаны с операционной устойчивостью. Зависимость от информационных систем означает, что технологические сбои могут трансформироваться в финансовые потери через рост расходов, нарушение сроков оказания услуг, снижение качества исполнения обязательств и дополнительные затраты на восстановление. Поэтому современная стратегия управления финансовыми рисками должна учитывать не только бухгалтерские показатели, но и возможные финансовые последствия операционных событий [4].

3 Методология

Исследование основано на данных финансовой отчетности АО «Центр цифрового развития НБК» за 2024 год и сравнительных показателях за 2023 год [1]. Используются горизонтальный анализ, расчет относительных показателей, качественная оценка зон риска и построение стратегической матрицы управления рисками. Основными расчетными индикаторами выступают коэффициент текущей ликвидности, коэффициент автономии и коэффициент финансовой зависимости.

Коэффициент текущей ликвидности определялся как отношение краткосрочных активов к краткосрочным обязательствам. Коэффициент автономии рассчитывался как отношение капитала к активам, а коэффициент финансовой зависимости — как отношение обязательств к активам. Такая методика позволяет оценить не только текущее состояние компании, но и направление изменения риск-профиля.

Ограничением исследования является использование открытой финансовой отчетности без доступа к внутренним бюджетам, платежному календарю, детализации просроченной задолженности и внутренним лимитам. Поэтому предлагаемый стратегический контур имеет прикладной, но рамочный характер: он задает логику управления рисками и может быть уточнен после включения внутренних управленческих данных.

4 Результаты и обсуждение

Анализ финансовой отчетности показывает, что в 2024 году компания сохранила приемлемую финансовую устойчивость. Активы увеличились с 2 374 671 тыс. тенге до 3 119 919 тыс. тенге, капитал — с 1 726 827 тыс. тенге до 2 031 062 тыс. тенге. Вместе с тем обязательства выросли с 647 844 тыс. тенге до 1 088 857 тыс. тенге, то есть быстрее, чем активы и капитал. Именно это соотношение является главным управленческим сигналом для стратегии финансового риск-менеджмента.

Таблица 1 – Финансовые показатели и риск-сигналы

Показатель	2023 год	2024 год	Изменение	Риск-сигнал
Активы, тыс. тенге	2 374 671	3 119 919	+31,4%	база расширена
Краткосрочные активы, тыс. тенге	2 122 743	2 700 876	+27,2%	ресурс сохранен
Обязательства, тыс. тенге	647 844	1 088 857	+68,1%	нагрузка растет
Краткосрочные обязательства, тыс. тенге	647 844	1 085 744	+67,6%	давление на ликвидность
Капитал, тыс. тенге	1 726 827	2 031 062	+17,6%	устойчивость сохранена
Коэффициент текущей ликвидности	3,28	2,49	-0,79	запас снижен
Коэффициент автономии	0,73	0,65	-0,08	автономия снижается
Коэффициент финансовой зависимости	0,27	0,35	+0,08	зависимость растет

Примечание – рассчитано на основе финансовой отчетности компании за 2024 год [1].

Полученные результаты не свидетельствуют о критическом финансовом положении: ликвидность и автономия остаются выше минимально приемлемых ориентиров. Однако для стратегии управления рисками важен не только уровень показателей, но и их динамика. Снижение текущей ликвидности при одновременном росте краткосрочных обязательств означает, что компания должна заранее определить внутренние пороги контроля и порядок реагирования на дальнейшее ухудшение показателей.

Наиболее значимыми зонами риска являются ликвидность, обязательства, дебиторская задолженность, структура капитала и финансовые последствия операционных событий. В совокупности они формируют не набор разрозненных рисков, а единый стратегический контур: показатель фиксирует изменение, риск объясняет его возможные последствия, а управленческое действие снижает вероятность негативного сценария.

Таблица 2 – Стратегический контур управления финансовыми рисками

Зона риска	Индикатор	Сигнал	Мера	Эффект
Ликвидность	текущая ликвидность; платежный календарь	снижение запаса покрытия обязательств	резерв ликвидности; приоритет платежей; контроль крупных расходов	снижение риска кассовых разрывов
Обязательства	темп роста краткосрочных обязательств	рост обязательств быстрее активов и капитала	лимиты на новые обязательства; контроль сроков погашения	сдерживание долговой нагрузки
Дебиторская задолженность	сроки и качество поступлений	задержка денежных поступлений	договорные сроки; претензионная работа; контроль связанных сторон	ускорение оборота денежных средств
Структура капитала	автономия и финансовая зависимость	снижение финансовой независимости	оценка источников финансирования; ограничение неприоритетных расходов	сохранение устойчивости капитала
Операционные события	финансовый эффект сбоев и простоев	возникновение внеплановых затрат	регистрация событий; расчет ущерба; корректирующие мероприятия	снижение косвенных финансовых потерь

Примечание – разработано на основе результатов анализа.

Предлагаемая стратегия должна включать три уровня реагирования. Первый уровень — регулярный мониторинг: ежемесячное отслеживание ликвидности, обязательств, дебиторской задолженности и крупных неплановых расходов. Второй уровень — предупредительный: причинный анализ при ухудшении показателей или росте просрочки. Третий уровень — корректирующий: пересмотр платежного календаря, ограничение неприоритетных расходов, усиление контроля договорных сроков и оценка финансового эффекта операционных событий.

Отдельным инструментом стратегии является стресс-тестирование. Для компании целесообразно применять как минимум три сценария: снижение поступлений, рост краткосрочных обязательств и возникновение внеплановых расходов вследствие операционных событий. По каждому сценарию необходимо оценивать влияние на коэффициент текущей ликвидности, потребность в денежных средствах и способность компании своевременно исполнять обязательства. Такой подход переводит риск-менеджмент из режима последующего описания в режим предварительной управленческой оценки.

Таким образом, стратегия управления финансовыми рисками в условиях экономической волатильности должна строиться не как общий перечень рекомендаций, а как система связи между финансовым показателем, риск-сигналом и управленческим действием. Именно эта связь обеспечивает научную строгость анализа и практическую применимость результатов.

5 Заключение

В статье разработан стратегический контур управления финансовыми рисками АО «Центр цифрового развития НБК» в условиях экономической волатильности. Результаты показывают, что компания сохраняет устойчивую финансовую базу, однако рост обязательств, снижение запаса текущей ликвидности и увеличение финансовой зависимости требуют превентивного управления.

Научная значимость статьи состоит в уточнении логики перехода от финансового анализа к стратегии риск-менеджмента: коэффициенты рассматриваются не как самостоятельный результат, а как управленческие индикаторы. Практическая значимость заключается в возможности использовать предложенную матрицу для регулярного мониторинга, стресс-тестирования и принятия решений по ликвидности, обязательствам, дебиторской задолженности и операционным событиям.

Дальнейшая доработка стратегии возможна за счет включения внутренних управленческих данных: платежного календаря, детализации дебиторской задолженности, лимитов обязательств, перечня операционных инцидентов и оценки их финансовых последствий. Это позволит перейти от рамочного стратегического контура к полноценной системе раннего предупреждения финансовых рисков.

6 Список источников

1. Финансовая отчетность АО «Центр цифрового развития Национального Банка Казахстана» за год, закончившийся 31 декабря 2024 года, и отчет независимого аудитора. Алматы, 2025.
2. Филипович А. А. Концептуальные основы формирования устойчивой финансовой системы в условиях глобальной экономической нестабильности: теоретические подходы и практические решения // Вестник евразийской науки. 2025. Т. 17. № 3S. С. 49.
3. Разыграев А. А. Стресс-тестирование банковской системы как инструмент оценки финансовой стабильности // Вестник евразийской науки. 2025. Т. 17. № 3S. С. 41.
4. Криштаносов В. Б., Бровко Н. А. Концептуально-аналитические подходы к возникновению потенциальных угроз в цифровой экономике // AlterEconomics. 2023. Т. 20. № 1. С. 216–245.
5. Слесарев Д. К. Источники банковских кризисов, способы их раннего обнаружения и преодоления // Вестник евразийской науки. 2025. Т. 17. № 1S. С. 89.
6. Зайков Н. О. Специфика проявления ценовых аномалий на фондовых рынках БРИКС // Экономические исследования. 2026. С. 46.

Pedagogical Sciences

DEVELOPMENT OF LOGICAL THINKING IN PRESCHOOL CHILDREN THROUGH DIGITAL APPLICATIONS BIBLIOMETRIC ANALYSIS

Beksultanova U.M.

Master's student, Pedagogy of preschool education and training, Kazakh National Women's Teacher Training University, Almaty, Kazakhstan

Tleubay S.T.

PhD, Kazakh National Women's Teacher Training University, Almaty, Kazakhstan

Abstract

This study aims to conduct a comprehensive bibliometric analysis of global research on the use of digital applications in early childhood education, with a particular focus on the development of preschool children's logical thinking skills. The study is based on data extracted from the Scopus database, covering the period from 2015 to 2025. A total of 523 records were initially identified, and after applying inclusion and exclusion criteria in accordance with the PRISMA framework, 13 publications were selected for final analysis. The results reveal a growing trend in scientific interest in integrating digital technologies into preschool education. The analysis identifies key thematic areas, including gamification, robotics, augmented reality, and ICT-based learning environments, which contribute to the development of essential cognitive skills such as problem-solving, sequencing, and cause-and-effect reasoning. At the same time, the findings emphasize the importance of pedagogical mediation, content quality, and guided interaction in ensuring the effectiveness of digital tools. The study also demonstrates that research in this field is globally distributed and highly interdisciplinary, combining elements of education, psychology, and technology. However, several gaps remain, including a lack of longitudinal studies and limited focus on logical thinking as a distinct construct. The findings contribute to a better understanding of the intellectual structure and development trends of the field and provide a foundation for future research aimed at improving the integration of digital applications in early childhood education.

Introduction

Research relevance. Logical thinking is the ability to systematically draw conclusions, compare and reason about cause and effect, consistency and classification. In early childhood, this ability is at the heart of the basic skills of counting, scientific research and later computational thinking (Zaranis and Alexandraki, 2021) logical thinking, as well as the exact sciences music (Pezzuti et al.2021)., 2014), medicine (Sufan et al., 2023), refers to the most important ability that allows you to engage in Language Sciences (Zhang, 2025). According to the theory of cognitive development (Nursanti et al., 2025) children aged 5-6 in the actual operational period, where reasoning is closely related to perceptual and manipulative experiences. Oral instruction can be obtained in the form of an abstract for children of the specified age. This is not enough to develop the logistic thinking of children, instead it is necessary to interact in which the logical structures are clear. Digital applications create powerful conditions for the development of logical thinking and the overall development of the child. Touchscreen-based games require careful design and

can simulate the solution of specific problems in the workflow. However, despite the use of digital applications in preschool institutions, empirical data remains fragmented.

Problem statement.

- there is a small number of high-quality indexed studies of digital applications and logical thinking, and among domestic scientists there are almost no works that raised the problem of developing logical thinking in children in preschool institutions.
- the vast majority of research studies critical thinking or creative thinking, classifying it as logistical thinking. And the main components of logical thinking, such as sequence, cause and effect, classification, pattern recognition, are not mentioned in many places;
- in scientific papers written on the topic, diagnostic methods based on observation or short-term exposure were used.

The aim of this study is to conduct a comprehensive bibliometric analysis of global research on the use of digital technologies in preschool education for the development of children's logical abilities in order to identify the main research trends, thematic structures, leading authors and existing research gaps from 2015 to 2025.

Research question: What are the main trends, thematic areas, and knowledge gaps in global research on the use of digital applications to support the development of preschool children's logical abilities?

Significance of the study. Importance of research. Theoretically, it contributes to the interdisciplinary field that appears at the intersection of digital applications, the education of preschool children and the development of logical abilities. By systematizing existing scientific knowledge through bibliometric methods, the study provides a structural understanding of how research in this area has developed, identifies priority topics, and reveals unexplored areas that require additional scientific attention. Methodically, the study shows the value of bibliometric analysis as a tool for mapping scientific landscapes, gives an idea of the dynamics of publications, networks of cooperation and conceptual structures in this area. From a practical point of view, the results can provide teachers, curriculum developers and directive bodies with information on current trends in the integration of digital applications into preschool education, especially in the development of logical abilities. The results can support the development of evidence-based pedagogical strategies and guide the effective and ethical implementation of digital tools in the context of Early Learning.

Literature Review

The logical thinking of children of preschool age consists of interconnected internal layers. They are:

- sequence-compliance with work execution algorithms;
- cause and effect-understand how one action leads to another;
- classification (grouping) - consolidation by common attributes;
- recognition of legality-defining rules and expanding chains (Pezzuti et al., 2014).

These skills do not arise from birth, they can be formed and developed on the basis of the process of training and education. Another innovative tool for the development of logical thinking of a preschooler is game methods, since individual mental processes are improved in it. The game raises the personality of the child, his logical development to a new stage. Through the game, the child recognizes his "I", learns to subordinate his actions to the desired goal, determine them according to the goal and act. In the game situation, children pay better attention and remember more. The game can be not only part of the lesson, but also the activity itself. The desire to win, to show the best result, pushes the child to overcome difficulties in learning new material, such as geometric shapes. In the course of the experimental work, digital games Thinkrolls Play & Code, Toca Lab and Matatalab were used. Thinkrolls Play & Code game (Booton et al., 2023) uses puzzle mechanics to teach if-then logic. This educational app is represented by more than 2000

interactive games and activities. Through the game, the child develops thinking, shows creativity, develops a natural interest in mathematics and science (Sheehan et al., 2019). Toca Lab (Schock, 2018) an educational and entertaining game for children developed by Toca Boca. The program safely introduces players to the basics of chemistry in a playful way. In the Toca Lab application, the child enters a virtual laboratory, where he can experiment with the elements of the periodic table. Each element is presented as a funny character with its own character and reaction. The user can heat, cool, rotate elements, they can be placed in different devices and monitor their change, interaction with each other. The game does not contain text and tasks, so it is suitable for children of different ages and does not require knowledge of the language. Toca Lab develops interest in science, logical thinking and curiosity, encourages free research and experimentation. Matatalab is an innovative educational set for children for teaching the basics of programming and algorithmic thinking in a playful way (Zhang et al., 2024). It is intended for preschool children and primary school students (4-9 years old). Learning is organized in a playful way, which increases the motivation of children and motivates them to explore independently. Matatalab corresponds to the STEAM educational concept and promotes the comprehensive development of mathematical, engineering, technological and creative abilities (Angeli & Valanides, 2019).

Research Methodology

This study uses bibliometric research design to systematically analyze world scientific publications on the use of digital applications in teaching preschool children, with special attention to the development of logical abilities in children. Bibliometric analysis is widely recognized as a reliable quantitative method for mapping research trends, identifying influential publications, and revealing the intellectual structure of the scientific field. The data for this study was taken from the Scopus database, one of the largest and most authoritative abstract and citation databases of peer-reviewed literature. Scopus was chosen due to the breadth of multidisciplinary coverage, high indexing standards, and suitability for bibliometric analysis. The search query was applied to topics, theses and keywords (subject-ABS-key) using a combination of keywords related to digital applications and preschool education. The last search string is formulated as follows:

((pre-school OR "pre-school education") AND (cognition , thinking OR learning) AND (digital , technological OR ICT)) AND PUBYEAR > 2014 AND PUBYEAR < 2026 AND (LIMIT-TO (OA , "all")) AND (LIMIT-TO (EXACTKEYWORD , "Early Childhood Education") OR LIMIT-TO (EXACTKEYWORD , "Preschool Child") OR LIMIT-TO (EXACTKEYWORD , "Problem Solving") OR LIMIT-TO (EXACTKEYWORD , "Robotics") OR LIMIT-TO (EXACTKEYWORD , "Digital Technologies") OR LIMIT-TO (EXACTKEYWORD , "Science Education") OR LIMIT-TO (EXACTKEYWORD , "Child, Preschool") OR LIMIT-TO (EXACTKEYWORD , "Play") OR LIMIT-TO (EXACTKEYWORD , "Ict")) AND (LIMIT-TO (DOCTYPE , "ar")) AND (LIMIT-TO (SUBJAREA , "SOCI")) AND (LIMIT-TO (LANGUAGE , "English"))

A well-defined set of addition and exclusion criteria has been used to ensure the relevance, consistency, and scientific rigor of the data set. The study included publications limited to peer-reviewed journal articles indexed in the Scopus database from 2015 to 2025, written in English and classified by Social Science (SOCI) discipline.

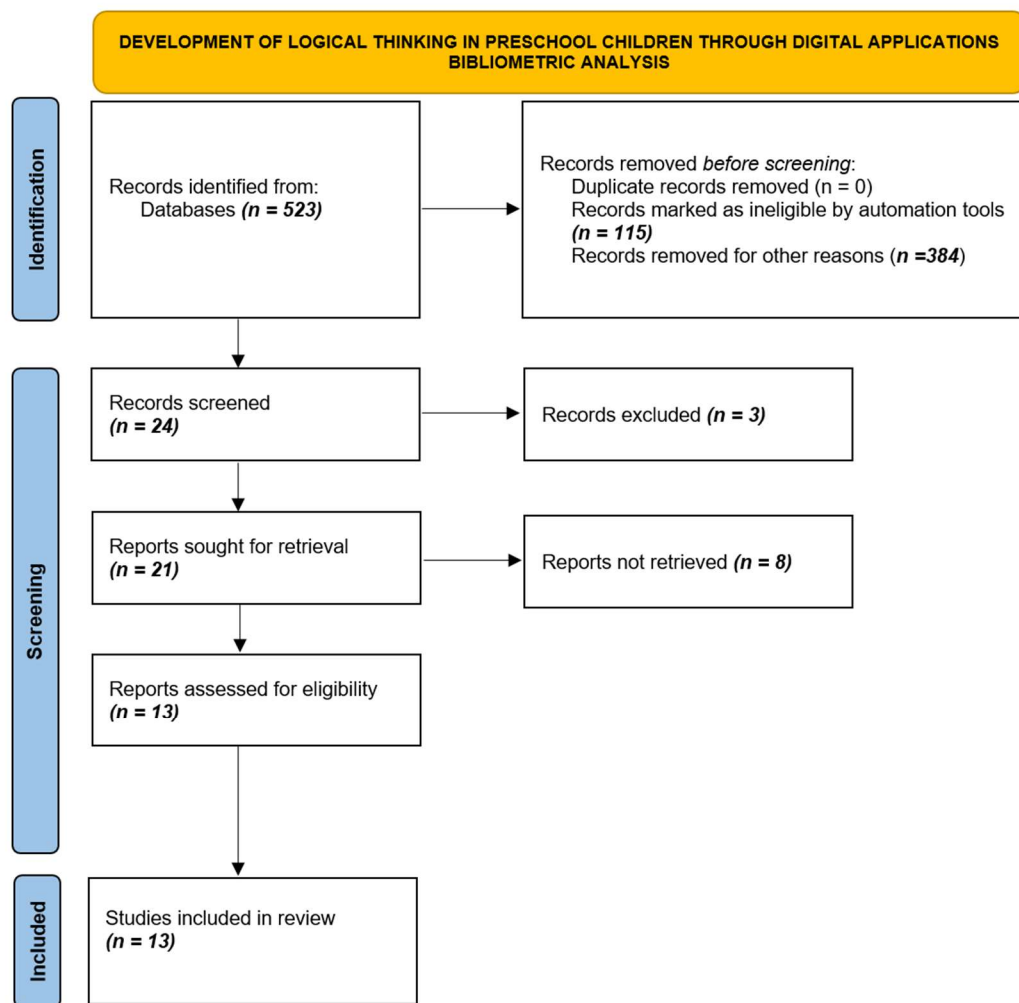


Figure 1. PRISMA flow diagram of the study selection process for bibliometric analysis

To ensure transparency and accessibility of data, only open access publications were provided. In addition, it was necessary that the selected Research be clearly related to the use of logical thinking in preschool children or preschool education. In addition, conference papers, book chapters, peer-reviewed articles and editorials, as well as publications beyond the deadline, research not directly related to preschool education, and repetitive or irrelevant entries identified through automated filtering procedures were excluded.. The data collection and screening process was carried out in accordance with the PRISMA framework, which ensures transparency and methodological consistency (see Figure 1). As a result of the initial search, 523 entries were obtained. After the removal of non-essential and automatically removed records, there are 24 studies left for screening. Of these, 21 were requested for search, and 3 were not received. Subsequently, 13 studies were evaluated for suitability, and 8 were excluded from the study based on predefined criteria. As a result, the final sample of 13 studies was included in the bibliometric analysis. This multi-stage screening process ensured the reliability, repeatability and validity of the data set. Bibliometric analysis was carried out using a combination of quantitative indicators and visualization methods. First, descriptive analysis was used to study annual publication TRENDS, the distribution of research by countries, institutions, and journals, as well as citation rates, including total citations and average citations per document. Secondly, co-author analysis was used to identify networks of cooperation between authors, institutions and countries, thus identifying the patterns of scientific cooperation. Thirdly, the analysis of the juxtaposition of keywords made it

possible to identify priority research topics and emerging topics, supported by cluster analysis, in order to reveal the conceptual structure of the field. In addition, a thematic evolutionary analysis was carried out to study the development and change of research topics over time, which made it possible to identify emerging and declining trends. Finally, an analysis of sources and influence was carried out to identify the most influential journals and assess the performance of publications and the impact of citations.

Results and Discussion

Analysis of the most cited publications provides important insights into the intellectual structure and knowledge development of this field. Citation analysis is a key bibliometric indicator that reflects the scientific impact, visibility, and impact of individual research. Highly cited works in the context of digital applications in preschool education represent fundamental contributions that shape current research areas and theoretical foundations. The results show that the industry is relatively young but growing rapidly, with most of the highly cited publications concentrated between 2015 and 2025 (Table 1). This confirms the growing scientific interest in integrating digital applications into preschool education.

Table 1. Top 10 most cited publications in ai and early childhood education

No.	Document Title	Authors	Source	Year	Citations
1	Preschool children's interaction with ICT at home	Konca, A.S.; Koksalan, B.	International Journal of Research in Education and Science, 3(2), pp. 571–581	2017	18
2	Tablets as an educational tool for enhancing preschool science	Furman, M.; De Angelis, S.; Dominguez Prost, E.; Taylor, I.	International Journal of Early Years Education, 27(1), pp. 6–19	2019	31
3	Design and validation of a music technology course for initial music teacher education based on the TPACK framework and the project-based learning approach	Tejada, J.; Morel, T.T.	Journal of Music Technology and Education, 12(3), pp. 225–246	2019	23
4	Science at home: Parents' need for support to implement video-based online science club with young children	Vartiainen, J.; Aksela, M.	Lumat, 7(1), pp. 59–78	2019	8
5	Young children's agency with digital technologies	Nolan, A.; Edwards, S.; Salamon, A.; Highfield, K.; Bartlett, J.	Children and Society, 36(4), pp. 541–563	2022	19
6	Application of gamification in Early Childhood Education and Primary Education: thematic analysis	Lorenzo-Lledó, A.; Vázquez, E.P.; Cabrera, E.A.; Lledó, G.L.	Retos, 50, pp. 858–875	2023	11
7	Early Childhood Robotics: Children's Beliefs and Objective Capabilities to Read and Write Programs	Zviel Girshin, R.; Rosenberg, N.; Kukliansky, I.	Journal of Research in Childhood Education, 38(2), pp. 317–335	2024	11
8	The Use of Augmented Reality-Supported Activities in Environmental Education for Early Childhood: A Quasi-Experimental Study	Şimşek, E.E.	Sustainability Switzerland, 16(23), 10374	2024	6
9	What Happens beyond the Screen? Uncovering Digital Technology Perception, Usage, and Parental Mediation among 3–6-year-old Turkish Children	Ata-Aktürk, A.; Akman, M.B.	Journal of Child and Family Studies, 33(10), pp. 3191–3210	2024	3
10	Integrating social learning and experiential learning theories: a novel augmented reality approach to enhancing social skills in early childhood education	Herman; Herlina; Hasan, M.; Ahmar, A.S.	Cogent Education, 12(1), 2556889	2025	1

A closer examination of the selected studies on the use of digital applications in early childhood education reveals several key research directions related to the development of logical thinking in preschool children. First, a number of studies focus on the effectiveness of specific

digital tools such as tablets, gamified platforms, robotics, and augmented reality. Research shows that these technologies support the development of essential cognitive skills, including problem-solving, sequencing, and cause-and-effect reasoning, when they are implemented through structured and age-appropriate learning activities (Furman et al., 2019; Lorenzo-Lledó et al., 2023; Zvieli Girshin et al., 2024; Şimşek, 2024). Second, several studies emphasize the importance of children's interaction with digital technologies within a guided environment. Findings indicate that although preschool children actively engage with digital devices, the development of logical thinking largely depends on adult support, the quality of content, and meaningful learning contexts (Konca & Koksalan, 2017; Ata-Aktürk & Akman, 2024; Nolan et al., 2022). This suggests that digital tools alone are not sufficient without proper pedagogical mediation. Third, research highlights the integration of digital technologies with experiential and collaborative learning approaches. Studies demonstrate that combining digital activities with real-life experiences and social interaction enhances children's reasoning abilities and promotes deeper cognitive engagement (Vartiainen & Aksela, 2019; Herman et al., 2025). In addition, the application of pedagogical frameworks such as TPACK and project-based learning is considered essential for organizing effective digital learning environments that support logical thinking development (Tejada & Morel, 2019).

The analysis of institutional affiliations allows us to identify the specifics of the distribution of research related to digital applications in early childhood education among different organizations. The results obtained show that scientific publications are not concentrated in certain leading universities, but, on the contrary, are evenly distributed among different institutions (Figure 2).

In particular, T.R. It was noted that the research contribution of such organizations as Ministry of National Education, Paralex Institute, Monash Warwick Professor in Health and Social Care Improvement and Implementation Science, Early Childhood Australia, Charles Sturt University, Universidad de Buenos Aires, Universitat de València, Helsingin Yliopisto, Universidad Metropolitana and Consejo Nacional de Investigación is equal. This situation means that there is no one dominant Research Center in the industry, and research activity takes place through several independent institutes. Such results suggest that research on the role of digital technologies in early education is evolving globally. The participation of organizations from different countries determines the international significance of the topic and a wide range of scientific interests. At the same time, the lack of formation of leading research centers may indicate that this area is still not fully developed from an institutional point of view. In addition, the diversity of organizations involved in the study reflects the interdisciplinary nature of the industry. Along with universities, the participation of educational institutions and policy-oriented institutions proves that the study of the impact of digital applications on the cognitive development of children is not limited to pedagogy, but is closely related to technology and Social Sciences. From the point of view of cooperation, the disparate structure of affiliations may hint at the lack of development of a large-scale interinstitutional partnership. Nevertheless, this fact will make it possible to expand international scientific networks and strengthen joint research in the future. Such integration can contribute to improving the methodological quality of research.

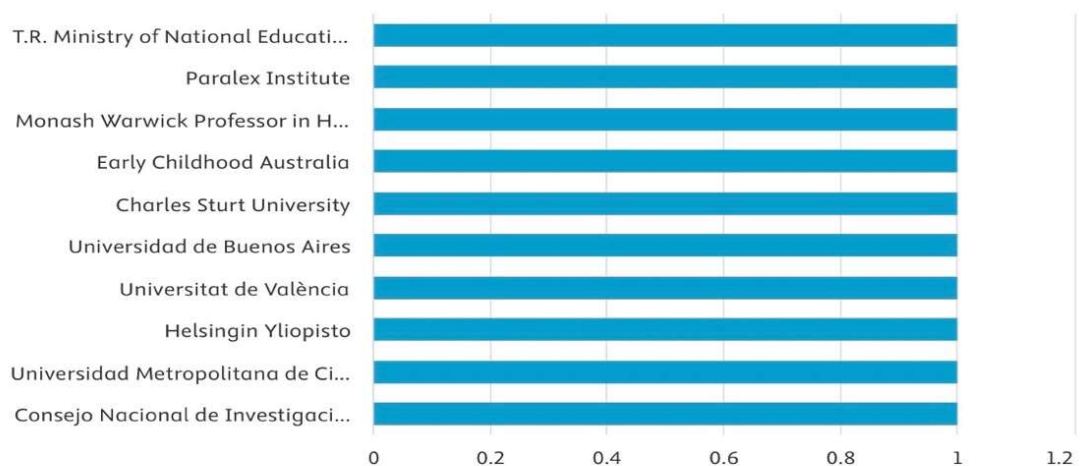


Figure 2. Top contributing institutions in digital applications and early childhood education research

Figure 3 presents the keyword collaborative story line, created using vosviewer, which reflects the conceptual structure and thematic relationships in the field of digital technologies in early childhood education. The network consists of several interconnected clusters, each of which represents a specific area of study, and the size of the nodes indicates the frequency of occurrence of keywords, and the thickness of the links indicates the strength of the links that occur in parallel.

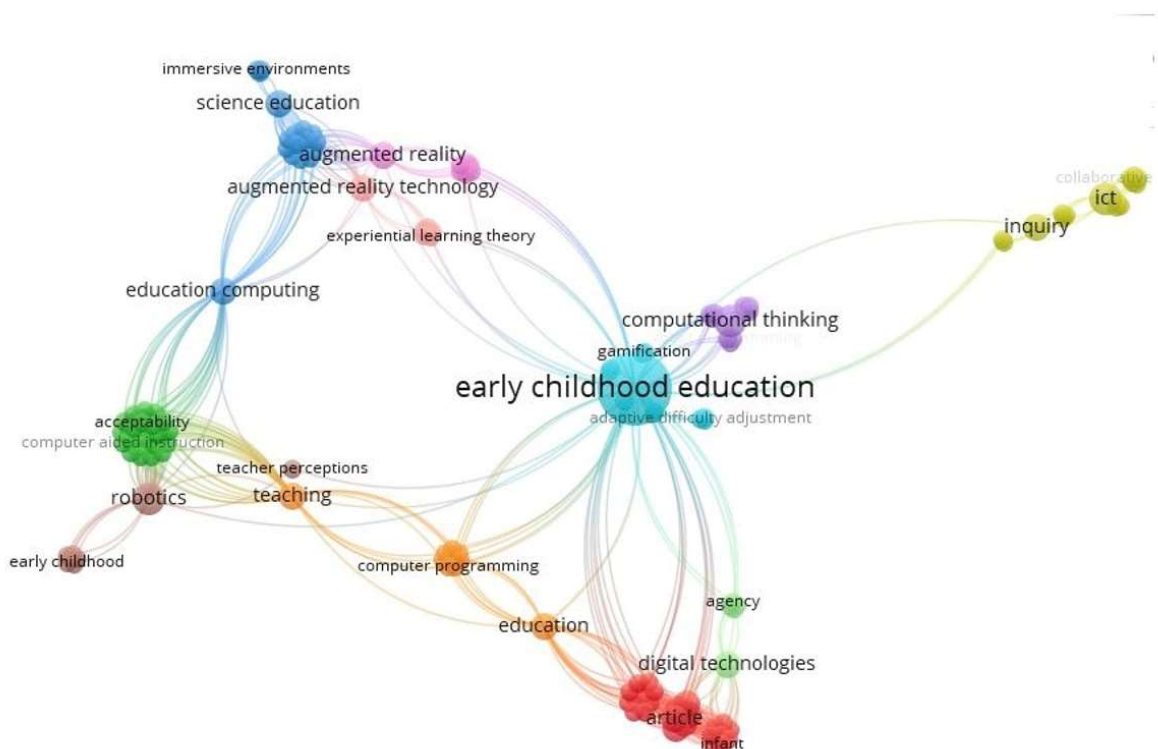


Figure 3. Keyword co-occurrence network in digital applications and early childhood education research

At the focal point of the entire network, the "early childhood education" node acts as the most prominent and highly connected, confirming its role as the main conceptual anchor for the entire research domain. His dense network of connections with a multitude of heterogeneous technical terms located on the periphery clearly demonstrates the pronounced interdisciplinary nature of research that successfully assimilates technological, pedagogical, and psychological-

developmental perspectives. Visual analysis allows us to identify three dominant thematic areas and a number of auxiliary ones.

The **blue cluster**, located at the top of the graph, focuses on advanced immersive technologies and their pedagogical potential. Its key descriptors include "*Augmented Reality*", "*augmented reality technology*", "*science education*" and "*immersive environments*". This cluster demonstrates the growing academic interest in the use of AR as a tool for creating rich educational experiences, which is further confirmed by its close connection with the term "*experiential learning theory*" (theory of learning based on experience), which serves as a theoretical foundation for the use of such technologies.

On the left side of the network is a powerful **green-orange macro cluster**, which is a synthesis of technical and human aspects of technological integration. The **Green segment** focuses on engineering and technical skills, combining the terms "*robotics*", "*computer aided instruction*" and "*early childhood*". At the same time, the **orange segment** focuses on the role of educators and teaching strategies, including the descriptors "*teaching*", "*teachers perceptions*" and "*computer programming*". The close covariance between these two segments indicates that the effectiveness of the introduction of complex competencies such as programming and robotics in early childhood critically depends on the professional training of educators and their attitude to technology, which is further confirmed by the connection with the concept of "*acceptability*", indicating the study of barriers to perception.

The **red cluster**, located at the bottom, covers broader issues of digitalization and age specifics. It includes the keywords "*digital technologies*", "*article*" and "*Infant*". This sector acts as a mediator between the general context of digital tools and the specific developmental needs of the youngest children, which is emphasized by the connection with the term "*agency*". Additionally, the peripheral **yellow cluster** in the east of the network should be noted, combining "*ICT*", "*collaborative ICT*" and "*inquiry*" (research method), which indicates an independent but less central research area dedicated to joint research activities using traditional information and communication tools.

The most important observation from this network is the dominant position of augmented reality (AR), which competes with robotics in popularity, forming one of the hottest areas of research. The high density of interconnections between clusters indicates a strong conceptual integration within the field, where technical innovations (AR, programming) do not exist in isolation, but are actively linked to pedagogical strategies and teachers' perceptions. This allows us to conclude that in this area, the gap between technological innovations and their practical implementation in early childhood education is the object of active study and gradual overcoming.

The findings of this bibliometric analysis provide important insights into the current state and development trajectory of research on digital applications in early childhood education, particularly in relation to the development of logical thinking skills. The results confirm that this field is relatively young but rapidly evolving, with a noticeable increase in scholarly attention between 2015 and 2025. This trend aligns with the broader digital transformation of education and the growing recognition of the importance of early cognitive development supported by technology (Zaranis & Alexandraki, 2021). One of the key findings is the strong emphasis on the effectiveness of specific digital tools, such as tablets, gamified platforms, robotics, and augmented reality. These technologies have been shown to positively influence core components of logical thinking, including sequencing, classification, and cause-and-effect reasoning. For instance, gamification and robotics-based learning environments provide structured problem-solving scenarios that actively engage children in cognitive processes (Lorenzo-Lledó et al., 2023; Zviel Girshin et al., 2024). Similarly, augmented reality applications create immersive learning experiences that enhance understanding through interaction and visualization (Şimşek, 2024). These findings support earlier research suggesting that interactive and experiential learning

environments are particularly effective in early childhood (Angeli & Valanides, 2019). However, the analysis also highlights that the mere presence of digital tools does not automatically lead to improved cognitive outcomes. Several studies emphasize the critical role of adult mediation, pedagogical design, and content quality. Without proper guidance, digital technologies may fail to support meaningful learning or even lead to passive consumption (Konca & Koksalan, 2017; Nolan et al., 2022). This reinforces the argument that digital applications should be integrated within structured educational frameworks, where teachers and parents actively facilitate children's engagement and reasoning processes (Ata-Aktürk & Akman, 2024). Another important observation is the integration of digital technologies with experiential and collaborative learning approaches. The findings demonstrate that combining digital activities with real-world interaction enhances children's logical reasoning and promotes deeper cognitive engagement. For example, video-based learning combined with parental support has been shown to extend learning beyond formal educational settings (Vartiainen & Aksela, 2019). Furthermore, the application of pedagogical models such as TPACK and project-based learning provides a theoretical foundation for the effective integration of technology in early education (Tejada & Morel, 2019). From a structural perspective, the bibliometric analysis reveals that research in this field is highly decentralized. There is no single dominant research center, and contributions are distributed across various institutions worldwide. This indicates that the topic has global relevance and interdisciplinary appeal, spanning education, psychology, and technology studies. At the same time, the lack of strong institutional concentration may suggest that the field is still in a developmental stage and lacks cohesive research networks. The keyword co-occurrence analysis further confirms the interdisciplinary nature of the field and identifies several dominant thematic clusters, including augmented reality, robotics, and ICT-based collaborative learning. The prominent position of augmented reality suggests that immersive technologies are becoming a central focus of current research. At the same time, the close interconnection between technological and pedagogical keywords indicates that researchers increasingly recognize the importance of aligning technological innovation with educational practice. Despite these advancements, the study also identifies several gaps. First, there is a limited number of high-quality empirical studies specifically focused on logical thinking as a distinct construct, as many studies tend to generalize it under broader categories such as critical or creative thinking. Second, methodological limitations are evident, as many studies rely on short-term interventions or observational methods, which may not fully capture long-term cognitive development. These findings highlight the need for more longitudinal and experimental research designs. The results suggest that digital applications have significant potential to support the development of logical thinking in preschool children, but their effectiveness depends on pedagogical integration, adult support, and methodological rigor. Future research should focus on developing standardized assessment tools, strengthening interdisciplinary collaboration, and exploring long-term impacts of digital learning environments.

Conclusion

This study presents a comprehensive bibliometric analysis of global research on the use of digital applications in early childhood education, with a particular focus on the development of logical thinking skills. The findings demonstrate that this field is actively evolving and gaining increasing scholarly attention, especially in the period from 2015 to 2025, reflecting the broader digital transformation of education. The results confirm that digital technologies such as gamified applications, robotics, mobile learning tools, and augmented reality play a significant role in supporting the development of key components of logical thinking, including sequencing, classification, pattern recognition, and cause-and-effect reasoning. At the same time, the study highlights that the effectiveness of these technologies is not automatic and depends on several critical factors, including pedagogical design, the quality of digital content, and the level of adult

mediation. The bibliometric analysis also reveals that the research field is characterized by a high degree of interdisciplinarity and global distribution, with contributions from various countries and institutions rather than a single dominant research center. The conceptual structure of the field is shaped by several major thematic clusters, including augmented reality, robotics, ICT-based learning, and teacher-related factors, which together reflect the integration of technological and pedagogical dimensions. Despite the growing body of research, significant gaps remain. In particular, there is a lack of focused empirical studies that treat logical thinking as an independent construct, as well as a shortage of longitudinal and methodologically rigorous research designs. Furthermore, the limited development of international research collaboration indicates the need for stronger scientific networks and knowledge exchange. The study confirms that digital applications have strong potential to enhance logical thinking in preschool children, but their successful implementation requires a balanced combination of technological innovation, pedagogical strategy, and human interaction. Future research should prioritize the development of standardized assessment tools, long-term studies, and interdisciplinary collaboration to strengthen both theoretical and practical contributions in this field.

References

1. Angeli, C., & Valanides, N. (2019). Epistemological and methodological issues for the conceptualization, development, and assessment of ICT–TPACK. *Computers & Education*, 52(1), 154–168.
2. Ata-Aktürk, A., & Akman, M. B. (2024). What happens beyond the screen? Uncovering digital technology perception, usage, and parental mediation among 3–6-year-old children. *Journal of Child and Family Studies*, 33(10), 3191–3210.
3. Booton, S., et al. (2023). Thinkrolls Play & Code: Game-based learning and logical thinking development.
4. Furman, M., De Angelis, S., Dominguez Prost, E., & Taylor, I. (2019). Tablets as an educational tool for enhancing preschool science. *International Journal of Early Years Education*, 27(1), 6–19.
5. Herman, H., Herlina, H., Hasan, M., & Ahmar, A. S. (2025). Integrating social learning and experiential learning theories: A novel augmented reality approach. *Cogent Education*, 12(1), 2556889.
6. Konca, A. S., & Koksalan, B. (2017). Preschool children’s interaction with ICT at home. *International Journal of Research in Education and Science*, 3(2), 571–581.
7. Lorenzo-Lledó, A., Vázquez, E. P., Cabrera, E. A., & Lledó, G. L. (2023). Application of gamification in early childhood education: A thematic analysis. *Retos*, 50, 858–875.
8. Nolan, A., Edwards, S., Salamon, A., Highfield, K., & Bartlett, J. (2022). Young children’s agency with digital technologies. *Children & Society*, 36(4), 541–563.
9. Nursanti, N., et al. (2025). Cognitive development theory in early childhood learning.
10. Pezzuti, L., et al. (2014). Logical thinking and cognitive development in early childhood.
11. Schock, A. (2018). Toca Lab: Educational applications in early childhood learning.
12. Sheehan, K., et al. (2019). Game-based learning and early childhood cognitive development.
13. Şimşek, E. E. (2024). The use of augmented reality-supported activities in environmental education. *Sustainability*, 16(23), 10374.
14. Sufan, M., et al. (2023). Logical reasoning in interdisciplinary sciences.
15. Tejada, J., & Morel, T. T. (2019). Design and validation of a music technology course based on TPACK. *Journal of Music, Technology & Education*, 12(3), 225–246.
16. Vartiainen, J., & Aksela, M. (2019). Science at home: Parents’ need for support in early learning. *LUMAT*, 7(1), 59–78.

17. Zaranis, N., & Alexandraki, G. (2021). Mobile learning in early childhood education.
18. Zhang, X. (2025). Language sciences and logical thinking development.
19. Zhang, Y., et al. (2024). Matatalab and early childhood programming education.

THEORETICAL OVERVIEW OF DEVELOPING AUDITORY PERCEPTION IN HARD-OF-HEARING PRESCHOOL CHILDREN THROUGH FOLK TALES

Taubai Altynai Orazbekkyzy

Kazakh National Pedagogical University named after Abai, 7M01901 Special pedagogy:
Sign language teaching Candidate of Pedagogical Sciences, Associate Professor

Bekbayeva Z.N

(Almaty, Kazakhstan)

Abstract

This article examines a comprehensive study of the process of developing auditory perception and forming oral speech in primary school students with hearing impairments. The research examines the theoretical foundations of surdopedagogy, drawing on the works of R. M. Boskis, L. V. Neyman, and E. P. Kuzmicheva, where the utilization of residual hearing serves as a key factor in rehabilitation. The study substantiates the effectiveness of using Kazakh folklore and fairy tales as tools for developing the auditory perception of suprasegmental speech elements (tone, timbre, pitch, duration, intonation, etc.). It describes the role of national tales and dramatized activities in fostering positive motivation for "listening" to the surrounding world. The practical section of the work includes descriptions of diagnostic complexes for assessing hearing levels, as well as methodological recommendations (specifically, the Auditory-Verbal Method) for developing the auditory perception of the prosodic aspects of speech. The work emphasizes the necessity of a systemic approach, in which the use of cultural heritage combined with modern diagnostic techniques ensures successful social integration and the development of auditory comprehension in children with special educational needs.

Keywords: auditory perception, preschool students, folklore, students with hearing impairment, hard-of-hearing students, Auditory-Verbal Method (AVM).

ТЕОРЕТИЧЕСКИЙ ОБЗОР РАЗВИТИЯ СЛУХОВОГО ВОСПРИЯТИЯ У СЛАБОСЛЫШАЩИХ ДОШКОЛЬНИКОВ ПОСРЕДСТВОМ НАРОДНЫХ СКАЗОК.

Аннотация

Данная работа посвящена комплексному исследованию процесса развития слухового восприятия и формирования устной речи у младших школьников с нарушениями слуха. В исследовании рассматриваются теоретические основы сурдопедагогики, опирающиеся на труды Р. М. Боскис, Л. В. Неймана и Е. П. Кузьмичевой, где использование остаточного слуха выступает ключевым фактором реабилитации. Обоснована эффективность использования казахского народного фольклора и сказок как инструментов развития слухового восприятия супrasegmentных элементов речи (тона, тембра, высоты, длительности, интонации и т.д.). Описана роль национальных сказок и театрализованной деятельности в создании положительной мотивации к «вслушиванию» в окружающий мир. Практическая часть работы включает описание диагностических комплексов для оценки уровня слуха, а также методические рекомендации (в частности, аудиовербальный метод) по развитию восприятия просодической стороны речи на слух. Работа подчеркивает необходимость

системного подхода, при котором использование культурного наследия и современных диагностических методик обеспечивает успешную социальную интеграцию и развитие слухового понимания у детей с особыми образовательными потребностями.

Ключевые слова: слуховое восприятие, дети дошкольного возраста, фольклор, обучающиеся с нарушениями слуха, слабослышащие обучающиеся, слухоречевой метод (AVM)

НАШАР ЕСТИТІН МЕКТЕП ЖАСЫНА ДЕЙІНГІ БАЛАЛАРДЫҢ ХАЛЫҚ ЕРТЕГІСІ АРҚЫЛЫ ЕСТІП ҚАБЫЛДАУДЫҢ ДАМУЫНЫҢ ТЕОРИЯЛЫҚ НЕГІЗДЕРІ.

Аңдатпа

Бұл жұмыс есту қабілеті бұзылған бастауыш сынып оқушыларының есту арқылы қабылдауын дамыту және ауызша сөйлеуін қалыптастыру процесін кешенді зерттеуге арналған. Зерттеуде қалдық есту қабілетін пайдалануды оңалтудың негізгі факторы ретінде қарастыратын Р. М. Боскис, Л. В. Нейман және Е. П. Кузьмичеваның еңбектеріне негізделген сурдопедагогиканың теориялық негіздері талданады. Сөйлеудің супрасегментті элементтерін (тон, тембр, биіктік, ұзақтық, интонация және т.б.) қабылдауды дамыту құралы ретінде қазақ халық фольклоры мен ертегілерін қолданудың тиімділігі негізделген. Ұлттық ертегілер мен театрландырылған іс-әрекеттің қоршаған әлемді «тыңдай білуге» деген оң мотивацияны қалыптастырудағы рөлі сипатталған.

Жұмыстың практикалық бөлімі есту деңгейін бағалауға арналған диагностикалық кешендердің сипаттамасын, сондай-ақ сөйлеудің просодикалық жағын есту арқылы қабылдауды дамыту бойынша әдістемелік ұсыныстарды (атап айтқанда, аудиовербальды әдіс) қамтиды. Зерттеуде мәдени мұра мен заманауи диагностикалық әдістемелерді қолдану ерекше білім беру қажеттіліктері бар балалардың табысты әлеуметтік интеграциясын және есту арқылы түсіну қабілетін дамытуды қамтамасыз ететін жүйелі тәсілдің қажеттілігі атап көрсетілген.

Түйінді сөздер: есту арқылы қабылдау, мектеп жасына дейінгі балалар, фольклор, есту қабілеті бұзылған балалар, нашар еститін білім алушылар, есту-сөйлеу әдісі (AVM).

Introduction

Many researchers have addressed the issue of developing auditory functions and utilizing them to form oral speech in children with hearing impairments. Within the framework of the current educational system, the development of auditory perception is integrated into a unified functional network for perceiving and reproducing oral speech (V.A. Bagrova, V.M. Beltyukov, R.M. Boskis, K.P. Kaplinskaya, E.P. Kuzmicheva, V.D. Laptev, E.I. Leongard, L.P. Nazarova, L.V. Neyman, T.V. Pelniskaya, F.F. Rau, N.D. Shmatko, etc.).

Children are taught to distinguish surrounding sounds based on their primary characteristics - intensity (loudness), pitch, timbre, and tempo. Auditory attention is the ability to concentrate on a sound, which is essential for listening to and understanding speech. The development of auditory perception proceeds in two directions: developing non-speech sounds and speech sounds, namely phonemic perception.

Sound-based (noise) fairy tales can be used as a tool to develop the auditory sphere. A fairy-tale game environment arouses a child's interest and motivates them to focus on collaborative activities with an adult. Through such play situations, children can be involved in voicing stories using household noises and the sounds of various musical instruments [1].

The study of residual hearing in deaf children was conducted by scientists such as F.F. Rau, V.I. Beltyukov, R.M. Boskis, L.V. Neyman, I.G. Bagrova, E.I. Leongard, and others. Each contributed to the study of auditory function in deaf children. R.M. Boskis and L.V. Neyman created a medical-

pedagogical classification of deafness and hearing loss, which became the basis for differentiated education for children with varying degrees of hearing impairment [2].

Interaction of Analyzers in the Process of Perception and Acquisition of Oral Speech, Moscow, 1977). Currently, the development and use of residual hearing is one of the primary conditions for increasing the effectiveness of speech instruction for deaf children during their education. "We view auditory perception," writes E.P. Kuzmicheva, "as one of the components of the speech activity of the deaf, which has a significant impact on the formation of this activity" [3].

The Main Part

Folklore reflects the manifestation of ethnopsychology and worldview, depicting an outlook on life. Through poetry, one can obtain information about a people's life, customs, traditions, and national character. Today, the effective use of oral literature in the educational and upbringing process of primary school students is an important issue. Folklore works contribute to revitalizing the educational process [4]

Kazakh folklore, like the oral literature of any nation, reflects the worldview and historical-cultural life of that nation. Kazakh folklore is rich in both national characteristics and universal human values. It gathers the features, diverse facets, and nuances of ethnopedagogics and ethnopsychology. For example, all genres of oral literature were widely used in raising children. Fairy tales, legends, genealogies and epics, proverbs, and tongue twisters were told in figurative and artistic language, skillfully taking into account the child's imagination and thinking characteristics [5].

The ideas and opinions that emerged in the science of folkloristics were further continued and comprehensively researched by scholars such as A. Konyratbayev, R. Berdibayev, S. Sadyrbayev, S. Kaskabasov, O. Nurmagambetova, M. Zharmukhameduly, and Sh. Ybyrayev, and others. Their works enriched the field of folkloristics with new concepts and conclusions, even under the conditions of ideological control. One important genre of oral literature is the fairy tale. According to V. Dahl, the fairy tale is an essential genre for a child because it strengthens their moral feelings, awakens interest, develops imagination, and shapes aesthetic taste.

The concept of the "fairy tale" is widely spread among the people. The fairy tale holds a special place in the Kazakh tradition of upbringing. Fairy tales often arise from the reality of social life, related to the people's lifestyle and occupation. Through fairy tales, children were taught "to learn from the good and recoil from the bad." Telling fairy tales contributed to enriching children's vocabulary, developing oral speech, and fostering thinking abilities [6].

The concept of the "fairy tale" is widespread among people. In the Kazakh tradition of child-rearing, fairy tales hold a special place. Most fairy tales arise from the reality of social life, closely tied to the people's daily lifestyle and occupations. Through these stories, children were taught to "learn from the good and recoil from the bad."

Telling fairy tales contributed to enriching children's vocabulary, improving oral speech, and fostering cognitive development. In Kazakh villages, storytellers were highly esteemed, and the content of fairy tales was treated with great responsibility. One of the most significant challenges in child psychology and pedagogy is the formation of imagination in primary school students with hearing impairments. For these students, visual support is particularly crucial for better perception, as they find it difficult to independently visualize characters [7].

Therefore, to ensure full comprehension and reinforcement of the story, we utilize the following methods in our sessions: illustrations for the fairy tale, application work, plasticine modeling, and creating decorations for puppet theater. These activities make it easier for a hard-of-hearing child to "immerse" themselves in the story and grasp its meaning.

The fairy tale stands as one of the most important tools of folk pedagogy. It serves not only as a way to transmit knowledge but also as a means to develop a child's thinking, attention,

memory, and speech. Fairy tales significantly impact aesthetic and moral development, helping to shape concepts of good and evil while developing the emotional sphere. The uniqueness of the fairy tale lies in its vivid imagery and accessibility. The language of tales is rich in metaphors, comparisons, and proverbs, making them especially appealing to children. Through fairytale characters, children learn to empathize with heroes, understand the consequences of actions, and distinguish between positive and negative traits. Positive heroes typically embody kindness, diligence, courage, and honesty, while negative characters personify laziness, greed, and malice [9].

One of the means capable of promoting speech development is art, theatrical activity, or, more simply, the staging of fairy tales. The significance of a fairy tale is due to its comprehensive influence on both individual mental processes and the child's personality as a whole. Scientists who have studied this issue (A. V. Zaporozhets, L. D. Korotkova, L. P. Strelkova, and others) argue that the fairy tale impacts the sphere of a child's social development. The effectiveness of the fairy tale in working with children with hearing impairments is determined by the fact that the child, easily identifying themselves with a fairy-tale character, feels protected and develops an interest in the action. This allows for expanding the range of perception images, acquiring communication skills, internalizing behavioral patterns, and activating the child's vocabulary [10].

The national identity of folklore, its typological similarity, and its connection with the folklore of other peoples help to understand more deeply the history, way of life, and national character of a particular ethnic group. The study of folklore has great educational opportunities. Acquaintance with folklore will allow you to find out what the country is rich in, what its features are, what the inhabitants have been doing historically, etc [11]

It is well known that fiction is a source from which a child draws knowledge and ideas about various spheres of reality, such as the lives of people and animals, the state of nature, and so on. For instance, while researching the psychology of fairy tale perception in preschoolers, A.V. Zaporozhets noted that throughout the preschool age, a child undergoes a long journey in developing an attitude toward a work of art: from direct, naive participation in the depicted events to more complex forms of aesthetic perception. In her works, O.I. Nikiforova identifies three stages in the development of a child's perception of a literary work: Direct perception of the fairy tale, reconstruction, and experiencing of images the process of imagination lies at the core; The child's understanding of the ideological content of the listened work cognitive operations lie at the core of understanding; The influence of fiction on the reader's personality - in this stage, the child's feelings and consciousness are involved [12].

Methodology

To assess the level of auditory perception in primary schoolchildren with hearing impairments, diagnostic tools based on the works of E. P. Kuzmicheva, E. Z. Yakhnina, O. V. Shevtsova, L. V. Neyman, and M. R. Bogomilskaya were used. The assessment includes four main areas.

The first method is the differentiation of words under closed-choice conditions (according to E. P. Kuzmicheva). This task is aimed at determining the child's ability to distinguish words by ear. The assessment is carried out step by step: from comparing words that differ significantly in rhythm and duration to working with lexical items that have a similar syllabic structure but different stress patterns.

The second method is the perception of conversational words (based on the word lists by L. V. Neyman). This method makes it possible to evaluate the current level of auditory speech recognition and identify the potential for its further development.

The third method is the perception of phrases using different sensory modalities. With the help of balanced sets of phrases (according to E. P. Kuzmicheva and E. Z. Yakhnina), it is assessed how the student understands speech through auditory-visual and visual perception. The child is

required not only to repeat a phrase presented up to two times but also to respond to it with an action or an answer, accompanying their response with verbal commentary.

The fourth method is auditory-visual perception of connected text. This method (developed by E. P. Kuzmicheva and E. Z. Yakhnina) is aimed at understanding a short spoken message with the support of visual material in the form of a series of pictures. This methodology is aimed at a comprehensive assessment of communicative and speech skills. It evaluates the child's ability to independently construct a coherent narrative based on a series of pictures, the quality of pronunciation, the ability to imitate the teacher's speech model, as well as the capacity for auditory-visual perception of text supported by visual aids [13]

The fifth method (according to L. V. Neyman and M. R. Bogomilsky) is aimed at assessing the state of auditory function and determining hearing acuity (sensitivity to sounds of different frequencies). The examination procedure includes specific requirements. The assessment is conducted in a quiet room at least 6 meters in length. Hearing is tested separately for each ear. The child is positioned sideways to the teacher, in the most favorable position for perceiving auditory signals [14].

The Auditory-Verbal Method (AVM) is a modern therapeutic approach to teaching children with hearing impairments. It emphasizes the maximum use of residual hearing (through cochlear implants or hearing aids) for the development of spoken language. Unlike other approaches, AVM excludes the use of sign language and limits reliance on lip-reading in order to encourage the child's brain to process auditory information. This method is based on the idea that hearing is the foundation for speech and language development [15]

Approaches to auditory-speech development within the Auditory-Verbal Method

The role of motivation and emotional engagement is fundamental.	Active auditory perception is primarily a matter of motivation, and only then a matter of training. Developing a positive attitude toward the sounds of the surrounding world in a child with hearing impairment is critically important for their social integration. Since verbal language may initially be perceived by them as "foreign," special attention must be paid to the process of "listening in" and the mastery of a new sensory channel.
Sequence and gradual progression	The presentation of auditory material should follow a clear, structured sequence, moving step by step from simple to more complex tasks. This principle ensures that the child consistently builds auditory skills without overload. The process begins with the perception of simple, meaningful non-speech sounds, then gradually moves toward more complex auditory patterns, and only afterward to speech material. Each new stage should rely on the skills formed at the previous level. The child first learns to detect sounds, then to differentiate them, and later to recognize and interpret them. Gradual усложнение (increasing complexity) helps strengthen auditory perception, supports confidence, and improves the overall effectiveness of auditory-speech development.
Recognition and production of speech sounds	Once the child successfully masters the level of simple non-speech sounds, the learning process logically moves to the next stage — the acquisition of verbal signals. It is essential to follow the principle of gradual progression: speech structures should be introduced in order of increasing complexity. It should be emphasized that the preliminary stage of non-speech sound training is a necessary condition. Attempts to accelerate speech development while skipping this foundational stage may lead to difficulties in categorizing auditory information and reduce the effectiveness of speech stimulation.
Development of the prosodic aspect of speech	The final, yet critically important factor in developing programs for auditory-speech rehabilitation is the work on prosody. The quality and correctness of speech are determined not only by the knowledge of words but also by the mastery of such elements as: Rhythm, Logical stress, and Intonation.

Conclusion

The development of auditory perception in children with hearing impairments is a complex and multifaceted process based on fundamental research in surdopedagogy and psychology. Scientific works by researchers such as R. M. Boskis, L. V. Neyman, and E. P. Kuzmicheva prove that the effective use of residual hearing is a key condition for the formation of high-quality oral speech. The modern educational system is built on integrating auditory perception into a single functional system, where the development of the ability to hear directly influences the understanding and reproduction of speech structures. The psychological aspect of perceiving works of fiction plays a vital role in this process. As noted by A. V. Zaporozhets and O. I. Nikiforova, a child progresses from simple emotional involvement in the events of a story to a deep understanding of its ideological meaning.

Along this path, imagination, cognitive operations, and the emotional sphere are engaged, which collectively contribute to the development of the child's personality and aesthetic taste.

Literature becomes an essential source of knowledge about the world and human relationships for the child.

Folklore and folk tales occupy a special place in correctional work. Utilizing the rich heritage of Kazakh folklore allows not only for the preservation of national traditions and ethical norms but also for stimulating the child's interest in the acoustic environment. Sound-based fairy tales and play situations rooted in folk art help primary school children distinguish sounds by their volume, pitch, and timbre. This creates the necessary emotional engagement and motivation, without which successful learning is impossible.

The methodology for developing auditory-speech functions requires strict sequence and consistency. According to the auditory-verbal method, training should begin with the recognition of non-speech sounds—everyday noises and sounds of nature. Only after the skill of associating a sound with its source is established, is it appropriate to move on to working with speech signals. The final stage involves working on the prosodic side of speech: rhythm, intonation, and logical stress, which makes the child's speech more natural and understandable to others. Comprehensive diagnostics are used to monitor the effectiveness of the learning process, including testing hearing acuity and the ability to differentiate words under various conditions. Utilizing the methods of E. P. Kuzmicheva and E. Z. Yakhnina allows for an assessment of how a child perceives phrases through auditory-visual means and how successfully they can construct a coherent story based on visual aids. Thus, the combination of evidence-based diagnostic methods, a psychological approach, and a cultural component ensures the comprehensive development and successful social integration of children with hearing impairments.

References:

- 1.Noise-making fairy tales as a means of developing auditory perception in preschool children. — St. Petersburg: DETSTVO-PRESS Publishing LLC; Primary school children with hearing impairments. Armenian Journal of Special Education, 2024. — 80 p.c
- 2.Beltyukov, V. I. Interaction of Analyzers in the Process of Perception and Assimilation of Oral Speech. Moscow: Pedagogika, 1977.
- 3.Kuzmicheva E.P., Methods for Developing Auditory Perception in Deaf Students, Moscow: Prosveshcheniye, 1991, 160 p.
- 4.Mailybayeva, G. S. (2017). Pedagogical foundations for the formation of moral values in primary school children by means of Kazakh folklore: Monograph. Taldykorgan: Zhetysu State University named after I. Zhansugurov. — 130 p
5. Rustemova, Zh. A. (2019). Kazakh children's fairy tales and stories: Genre and poetics [Text]: Monograph (2nd ed.). Karaganda: Aknur. — 144 p.
6. Oprya, O. V. (2003). Folklore traditions in the works of V. I. Dal. Thesis abstract for the Candidate of Philological Sciences. — 201 p.
7. Kaliev, S. K. (2007). Folk pedagogy in Kazakh folklore. Almaty: Rauan.
8. Zinkevich-Evstigneeva T.D., Fundamentals of Fairy Tale Therapy, 2007].
9. Akhmediyeva K.,Autayeva A.N.The role of folcklore in the upbringing of pariotism of primary school children wuth hearing impairments. Armenian journal of special education (AJSE).Volume 8,issue 2.-2024p.
10. M. I. Nikitina — Reading Lessons in Schools for Hard-of-Hearing Children, Moscow, 1991.
11. Zueva, T. V., & Kirdan, B. P. (1998). Russian folklore: A textbook for higher education. Flint.
- 12.Yakovleva S.S. Perception of fiction in the patriotic education of preschool children in a multicultural environment // Modern Problems of Science and Education. 2017. № 6. P. 27-31.
13. Kuzmicheva E.P. Methods for the Development of Auditory Perception in Deaf Students. Moscow: Prosveshchenie, 1991. 160 p.

14. Neyman L.V., Bogomilsky M.R. Anatomy, Physiology and Pathology of the Organs of Hearing and Speech. Moscow: VLADOS, 2001. 224 p.
15. Ling D., Ling A.H. Aural Habilitation: The Foundation of Verbal Learning in Hearing-Impaired Children. Washington, D.C., 1978.

УДК 37.013.43:398(574)

«ТҰРАНБИКЕ» АҢЫЗЫН МЕКТЕП БАҒДАРЛАМАСЫНА ЕНГІЗУДІҢ ПЕДАГОГИКАЛЫҚ МӘНІ

Тұран университеті

Аймақтану 241_4

Ембергенова Гүлсимай Аскарқызы

Ғылыми жетекші:

Тулекова Гүлжан Қажымұратқызы

ф.ғ.к қауымдастырылған, профессор

Аңдатпа

Бұл мақалада «Тұранбике» аңызын мектеп бағдарламасына енгізудің педагогикалық мәні қарастырылады. Зерттеу жұмысының негізгі мақсаты – аңыздың тәрбиелік, танымдық және әдістемелік мүмкіндіктерін анықтау. Мақалада ұлттық әдеби мұралардың оқушының рухани дүниесін байытудағы, тарихи санасын қалыптастырудағы және ұлттық құндылықтарды меңгертудегі рөлі талданады. Сонымен қатар, аңызды мектепте оқыту мәселесінің ғылыми дискурсы, этнопедагогикамен байланысы және зерттеушілердің көзқарастары сараланады. Жұмыста отандық және шетелдік ғалымдардың фольклорды оқу-тәрбие үдерісінде қолдану туралы пікірлері негізге алынады. Сондай-ақ аңызды оқытудағы әдіснамалық ұстанымдар, тиімді әдістер мен практикалық қолдану жолдары көрсетіледі. Мақалада фольклорды оқытуға қатысты сындарлы пікірлер де қарастырылып, оларды шешудің әдістемелік жолдары ұсынылады. Зерттеу нәтижесінде «Тұранбике» аңызы мектеп бағдарламасында ұлттық тәрбие мен тұлғалық дамуға қызмет ететін маңызды мәдени-педагогикалық ресурс екені тұжырымдалады.

Кілт сөздер: Тұранбике аңызы, мектеп бағдарламасы, педагогикалық мән, этнопедагогика, ұлттық тәрбие.

Педагогическое значение включения легенды «Туранбике» в школьную программу

Аннотация

В данной статье рассматривается педагогическое значение включения легенды «Туранбике» в школьную программу. Основной целью исследования является определение воспитательного, познавательного и методического потенциала данной легенды. В статье анализируется роль национального литературного наследия в обогащении духовного мира учащихся, формировании их исторического сознания и усвоении национальных ценностей. Кроме того, рассматриваются научный дискурс проблемы преподавания легенды в школе, её связь с этнопедагогикой, а также анализируются взгляды исследователей. В работе опираются на мнения отечественных и зарубежных ученых о применении фольклора в учебно-воспитательном процессе. Также представлены методологические подходы, эффективные методы и практические способы преподавания легенды. В статье рассматриваются и критические взгляды на преподавание фольклора, а также предлагаются методические пути их решения. В результате исследования делается вывод о том, что легенда «Туранбике» является важным культурно-педагогическим ресурсом,

способствующим национальному воспитанию и личностному развитию в школьной программе.

Ключевые слова: легенда «Турانبике», школьная программа, педагогическое значение, этнопедагогика, национальное воспитание.

The Pedagogical Significance of Including the “Turanbike” Legend in the School Curriculum

Abstract

This article examines the pedagogical significance of including the “Turanbike” legend in the school curriculum. The main objective of the study is to identify the educational, cognitive, and methodological potential of the legend. The paper analyzes the role of national literary heritage in enriching students’ spiritual world, shaping their historical consciousness, and instilling national values. In addition, it explores the scholarly discourse on teaching the legend in schools, its connection with ethnopädagogy, and reviews the perspectives of researchers. The study is based on the views of domestic and foreign scholars regarding the use of folklore in the educational process. Furthermore, methodological approaches, effective teaching methods, and practical ways of implementing the legend in teaching are presented. The article also considers critical perspectives on teaching folklore and proposes methodological solutions to address them. The results of the study conclude that the “Turanbike” legend is an important cultural and pedagogical resource that contributes to national education and personal development within the school curriculum.

Keywords: Turanbike legend, school curriculum, pedagogical significance, ethnopädagogy, national education.

Кіріспе

«Тұранбике» аңызын мектеп бағдарламасына енгізудің педагогикалық мәнін қарастыру – қазіргі білім беру жүйесіндегі өзекті мәселелердің бірі. Себебі ұлттық әдеби мұралар оқушылардың рухани дүниесін байытып, тарихи санасын қалыптастыруға ықпал етеді. Бүгінгі таңда білім беру мазмұнын ұлттық негізде толықтыру, халықтық құндылықтарды жас ұрпақтың бойына сіңіру маңызды бағыттардың біріне айналып отыр. Осы тұрғыдан алғанда, «Тұранбике» аңызының тәрбиелік және танымдық мүмкіндіктерін анықтау зерттеудің негізгі мақсаты болып табылады[1]. Бұл зерттеудің пәні – аңыздың мектеп бағдарламасындағы орны мен оның педагогикалық ықпалы. Тақырып әдебиеттану, педагогика, этнопедагогика және тәрбие теориясымен тығыз байланысты[2]. Аңыз жанрының тәрбиелік мүмкіндіктері туралы Г.Н. Волков, Ә.Қоңыратбаев, С.Қасқабасов, Р. Бердібай сынды ғалымдар өз еңбектерінде құнды пікірлер айтқан. Олар халық ауыз әдебиеті жас ұрпаққа адамгершілік тәрбие берудің маңызды құралы екенін көрсеткен. Зерттеу барысында «Тұранбике» аңызының мазмұны, идеясы, тәрбиелік қызметі және оқытудағы әдістемелік ерекшеліктері талданады. Сонымен қатар, аңызды әдебиет сабақтарында қолданудың тиімді жолдары қарастырылады. Кейбір зерттеушілер ұлттық аңыздарды оқыту оқушының ұлттық дүниетанымын кеңейтеді деп есептейді. Ал енді бір ғалымдар мұндай шығармаларды қазіргі оқу талаптарына сай бейімдеп оқыту қажет екенін алға тартады. Бұл мәселе ғылыми зерттеу үшін де, мектеп тәжірибесі үшін де маңызды. Себебі мектеп бағдарламасына енген әрбір шығарма оқушының тұлғалық дамуына әсер етеді. Сондықтан «Тұранбике» аңызын мектеп бағдарламасына енгізу – ұлттық құндылықтарды дәріптеудің және жас ұрпақ тәрбиесін жетілдірудің тиімді жолдарының бірі деп есептейміз.

«Тұранбике» аңызын мектеп бағдарламасына енгізу мәселесінің ғылыми дискурсы мен педагогикалық маңызы. «Тұранбике» аңызын мектеп бағдарламасына енгізудің педагогикалық мәнін зерттеу – бір күнде пайда болған мәселе емес. Фольклор мен халық

мұрасын оқу-тәрбие жүйесіне енгізу туралы ізденістер ХХ ғасырдан бері жалғасып келеді. Қазақ фольклортану тарихына арналған еңбектерде Қазан төңкерісінен кейін фольклор үлгілері жинақталып, мектеп пен оқу орындары бағдарламаларына арнайы пән, факультатив сабақ ретінде енгізіле бастағаны көрсетіледі. Бұл құбылыс фольклордың жай әдеби ескерткіш емес, тәрбиелік және мәдени құрал ретінде қабылданғанын дәлелдейді[4]. Ал қазіргі кезеңде бұл мәселе жаңаша сипат алды: енді фольклорды тек мазмұндап беру емес, оны тұлғалық даму, ұлттық сана және этномәдени құзыреттілік қалыптастыру тетігі ретінде қарастыру алдыңғы қатарға шықты.

Осы тұрғыдан алғанда, «Тұранбике» аңызы да педагогикалық құбылыс ретінде қарастырылуы керек. Себебі аңыз – халықтың тарихи жады мен рухани тәжірибесін жинақтаған көркем мәтін. Мұндағы «педагогикалық мән» ұғымы тек тәрбиелік ықпалмен шектелмейді. Ол оқушының ұлттық мәдениетке қатынасын қалыптастыру, тарихи қиялын ояту, құндылықтық бағдарын айқындау, көркем мәтінді талдау қабілетін дамыту және тілдік қорын байыту сияқты бірнеше қызметті қамтиды. Фольклорды мектепте оқыту туралы Қазақстандағы зерттеуде 44 оқушы мен 15 мұғалімге жүргізілген сауалнама негізінде ауыз әдебиеті жас ұрпақ тәрбиесіне және оқу процесін жандандыруға ықпал ететіні көрсетілген[4].

Бұл тақырыптағы негізгі терминдердің бірі – этнопедагогика. Ғылыми әдебиетте этнопедагогика халықтың тәрбиелік тәжірибесін, салт-дәстүрін, ауыз әдебиетін және дүниетанымын педагогикалық жүйеде қарастыратын сала ретінде сипатталады. Г.Н. Волков атымен байланысты бұл бағыт кейін әр елдің ұлттық ерекшелігіне сай дамыды. Қазақ этнопедагогикасы жөніндегі зерттеулерде ол педагогика, этнопсихология, этнофилософия, этнология және этномәдениеттану тоғысқан интегративті сала ретінде қарастырылады. Яғни «Тұранбике» аңызы сияқты мәтіндерді мектепке енгізу – тек әдеби таңдау емес, этнопедагогикалық шешім[2].

Алайда бұл дискурста пікірталастар да бар. Ildikó Sándor еңбегінде этнопедагогика, халық педагогикасы және педагогикалық фольклоризм терминдерінің ара-жігі барлық уақытта бірдей айқын емес екені, ұғымдық нақтылықтың қажеттігі айтылған. Бұл пікір біздің тақырып үшін де маңызды. Өйткені «Тұранбике» аңызын мектеп бағдарламасына енгізу тек «ұлттық дүние» болғаны үшін емес, оның нақты қандай оқу нәтижесін беретіні арқылы негізделуі тиіс. Басқаша айтқанда, мұндай мәтінді оқу бағдарламасына енгізуде оның тәрбиелік, танымдық, тілдік және эстетикалық функциялары дәлелденуі қажет.

Ғылыми көзқарастарды жинақтай қарағанда, зерттеушілердің басым бөлігі халық ауыз әдебиетін білім беру мазмұнында пайдалануды қолдайды[7]. Қазақстандық зерттеулер этнопедагогика курсы мен меңгерген білім алушылардың дәстүрлі құндылықтарға қатынасы оң бағытта өзгеретінін көрсетсе, фольклорды мектепте оқыту жөніндегі жұмыстар оның пәндік біліммен қатар дүниетанымдық әсері де бар екенін дәлелдейді. Сондықтан «Тұранбике» аңызы төңірегіндегі зерттеу сұрағы – жеке бір аңыздың тағдырын емес, тұтас ұлттық мазмұнды мектепке енгізу мәселесін қамтитын кең педагогикалық мәселе.

Талдау, методология және зерттеушілер көзқарасы. Бұл тақырыпты талдауда бірнеше әдіснама қатар қолданылады. Біріншісі – мазмұндық талдау. Бұл әдіс арқылы «Тұранбике» аңызындағы образдар жүйесі, құндылықтық мазмұн, тарихи-мәдени астар, тәрбиелік идея анықталады. Екіншісі – салыстырмалы талдау. Мұнда Қазақстандағы фольклорды оқыту тәжірибесі шетелдік зерттеулермен салыстырылады. Үшіншісі – қолданбалы-педагогикалық модельдеу. Яғни аңызды сабақ құрылымына қалай енгізуге болады, қандай әдістер тиімді, қандай оқу нәтижесі күтіледі деген сұрақтарға жауап беріледі. Қазақстандағы фольклорды оқыту туралы зерттеу де дәл осындай практикалық бағытты ұсынады: онда жанрлық жүйе, әдістер, оқушы қызығушылығы және мұғалім тәжірибесі бірге қарастырылған.

Отандық тәжірибеге келсек, қазақ этнопедагогикасының білім беру жүйесіндегі рөлі туралы зерттеулер ұлттық құндылықтарды арнайы оқу курстары арқылы да, пән мазмұнына кіріктіру арқылы да дамытуға болатынын көрсетеді. Мысалы, Toleubekova, Zhumataeva және Sarzhanova жүргізген зерттеуде Павлодар және Астана университеттеріндегі 119 магистрант екі топқа бөлініп, бір топ «Этнопедагогика» элективті курсын оқыған. Зерттеу нәтижесінде эксперименттік топта дәстүрлі құндылықтарды қабылдаудың жоғары деңгейі артып, төмен деңгейі екі есеге жуық азайғаны байқалған. Бұл дерек ұлттық мазмұн арнайы ұйымдастырылған оқыту арқылы білім алушының құндылықтық ұстанымына нақты әсер ететінін көрсетеді[4]. Мұндай қорытындыны мектеп жағдайына да ауыстырып түсіндіруге болады: егер «Тұранбике» аңызы әдістемелік тұрғыдан дұрыс енгізілсе, ол оқушының тек біліміне емес, көзқарасына да ықпал етеді.

Қазақстандағы тағы бір маңызды бағыт – фольклорды мектептің өзінде тікелей оқыту әдістемесі. «Methods of teaching folklore in secondary school» зерттеуінде 44 оқушы мен 15 мұғалімнің пікірі жинақталып, қазақ фольклорын 5–6-сыныптарда оқытудың болашағы мен әдістері қарастырылған[5]. Зерттеу қорытындысы бойынша, ауыз әдебиеті оқушылардың сыни ойлауын, ойды жеткізу қабілетін және көкжиегін дамытады. Бұл жерде фольклор жай тарихи мұра ретінде емес, дағды қалыптастыратын оқу материалы ретінде бағаланған. «Тұранбике» аңызына да осы модельді қолдануға болады: мәтінді мазмұндау, кейіпкерге талдау жасау, тарихи-мәдени түсіндірме беру, рөлдік оқу, эссе және пікірталас арқылы сабақтастыруға болады.

Шетелдік тәжірибе де бұл көзқарасты қолдайды. 2025 жылы Түркияда жүргізілген сапалық зерттеуде 16 мұғалім жергілікті халықтық әңгімелер мен аңыздарды әлеуметтік пәндерде қолданудың оқушыларға мәдени мұраны түсінуге, мәдени сәйкестікті нығайтуға және сабаққа қызығушылықты арттыруға көмектесетінін айтқан[3]. Яғни фольклорды оқу процесіне енгізу тек қазақ мектебіне тән құбылыс емес, ол халықаралық білім беру тәжірибесінде де қолданылып отырған әдіс. Мұнда маңыздысы – мәтінді қазіргі оқушының қабылдауына жақын формада ұсыну.

Бұған қоса, 2025 жылғы зерттеуде қазақ фольклорына негізделген оқу әрекеттері патриоттық құндылықтарды оқытуда тиімді әдіс ретінде сипатталған. Авторлар фольклорлық әрекеттер балалардың мәдени ортаға енуіне, әлеуметтік тиістілік сезімін күшейтуіне және құндылықтарды тәжірибе арқылы ұғынуына мүмкіндік беретінін көрсетеді[6]. Бұл нәтиже «Тұранбике» сияқты аңыздарды мектепке енгізудің өзектілік стратегиясын түсіндіреді: мақсат – өткенді қайталау емес, ұлттық мазмұн арқылы қазіргі тұлғаны тәрбиелеу.

ҚР жағдайында мұндай аңыздарды қолдану аясы кең. Біріншіден, әдебиет сабағында жанр, тақырып, идея, образ жүйесі талданады. Екіншіден, тарих және мәдениеттану аясында аңыздың пайда болу ортасы мен символдық мағынасы түсіндіріледі. Үшіншіден, тәрбие сағаттарында аңыздағы моральдық ұстанымдар мен қазіргі қоғамдағы құндылықтар салыстырылады. Төртіншіден, тіл сабақтарында мазмұндама, эссе, монолог, пікірталас, сахналық қойылым түрінде игеріледі. Сондықтан зерттеушілердің көзқарасын дәлелдейтін негізгі аргумент мынау: фольклорды оқыту нәтижесі мәтіннің өзінен ғана емес, оны қалай және қай пәндік ортада оқытудан туындайды.

Қарсы пікірлер, сындарлы ойлар және теориялық-практикалық талдау. «Тұранбике» аңызын мектеп бағдарламасына енгізу идеясы толықтай даусыз емес. Кейбір ғалымдар мен педагогикалық зерттеулерде фольклорды оқу процесіне енгізудің бірқатар қиындықтары көрсетіледі. Ең алдымен, ұғымдық мәселе бар: Sándor зерттеуінде этнопедагогика, халық педагогикасы және педагогикалық фольклоризм секілді терминдер жиі араласып кететіні, соның салдарынан зерттеу нысаны мен әдістемелік мақсаты бұлдырлануы мүмкін екені айтылады. Бұл сын орынды, себебі «ұлттық мазмұн» деген жалпы ұран нақты педагогикалық нәтижемен дәлелденбесе, пән мазмұны тек символдық сипатта қалып қоюы мүмкін.

Практикалық тұрғыдан тағы бір мәселе – барлық оқушы фольклорлық материалды бірдей қызығушылықпен қабылдай бермейді. Қазақстандағы мектеп зерттеуінде мұғалімдердің пікіріне сүйенгенде, оқушылардың көпшілігі фольклорды қызығушылықпен оқығанымен, ауыз әдебиеті бағдарламасын оқығысы келмейтін балалар да бар екені атап өтілген. Авторлар осыған байланысты оқу бағдарламасын түзету, әдістерді жаңарту және жас ерекшелігіне сай бейімдеу қажет екенін ұсынады. Бұл пікір біздің тақырыпқа тікелей қатысты: «Тұранбике» аңызының өзі маңызды болғанымен, оны оқыту формасы әлсіз болса, мәтіннің педагогикалық әлеуеті толық ашылмайды.

Шетелдік зерттеулерде де ұқсас қиындықтар көрсетіледі. Түркиядағы мұғалімдер зерттеуінде халықтық әңгімелерді қолдану оң әсер бергенімен, материал табу, уақытты жоспарлау, тілдік қиындықтар және технологияны тиімді пайдалану сияқты кедергілер аталған. Бұл жерде мәселе фольклордың маңызында емес, оны оқу процесіне кіріктірудің техникалық және әдістемелік шарттарында екені көрінеді. Демек, «Тұранбике» аңызын бағдарламаға енгізу туралы сөз болғанда, тек мәтінді ұсыну жеткіліксіз; сонымен бірге оқу-әдістемелік құрал, тапсырма түрлері, мұғалімге арналған нұсқаулықтар да дайындалуы қажет.

Басқа бір сын мифтік және аңыздық мәтіндерді оқытудағы сыни ойлау мәселесіне қатысты. Мифологияны оқу бағдарламасында қолдану туралы зерттеулер мұндай мәтіндерді тарихи ақиқат ретінде емес, мәдени-символдық мәтін ретінде оқытуды ұсынады[5]. Егер аңызға тек абсолют шындық ретінде қаралса, ол оқушының сыни талдау қабілетін әлсіретуі мүмкін. Ал егер аңыз көркем сана, тарихи жад және құндылықтық модель ретінде түсіндірілсе, онда ол керісінше талдауға, салыстыруға және рефлексияға жол ашады. Бұл сын «Тұранбике» аңызына да қатысты: оны оқытуда мұғалім аңыздық шарттылық пен мәдени мағынаны айқындап беруі тиіс.

Соңғы сындардың бірі оқушының қазіргі мәдени кеңістігімен байланысты. Кейбір жаңа зерттеулерде фольклорлық мәтіндерге теріс қабылдау оқушының тілдік ортасына, сабақ форматына немесе мәтіннің өзге мәдени қабаттарына байланысты туындайтыны көрсетілген. Яғни мәселе аңыздың әлсіздігінде емес, қазіргі білім алушының қабылдау ерекшелігінде жатыр. Осыдан шығатын қорытынды – мұндай мәтіндерді бұрынғыдай тек айтып беру емес, қазіргі педагогикадағы интерактивті, салыстырмалы, жобалық және визуалды әдістермен ұсыну қажет.

Осы сындарлы пікірлердің бәрі бір ортақ нәтижеге алып келеді: фольклорды бағдарламаға енгізу мүмкін, бірақ ол автоматты түрде тиімді бола салмайды. Нәтиже мәтіннің мазмұнына, оны берудің әдісіне, мұғалім даярлығына және оқушының қабылдауына тәуелді. Сондықтан қарсы көзқарастарды теріске шығару емес, оларды сапалы әдістемелік жетілдірудің негізі ретінде қабылдау дұрыс болады.

Теориялық негіздер, дәлелдер және практикалық тұжырымдар. 2 және 3-бөлімдерде келтірілген пікірлерді салыстыра отырып, менің ойымша, «Тұранбике» аңызын мектеп бағдарламасына енгізудің тиімділігі үш шартқа тәуелді: мәтіндік құндылық, әдістемелік бейімдеу, қазіргі оқушыға сәйкестендіру. Егер осы үш компонент біріктірілсе, аңыз оқушыға тек қосымша оқу материалы емес, тұлғалық дамуға әсер ететін көпқабатты ресурс бола алады. Мұны Қазақстандағы және шетелдегі зерттеулер де жанама түрде қуаттайды: ұлттық құндылықтарды оқу мазмұнына енгізу көзқарасқа әсер етеді; фольклорды мақсатты оқыту сыни ойлау мен сөйлеуді дамытады; ал жергілікті аңыздарды қолдану мәдени сәйкестікті нығайтады.

Маңызды теориялық тіректердің бірі – этнопедагогикалық теория. Оның мәні – халықтың тәрбиелік тәжірибесін қазіргі білім мазмұнымен байланыстыру. Екінші тірек – құндылыққа бағдарланған оқыту теориясы. Бұл жерде мәтіннің негізгі мақсаты ақпарат беру емес, оқушының ішкі ұстанымына әсер ету болып табылады. Үшінші тірек – мәдени-тарихи тәсіл.

Бұл тәсіл аңызды өткен заманның қалдығы емес, қоғамның жадын, символын және дүниетанымын алып жүрген мәтін ретінде түсіндіреді[7]. Осы үш теорияны біріктіргенде «Тұранбике» аңызының мектепке енуі жай әдеби таңдау емес, тәрбиелік стратегия екені анық көрінеді.

Фактілік тұрғыдан да бұл ұстаным негізсіз емес. Қазақстандағы зерттеулер арнайы этнопедагогика курсы құндылықтық қатынасты өзгертетінін, ал фольклорды жүйелі оқыту оқушының қызығушылығы мен танымдық белсенділігін арттыратынын көрсетті. Түркиядағы зерттеу жергілікті аңыздардың мәдени сәйкестікті күшейтетінін айғақтады. Қазақ фольклорына негізделген әрекеттер туралы 2025 жылғы зерттеу фольклордың патриоттық құндылықтарды беруде тиімді екенін атап өтті[8]. Осы нәтижелерді жинақтасақ, «Тұранбике» аңызы сияқты мәтінді мектеп бағдарламасына енгізудің нақты ықтимал әсерлері мынадай деп көрсетуге болады:

1. ұлттық сана мен мәдени жадты нығайту;
2. сөздік қор мен ауызша сөйлеуді дамыту;
3. сыни ойлау мен салыстырмалы талдауды қалыптастыру;
4. құндылықтық тәрбиеге жағдай жасау.

Қорытындылай келе, «Тұранбике» аңызын мектеп бағдарламасына енгізудің педагогикалық мәні жоғары екені байқалады. Бұл аңыз оқушылардың ұлттық дүниетанымын кеңейтуге, рухани-адамгершілік құндылықтарын қалыптастыруға, тарихи санасын тереңдетуге және көркем мәтінді түсіну қабілетін дамытуға ықпал етеді. Фольклор мен этнопедагогикалық мазмұнға қатысты ғылыми зерттеулер де мұндай шығармалардың жас ұрпақ тәрбиесінде маңызды орын алатынын көрсетеді. Сондықтан «Тұранбике» аңызы мектеп бағдарламасында тек әдеби мұра ретінде ғана емес, ұлттық тәрбие құралы ретінде де қарастырылуы тиіс. Сонымен бірге, бұл мәселені біржақты бағалауға болмайды, себебі аңызды оқыту барысында әдістемелік қиындықтар, оқушы қызығушылығының әртүрлілігі және мәтінді қазіргі білім беру талаптарына сай бейімдеу қажеттілігі де ескерілуі керек. Демек, «Тұранбике» аңызының тәрбиелік мүмкіндігі оның мазмұнына ғана емес, оны оқыту тәсілдеріне де тікелей байланысты. Егер шығарма әдебиет, тарих, тіл дамыту және тәрбие сабақтарымен сабақтастырыла оқытылса, оның педагогикалық әсері әлдеқайда күшейеді. Осы тұрғыдан алғанда, «Тұранбике» аңызын мектеп бағдарламасына енгізу – ұлттық құндылықтарды дәріптеудің, мәдени жадты сақтаудың және оқушы тұлғасын жан-жақты дамытудың тиімді жолдарының бірі.

Пайдаланған әдебиеттер:

1. Алшанов Р.А. Тұранбике (Тұрандот) туралы аңыздар: ғылыми-көпшілік очерк. – Алматы: Тұран университеті, 2024.
2. Toleubekova R.K., Zhumataeva E., Sarzhanova G.B. The Role of Ethnopedagogy in Shaping Positive Attitudes towards Traditional Values of Kazakh People among Future Teachers in Kazakhstan. – Koers, 2022.
3. Wiysahnyuy L.F. et al. Folktales as Indigenous Pedagogic Tools for Educating School Children. – 2023.
4. Methods of Teaching Folklore in Secondary School. – 2024.
5. Vlachaki M. Approaching Mythology in the History Curriculum of Primary Education. – 2024.
6. Akhmediyeva K., Autayeva A., Zhakipbekova S., Galiyeva A. The Effect of Activities Based on Kazakh Folklore in Teaching Patriotic Values to Hearing Impaired Elementary School Children. – Journal of Social Studies Education Research, 2025.
7. 2023–2024 оқу жылында Қазақстан Республикасының орта білім беру ұйымдарындағы оқу-тәрбие процесінің ерекшеліктері туралы әдістемелік нұсқау хат. – Ы. Алтынсарин атындағы ҰБА, 2023.
8. Qazaq National School Programme / Abai Program. – Ы. Алтынсарин атындағы Ұлттық білім академиясы, 2025.

ИГРОВЫЕ МЕТОДЫ В ПРОЦЕССЕ ФОРМИРОВАНИЯ ПРОФЕССИОНАЛЬНЫХ КОМПЕТЕНЦИЙ УЧИТЕЛЯ

С.А. Акхожин

преподаватель-лектор, Жетысуский университет им. И. Жансугурова, г. Талдыкорган

С.Н. Маталыцкий

преподаватель-ассистент, Жетысуский университет им. И. Жансугурова, г. Талдыкорган

Аннотация: В данной работе обосновывается и раскрывается значимость народной музыки, традиционное музыкальное искусство казахского народа, развитие национальной музыкальной культуры.

Abstract: This work substantiates and reveals the significance of folk music, the traditional musical art of the Kazakh people, and the development of national musical culture.

Ключевые слова: народное музыкальное искусство, эстетический вкус, казахское музыкальное творчество, профессиональное образование.

Keywords: folk music art, aesthetic taste, Kazakh musical creativity, professional education.

Одной из наиболее актуальных проблем в области образования в современных условиях является повышение его качества. В настоящее время мировое сообщество находится на качественно новом уровне развития.

Образование, в том числе и музыкальное, вошло в число основных государственных приоритетов и сегодня переживает радикальные изменения, призванные превратить его в гибкую, мобильную систему, отвечающую новым требованиям в условиях глобальной конкуренции.

Идеология реформ современного музыкального образования сформирована предельно ясно - открытость, гуманизм и ориентация на личность при высоком качестве подготовки специалистов - исполнителей.

В наше время главным условием профессионального образования является воспитание личности, умеющей нестандартно мыслить, творчески относиться к окружающему миру и своей профессии. Это предполагает изменение как целей, задач, содержания образования, так и методов формирования профессиональной культуры современного человека. Музыкальное наследие традиционной казахской культуры на протяжении десятилетий активно изучается казахстанскими музыковедами, фольклористами в различных направлениях. Целый ряд научных трудов музыкально - этнографического, эстетического, культурологического характера были посвящены изучению казахского народного музыкального творчества, нацелены на сохранение, развитие национальной музыки.

Традиционное музыкальное искусство казахов отличает не только наличие богатейшего и самобытнейшего художественного наследия, но и умение народа закрепить, сохранить, донести и передать последующим поколениям свой духовный опыт и ценности.

Одним из видов традиционной культуры казахов, родившимся в процессе общественного труда и в дальнейшем развившимся как важное средство социального общения, является народное музыкальное искусство. Оно было тесно связано с жизнью и бытом народа. Поэтому на протяжении многих веков народное музыкальное искусство,

наряду с устно - поэтическим творчеством и прикладным искусством, являлось выражением основных форм общественного сознания, в которых наиболее полно и ярко отразились его мысли и чувства, его стремления и представления о прекрасном.

В народном музыкальном искусстве широко проявляются обобщенные черты народного мировоззрения, исторические перемены в судьбе народа, народная мудрость. На протяжении столетий казахским народом создавались эпические сказания, особенностью художественной специфики которых является синкретическое исполнение (речь, пение, игра на инструментах, и т.д.).

Как показывает опыт, на особенности традиционной музыкальной культуры казахов оказали влияние своеобразные социально - экономические, исторические, графические условия жизни и быта народа - кочевой образ жизни, политическая раздробленность, территориальная разобщенность. Средством музыкально - эстетического воспитания подрастающего поколения служили окружающая среда, природа, повседневный труд, материальная культура казахского народа, национальные обычаи и традиции, внутрисемейные отношения, национальные игры и спортивные состязания, предусматривавшие участие детей и молодежи. Эти средства и по сегодняшний день бытуют в практике музыкально - эстетического воспитания подрастающего поколения.

По своей сути, изустная традиция - это движение художественной мысли во времени и пространстве, механизм организации, консервации социокультурной информации. Необходимо также принять во внимание и тот факт, что каждое музыкальное исполнение неповторимо: сочинение может исполняться несколько раз, но каждый раз оно будет звучать по - новому. Интерпретация никогда не бывает одинаковой: каждый раз перед слушателем разворачивается новый акт проявления творческой воли автора, а также творческой фантазии исполнителя.

Как правило, до наших дней дошли шедевры из наследия того или иного акына, красота и художественные достоинства которых притягивали исполнителей. В этом и заключается принципиальное отличие исполнения сочинений акынов от исполнения устной повествовательной традиции.

Приобретение Казахстаном независимости и суверенитета в современных условиях определило значимость в школьном музыкальном воспитании и образовании решения проблем развития национальной музыкальной культуры и ее контактов с мировыми достижениями. Музыка всегда была и остается из приоритетных и действенных видов искусства, обладает огромными воспитательными возможностями. Как показывает история, приобщение к ней всегда определялось и воплощалось в музыкальном воспитании с учетом целей и задач развития общества.

Возникшая в Республике Казахстан, новая общественно - политическая ситуация, определила принципиально новые подходы, ориентиры в развитии общества, которые должны найти свое воплощение в учебно-воспитательном процессе общеобразовательной школы. Возрождение идей народной педагогики, возросшая значимость народной музыки и их взаимосвязь с базовыми педагогическими идеями, прогрессивными традициями и принципами обучения и воспитания, могут оказать большую помощь в осмыслении и решении проблем воспитания, выдвигаемым современным этапом развития нашего государства[4].

Следует отметить, что поиски путем внедрения казахской народной музыки в учебный процесс школы всегда были актуальными. В настоящее время, разрабатываются новые концепции общего образования и воспитания школьников, так как остро стоит проблема развития нравственной и духовной культуры общества, и в связи с этим совершенно очевидна необходимость обращения школы к искусству, как одному из важнейших средств раскрытия нравственного и духовного потенциала личности,

стимулирования его развития. Многовековой опыт и специальные исследования показали, что музыка влияет и на психику, и на физиологию человека, что она может оказывать успокаивающее и возбуждающее воздействие, вызывать положительные и отрицательные эмоции. Именно поэтому при всем разнообразии направлений работы современной школы с большой настойчивостью утверждается тезис о важности музыкального воспитания всех детей без исключения, о его значении для развития общих психических свойств (мышления, воображения, внимания, памяти, воли), для воспитания эмоциональной отзывчивости, душевной чуткости, нравственно- эстетических потребностей, идеалов, то есть для формирования всесторонне развитой, гуманной личности.

К сожалению, до последнего времени место музыки в нравственном воспитании детей, особенно в общеобразовательной школе, было не только неустойчиво, но и испытывало постоянную тенденцию к большему его сужению, к утере самостоятельной ценности.

Значение музыки в школе далеко выходит за пределы искусства, так же, как литература и изобразительное искусство, музыка решительно вторгается во все области воспитания и образования наших школьников, являясь могучим и ничем не заменимым средством формирования их духовного мира.

Говоря о музыке, как о сильнейшем виде искусства, воздействующего на формирование личности, нельзя не сказать о том, что, когда объединяются все виды искусства: литература, музыка, живопись, скульптура, театр - все они могут дать человеку намного больше, чем каждое в отдельности. И если человека лишить общения с искусством, то из его души исчезнут сотни моральных проблем и высохнет море глубоких человеческих чувств.

На наш взгляд, широкие возможности в музыкальном развитии связаны с активным созидательным освоением искусства, в результате которого раскрываются возможности творческой личности. Осознавая роль музыкального воспитания в становлении культурного уровня и духовного развития подрастающего поколения, исследователи ставили перед собой задачу вызвать интерес и любовь, прежде всего к народной национальной музыке, видя в ней ближайший путь, ведущий в мир классических и современных произведений. Музыка не диктует конкретных поступков, но от нее во многом зависит, какие силы она придаст жизни, что высвободит, а что оттеснит вглубь сознания. Искусство есть скорее перенесение нашего поведения на будущее, установка вперед, требование, которое, может быть, никогда не будет осуществлено, но которое заставляет нас стремиться поверх нашей жизни к тому, что лежит за ней. Поэтому искусство — это своеобразная отсроченная реакция, так как между его действием и его исполнением лежит более или менее продолжительный промежуток времени. Нравственный характер этого влияния заключается в том, что музыкальное содержание становится стимулом для изъяснения чувств, своеобразным эмоциональным фоном жизнедеятельности. Музыка превращается в сознании слушателя в предмет духовной деятельности, происходит переход духовного содержания музыкального произведения в объект воспитания.

Итак, воспитательные возможности казахского народного музыкального творчества, как показали наши исследования, являются неоспоримыми. Народная музыка, как и музыка вообще - есть отражение жизни, потому что она рождается самой жизнью, а люди разных национальностей могут стать ближе друг к другу. Все национальные музыкальные культуры в ходе эволюции музыки «проходили» один и тот же путь освоения человеком звукового пространства. Так, например, сольность, как феномен исполнительского творчества, оказала огромное влияние на развитие музыкального языка, жанровой системы, на исполнительскую манеру, в особенности на импровизационность, благодаря которой уникальные шедевры устной музыкальной

культуры казахов дошли до нашего времени.

В произведениях казахского народного музыкального искусства в опосредованном виде передаются педагогические идеи и мысли народа, его богатейший нравственно - эстетический опыт, изучение которого позволяет формировать у студентов глубокое уважение и любовь к Родине, к истокам своего народа, развивать в них нравственные чувства, общечеловеческие ценности и убеждения. Эти представления выражаются в форме определенных суждений и отражают личностное отношение к миру, к себе самому. В этом проявляется связь эстетических взглядов с мировоззрением, нравственными качествами, формирование которых также происходит при общении студентов с народным музыкальным искусством, эмоциональное воздействие которого усиливается красотой мысли и чувств, содержащихся в нем.

Образные средства казахского народного музыкального искусства помогают зримо восстановить давние исторические события, пробуждают чувства огромного эмоционального накала, такие как сочувствие, сострадание к трагедии народа, тем самым способствуя сближению людей, вырабатывая чувства гуманизма и коллективизма.

Проникаясь художественными средствами музыки на занятиях, студенты начинают глубже и всесторонне понимать образцы национальной музыки других народов. Формирование эстетической культуры будущих учителей средствами народного музыкального искусства прививает и развивает интерес и потребность в прекрасном, что является важным условием понимания и восприятия всей мировой культуры. Восторгаясь совершенными произведениями народной музыки, познавая мир посредством прекрасного, студенты испытывают чувства эстетического наслаждения, эстетической радости.

Вместе с тем, эмоциональная насыщенность казахского народного музыкального искусства не исключает его богатейших познавательных возможностей, которые влияют на совершенствование интеллектуальной деятельности студентов. Так, в процессе освоения казахской народной музыки, они имеют возможность осознать такое сложное понятие, как «национальный стиль», который в казахской музыкальной культуре определяется мироощущением народных композиторов и связан с претворением индивидуальных стилистических тенденций в общие закономерности социально - исторического процесса; осмыслить значение выразительных средств народной музыки - ритма, лада, тембра, динамики, метра, среди которых главным является мелодия, передающая интонации человеческой речи, скорбь, жалобы, стон и призывы; выявить специфику жанровой системы казахской музыки; анализировать народное музыкальное искусство с точки зрения воплощения эстетических категорий прекрасного и возвышенного, трагического и комического.

В тесной взаимосвязи с эстетическими вкусами студентов находятся их эстетические идеалы, которые также могут быть сформированы средствами народного музыкального искусства, в центре внимания которого всегда стоит человек. Изображая его, народные композиторы выявляют эстетическую ценность, раскрывают богатство внутреннего мира, красоту духовного и физического облика.

Освоение казахского музыкального искусства способствует формированию научно - теоретической (эстетические взгляды, суждения, идеалы и т.д.), эмоционально - психологической (эстетические чувства, эмоции, восприятие, переживания, потребности и т.д.) и практически - деятельностной подсистем эстетической культуры студентов.

Задачей преподавателей вузов специальности «музыкальное образование» является осмысление эстетических ценностей, содержащихся в казахском народном музыкальном искусстве, сохранение лучших традиций. Необходимо дать студентам почувствовать свою

сопричастность к духовным ценностям, которые они, в свою очередь, должны сделать достоянием подрастающего поколения. Идеология реформ современного музыкального образования сформирована предельно ясно — открытость, гуманизм и ориентация на личность при высоком качестве подготовки специалистов — исполнителей.

В настоящее время главным условием профессионального образования является воспитание личности, умеющей нестандартно мыслить, творчески относиться к окружающему миру и своей профессии. Это предполагает изменение как целей, задач, содержания образования, так и методов формирования профессиональной культуры современного человека.

Музыкальное наследие традиционной казахской культуры на протяжении десятилетий активно изучается казахстанскими музыковедами, фольклористами в различных направлениях. Целый ряд научных трудов музыкально - этнографического, эстетического, культурологического характера были посвящены изучению казахского народного музыкального творчества, нацелены на сохранение, развитие национальной музыки.

Традиционное музыкальное искусство казахов отличает не только наличие богатейшего и самобытнейшего художественного наследия, но и умение народа закрепить, сохранить, донести и передать последующим поколениям свой духовный опыт и ценности.

Одним из видов традиционной культуры казахов, родившимся в процессе общественного труда и в дальнейшем развившимся как важное средство социального общения, является народное музыкальное искусство. Оно было тесно связано с жизнью и бытом народа. Поэтому на протяжении многих веков народное музыкальное искусство, наряду с устно - поэтическим творчеством и прикладным искусством, являлось выражением основных форм общественного сознания, в которых наиболее полно и ярко отразились его мысли и чувства, его стремления, представления о прекрасном.

В народном музыкальном искусстве широко проявляются обобщенные черты народного мировоззрения, исторические перемены в судьбе народа, народная мудрость. На протяжении столетий казахским народом создавались эпические сказания, особенностью художественной специфики которых является синкретическое исполнение (речь, пение, игра на инструментах, и т.д.)[3].

Как показывает опыт, на особенности традиционной музыкальной культуры казахов оказали влияние своеобразные социально - экономические, исторические, графические условия жизни и быта народа - кочевой образ жизни, политическая раздробленность, территориальная разобщенность. Средством музыкально - эстетического воспитания подрастающего поколения служили окружающая среда, природа, повседневный труд, материальная культура казахского народа, национальные обычаи и традиции, внутрисемейные отношения, национальные игры и спортивные состязания, предусматривавшие участие детей и молодежи. Эти средства и по сегодняшний день бытуют в практике музыкально - эстетического воспитания подрастающего поколения.

Обобщая вышеизложенное, отметим, что в условиях постоянно развивающейся современной системы школьного образования в Казахстане, появляются новые формы организации, открываются широкие возможности для дальнейших поисков в этой области. Казахская народная музыка должна жить полноценной, направленной в будущее жизнью, как это и происходит в современных восточных обществах. Добиться всего этого можно лишь в процессе приобщения студентов к народному музыкальному искусству, который должен носить системный характер, закрепленный в специальных предметах, в разнообразных видах учебной и внеучебной деятельности.

ЛИТЕРАТУРА

1. Балтабаев М. Х. Педагогическая культурология. - Алматы, 2000.
2. Абдуллин Э.Б., Николаева Е.В. Музыкально-педагогические технологии учителя музыки-М., Прометей, 2005.
3. Кузембаева С.А., Егинбаева Т.Ж. Лекции по истории казахской музыки. Алматы, 2005.
4. Джердемалиева Р.Р. Новые тенденции музыкального образования в Республике Казахстан - Алматы, 201Е
5. Дюсембинова Р.К. Становление и развитие музыкального образования в Республике Казахстан.- Алматы, 2012.

An Educational Psychology-Informed EP–MAT Framework for Implementing Multimodal Art-Based Psychological Support in Educational Settings

Han Xiaofei

Ph.D. Candidate; Lecturer / Student Affairs Counselor: Al-Farabi Kazakh National University, Almaty, Kazakhstan; Shandong Tourism Vocational College, Jinan, China

Bai Yu

Department of Foreign Languages: Hengshui University, Hengshui, China

Mukasheva Anar B.

Ph.D., Senior Lecturer: Al-Farabi Kazakh National University, Faculty of Philosophy and Political Science, Department of Pedagogy and Psychology, Almaty, Kazakhstan

Abstract

Educational institutions are increasingly expected to support students' psychological development, emotional regulation, and social adjustment. However, many existing support practices remain heavily dependent on verbal communication, individual counselling, or isolated wellbeing activities, which may not fully address students' embodied, emotional, symbolic, and relational experiences. Multimodal art-based approaches offer a promising route for psychological support, yet their use in educational settings often lacks a clear implementation framework that specifies mechanisms, practice pathways, ethical boundaries, and institutional responsibilities.

This paper proposes the EP–MAT framework, an Educational Psychology-Informed model for implementing Multimodal Art-Based Psychological Support in educational settings, with particular relevance to post-secondary and vocational education contexts. The framework organises multimodal art-based support around four interacting mechanisms: emotional activation, cognitive integration, social empathy and connection, and intelligent empowerment. It further translates these mechanisms into three stepped practice pathways: curriculum-embedded support, structured group workshops, and indicated small-group or individual support linked to counselling, safeguarding, and referral procedures.

The paper argues that multimodal art-based psychological support should not be understood as a loose collection of creative activities, nor should all art-based activities be labelled as therapy. Instead, EP–MAT provides a mechanism-led, ethically governed, and education-compatible framework for integrating creative, embodied, symbolic, and relational processes into student support systems. By clarifying how multimodal art-based methods can be responsibly implemented within real educational constraints, the framework offers educators, counsellors, student affairs staff, and mental health professionals a shared language for supporting students' emotional regulation, meaning-making, relational connection, and learning adaptation.

Keywords: Educational Psychology; EP–MAT Framework; Multimodal Art-Based Psychological Support; Student Mental Health Education; Emotional Regulation; Vocational Education; Ethical Governance

1. Introduction

1.1 Students' psychological support needs in educational settings

For many educational institutions, supporting students' psychological development is no longer a peripheral task added after teaching; it has become part of the conditions that make learning possible. Across many countries, schooling is shaped by high-stakes assessment, accelerated curricula, and rapid social and technological change. In this context, students' psychological difficulties often emerge earlier, appear in more diverse forms, and remain hidden behind apparently "normal" academic routines. Emotional dysregulation, school burnout, withdrawal from peers, and persistent demotivation are now common concerns reported by educators and counsellors.

However, many educational support practices still depend heavily on verbal disclosure, rational reflection, and individual counselling formats. Talk-based counselling and cognitive-behavioural approaches remain important, but they may be insufficient when students struggle to verbalise pre-reflective, bodily, affective, or relational forms of distress. In addition, these approaches do not always translate easily into the group-based and time-tabled realities of classrooms and campuses (Wang, 2023; Chen, 2024). This creates a practical tension in educational psychology: while schools and colleges are increasingly required to support students' emotional and psychological development, they often lack structured, scalable, and developmentally responsive methods for doing so.

1.2 Rationale for multimodal art-based psychological support

Multimodal art-based approaches offer a different entry point for psychological support in education. Rather than requiring students to explain feelings that they may not yet be able to name, multimodal art-based practice engages sensory, symbolic, embodied, narrative, and relational modes of expression. Media such as drawing, music, movement, drama, and craft can help students externalise internal states, regulate emotion through action and rhythm, and create a safe distance for reflection and meaning-making (Bao, 2021; Ye, 2024; De Witte et al., 2021). In educational settings, this is important not only for reducing distress, but also for supporting developmental aims such as self-understanding, agency, connection, and resilience. It also resonates with a broader shift in mental health education from deficit-oriented remediation toward preventative, strengths-based, and developmental support.

From an educational psychology perspective, art-making should not be treated as a soft add-on or a decorative activity. When designed intentionally, multimodal creation can function as a structured learning and psychological support process: arousal is regulated, attention is re-oriented, emotion is externalised, meaning is constructed, and social connection is rehearsed through group interaction. Mechanisms-of-change research in arts therapies also emphasises the combined roles of embodiment, symbolism, and relational interaction in supporting therapeutic and developmental change (De Witte et al., 2021).

Nevertheless, the educational use of multimodal art-based methods still faces an implementation gap. In practice, creative activities are sometimes introduced into schools and colleges without clear distinctions among arts education, wellbeing activities, and therapeutic support. This may lead to conceptual ambiguity, role confusion, and ethical risks. Therefore, what is needed is not simply more creative activity, but a framework that can clarify why multimodal art-based support works, how it can be implemented at different levels of educational provision, and how professional boundaries and safeguarding responsibilities can be maintained.

1.3 Aim and contribution of this paper

Against this background, the present paper develops an Educational Psychology-Informed EP-MAT Framework for implementing multimodal art-based psychological support in educational settings. The purpose of the framework is not to label all art-based activities as therapy, nor to replace professional counselling or clinical intervention. Rather, EP-MAT aims to provide a

structured model for translating multimodal art-based methods into educationally appropriate, ethically governed, and practically feasible forms of psychological support.

Specifically, the paper makes three contributions. First, it conceptualises multimodal art-based psychological support as a mechanism-led process rather than a collection of creative activities. Second, it organises this process around four interacting mechanisms: emotional activation, cognitive integration, social empathy and connection, and intelligent empowerment. Third, it translates these mechanisms into stepped practice pathways for educational settings, including curriculum-embedded activities, structured group workshops, and indicated small-group or individual support linked to safeguarding and referral procedures.

By bringing together educational psychology, multimodal art-based practice, and responsible use of enabling technologies, this paper offers a framework for supporting students' emotional regulation, psychological development, social connection, and learning adaptation. It argues that multimodal art-based psychological support should be understood not as an extracurricular enrichment activity, but as a structured, ethically bounded, and education-compatible pathway for strengthening students' mental health education and developmental support. While the framework is relevant to educational settings more broadly, this paper places particular emphasis on post-secondary and vocational education contexts, where students face intensified challenges related to academic pressure, career transition, internship experience, social adjustment, and emerging adult identity.

2. Conceptual Basis: From Multimodal Art Practice to Educationally Governed Psychological Support

2.1 Defining multimodal art-based psychological support

In educational settings, "multimodal" should not be understood as the simple use of several art materials or the mechanical combination of different creative activities. Its value lies in the deliberate integration of multiple channels of experience—sensory, embodied, symbolic, narrative, and relational—so that students can access, organise, and communicate psychological states that may not be easily expressed through ordinary verbal communication. In this sense, multimodal art-based psychological support is not "art for decoration" or "activity for relaxation" alone; it is a structured process through which emotional experience can be externalised, regulated, reflected on, and connected to personal meaning.

Different artistic media provide different psychological affordances. Drawing, painting, collage, and clay work may help students form symbols, create psychological distance, and make inner experiences visible. Music and rhythm may support arousal regulation, emotional pacing, and group synchronisation. Movement and drama may help students explore bodily tension, avoidance, interpersonal patterns, and alternative ways of responding. The issue is not how many media are used, but whether each medium has a clear psychological purpose and fits students' readiness, needs, and support goals. (De Witte et al., 2021; Ye, 2024).

The multimodal nature of this approach also includes embodied and narrative processes. In schools and colleges, students' distress is often expressed through fatigue, agitation, silence, withdrawal, bodily discomfort, or loss of motivation rather than through clear verbal accounts. Multimodal art-based work allows such experiences to be approached gently through colour, image, rhythm, posture, gesture, metaphor, and story. A student may begin with a line, a sound, a body movement, or a visual symbol, and then gradually move toward naming, sequencing, and making sense of the experience. This movement from sensation to symbol and from symbol to meaning is central to the psychological value of multimodal work.

Because education is inherently social, multimodal practice in educational settings also has a relational dimension. Group-based artistic processes such as shared rhythm, collaborative drawing, role exploration, and structured witnessing can support empathy, belonging, and social connection. However, this relational potential requires clear boundaries. Students should not be

pressured to disclose personal trauma or to interpret each other's work. Instead, multimodal group work should create a safe structure in which students can participate at different levels, speak through symbols when direct speech is difficult, and experience connection without forced exposure (Li, 2024; Zhao, 2022).

From an educational psychology perspective, the defining feature of multimodal art-based psychological support is mechanism-driven integration. Media are not selected because they are attractive, fashionable, or entertaining, but because they can support attention, motivation, self-regulation, emotional expression, social adjustment, and learning participation. In this way, multimodal art-based practice becomes a psychologically informed pathway for student development rather than a loose collection of creative activities (Lu, 2012).

2.2 Clarifying boundaries: arts education, wellbeing activities, and therapeutic support

A major conceptual risk in educational settings is the overuse of the term "therapy." When every creative activity is described as therapeutic, the field loses professional clarity and ethical credibility. This is particularly important for the present paper, because EP-MAT is concerned with implementing multimodal art-based psychological support in schools and colleges, where teachers, counsellors, student affairs staff, psychologists, and art therapists may all be involved at different levels. Therefore, a clear distinction must be made among arts education, art-based wellbeing activities, and therapeutic support.

Arts education primarily serves educational and cultural goals. It develops artistic knowledge, skills, aesthetic understanding, creativity, and cultural participation. Although arts education may have positive emotional effects, emotional change is not its central organising purpose. The educator's responsibility is primarily pedagogical: teaching, inclusion, classroom management, and learning assessment.

Art-based wellbeing activities occupy an intermediate position. Examples may include reflective drawing, stress-reduction crafts, guided music listening, image-based journaling, or simple creative check-ins. These activities may support self-awareness, emotional expression, stress relief, and peer connection, especially when embedded in classroom or campus life. However, they do not necessarily involve clinical assessment, therapeutic formulation, or treatment of high-risk psychological conditions. They should therefore be framed honestly as supportive, preventative, and developmental rather than as clinical therapy.

Therapeutic support, by contrast, requires a stronger professional frame. In educational settings, art therapy or therapeutic multimodal art work involves therapeutic intent, ethical responsibility, attention to risk, confidentiality boundaries, safeguarding procedures, and referral pathways. Art-making is not used merely to make students feel relaxed; it becomes the central medium through which emotional material is contained, explored, and integrated. Even when the goal is developmental rather than clinical, work with significant distress or risk requires professional judgement and institutional safeguards.

This boundary clarification is essential for EP-MAT. The framework does not aim to turn teachers into therapists, nor does it treat every classroom art activity as therapy. Instead, it proposes a stepped logic: some activities can be curriculum-embedded and universal; some can be delivered as structured group support; and some require indicated small-group or individual provision with professional supervision, safeguarding, and referral procedures. Without such distinctions, multimodal art-based practice may become ethically fragile: it may invite disclosure without containment, create emotional exposure without follow-up, or blur responsibilities among staff.

2.3 Educational psychology as the bridge from creative expression to implementable support

Educational psychology provides the bridge that allows multimodal art-based practice to move from creative expression to implementable psychological support. Its contribution is not

simply to justify the emotional value of art, but to organise art-based processes according to students' developmental needs, learning contexts, motivation, self-regulation, social adjustment, and institutional realities. Without this educational psychology lens, multimodal art practice may remain either a set of attractive activities or a clinically oriented method that is difficult to translate into ordinary classrooms and campuses.

First, educational psychology helps specify mechanisms. In the EP–MAT framework, multimodal art-based support is not defined by the presence of art materials, but by the psychological processes it activates. These include emotional activation, cognitive integration, social empathy and connection, and intelligent empowerment. Each mechanism connects artistic experience with educationally meaningful outcomes: emotion becomes more recognisable and regulated; experience becomes more organised and meaningful; peer interaction becomes more empathic and bounded; and reflection becomes more continuous through appropriate support tools.

Second, educational psychology supports developmental and pedagogical appropriateness. Students at different ages, educational stages, and cultural backgrounds may differ in emotional vocabulary, symbolic capacity, bodily comfort, group participation, and willingness to disclose. A practice that is useful for one group may be intrusive, childish, or unsafe for another. Therefore, multimodal art-based support must be scaffolded: tasks should offer choice, avoid forced disclosure, match emotional readiness, and connect psychological support with learning participation.

Third, educational psychology makes implementation realistic. Schools and colleges are not clinical clinics. They operate through timetables, classrooms, group management, administrative responsibilities, limited privacy, and safeguarding obligations. For this reason, effective implementation depends less on whether an activity is creative and more on whether roles, pathways, and responsibilities are clearly designed. Art therapists may hold the therapeutic frame and manage clinical risk; educators may protect the learning environment and support inclusive participation; counsellors, psychologists, and student support staff may coordinate triage, follow-up, and referral. Interdisciplinary collaboration must therefore be operational rather than symbolic.

Finally, when digital tools are used, educational psychology also helps prevent technological overreach. Creative prompts, reflective logs, or simple emotional check-ins may support engagement and continuity, but they should not become tools for surveillance, diagnosis, or automated labelling. In EP–MAT, technology is positioned as a modest support for reflection and documentation, while human judgement, ethical responsibility, and safeguarding decisions remain with professionals.

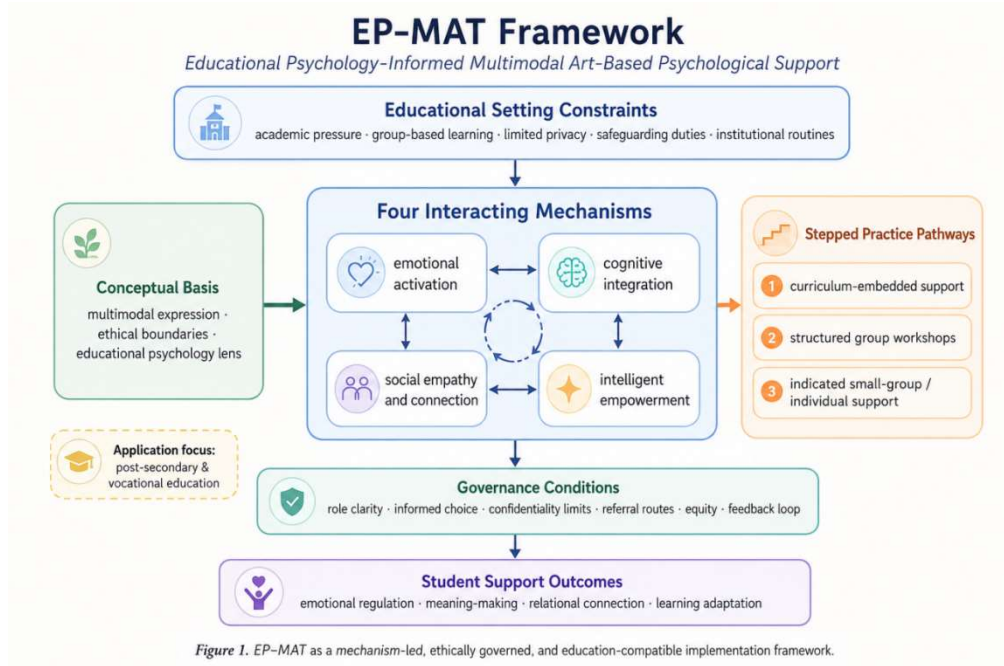
In sum, the conceptual basis of EP–MAT lies in the integration of multimodal artistic processes with educational psychology. Multimodal art-based support becomes meaningful only when it is mechanism-driven, developmentally appropriate, ethically bounded, and institutionally feasible. This is the foundation on which the EP–MAT framework is built.

3. The EP–MAT Framework: Mechanisms and Implementation Logic

3.1 Framework logic: from art-based activity to mechanism-led support

EP–MAT is proposed as an Educational Psychology-Informed framework for implementing multimodal art-based psychological support in educational settings. Its contribution is not to introduce another art therapy technique, nor to suggest that more art forms automatically produce better outcomes. Rather, EP–MAT reorganises existing insights from multimodal art-based practice, arts therapy mechanisms, and educational psychology into a framework that can be used by schools and colleges to design support that is developmentally appropriate, ethically bounded, and practically feasible.

The framework responds to a specific implementation gap. In educational practice, art-based activities are often used either as general creative enrichment or as isolated wellbeing activities. At the same time, clinical art therapy models may be difficult to translate directly into classrooms and campuses because educational settings operate through timetables, group structures, safeguarding responsibilities, and limited privacy. EP-MAT addresses this gap by shifting the focus from “which art form should be used” to “which psychological mechanism should be activated, for whom, under what conditions, and with what safeguards.” Figure 1. The EP-MAT Framework



In this framework, multimodal art-based psychological support is organised around four interacting mechanisms: emotional activation, cognitive integration, social empathy and connection, and intelligent empowerment. These mechanisms are not separate stages in a fixed sequence. Instead, they interact dynamically across sessions, group processes, and longer developmental pathways. Together, they explain how creative, embodied, symbolic, and relational processes can be translated into educationally meaningful psychological support (De Witte et al., 2021; Lu, 2012).

3.2 Four core mechanisms of EP-MAT

Emotional activation refers to the safe mobilisation of affect. Many students do not enter support settings with clear verbal narratives of distress. Their difficulties may appear as avoidance, numbness, irritability, fatigue, somatic tension, or loss of motivation. EP-MAT uses sensory and creative engagement—such as colour, texture, rhythm, movement, image, and spatial arrangement—to create a tolerable entry point for emotional awareness. The aim is not to intensify emotion, but to help students notice, locate, and regulate affective states through graded choice, pacing, and grounding.

Cognitive integration refers to the process through which emotional experience becomes organised and meaningful. Once affect becomes more approachable, art-making can function as an external workspace. Images, symbols, metaphors, scenes, and compositions allow students to examine inner experiences with psychological distance. This process supports reflection, perspective-taking, attributional change, and self-regulated learning. In educational terms, students are not only invited to ask “What do I feel?” but also “How do I understand this experience?” and “What can I do next?”

Social empathy and connection emphasises the relational nature of educational support. Students’ emotional difficulties are often maintained or intensified by isolation, peer conflict, lack

of belonging, or weak help-seeking pathways. EP–MAT treats group processes as both psychological and educational resources. Shared rhythm, collaborative creation, role exploration, and structured witnessing can support empathy, mutual recognition, and relational safety. At the same time, this mechanism requires boundaries: participation should be voluntary, interpretation should not be imposed, and sharing should remain carefully contained.

Intelligent empowerment refers to the cautious and human-governed use of supportive tools that strengthen reflection, access, and continuity. In EP–MAT, “intelligent” does not mean automated diagnosis, emotional surveillance, or the replacement of professional judgement. It refers to modest tools such as creative prompts, structured reflection logs, brief emotional check-ins, or low-burden feedback forms that help students begin, record, and review their experiences. The principle is clear: technology may support reflection and documentation, but responsibility for interpretation, risk judgement, and safeguarding must remain with human professionals.

Together, these four mechanisms form the change logic of EP–MAT. Emotional activation makes experience accessible; cognitive integration makes experience understandable; social empathy and connection make experience shareable within safe relationships; intelligent empowerment helps sustain reflection and continuity. This logic allows multimodal art-based psychological support to move beyond one-off activities and become a structured educational support process.

3.3 Implementation logic: nested cycles across educational systems

EP–MAT is designed for educational systems rather than isolated therapeutic encounters. For this reason, the framework operates through nested cycles at three levels: the session level, the programme or course level, and the developmental pathway level.

At the **session level**, EP–MAT follows a basic sequence of orientation, creative engagement, reflection, relational consolidation, and closure. A session begins with safety cues, choice, and grounding; moves into multimodal making; then supports reflection through naming, linking, and meaning-making. If sharing is included, it should be optional and structured. Closure is essential because students must return to ordinary learning environments after the activity. This micro-cycle protects psychological safety in settings where time is limited and transitions are frequent.

At the **programme or course level**, EP–MAT follows a spiral logic. Early sessions focus on safety, access, and emotional regulation. Middle sessions deepen symbolisation, reflection, and narrative organisation. Later sessions strengthen social participation, coping strategies, and future-oriented action. This meso-level design reflects educational psychology principles of scaffolding and gradual release: support is stronger at the beginning and becomes more student-led as confidence and competence increase.

At the **developmental pathway level**, EP–MAT can be adapted to different student groups and educational stages. At the developmental pathway level, EP–MAT can be adapted to different stages of post-secondary student experience. First-year students may need support for transition, belonging, and learning adjustment; students in internship or practicum periods may need support for stress, role uncertainty, and professional identity; students approaching graduation may benefit from reflective work around career choice, autonomy, and future planning. College and university students may benefit more from reflective work related to stress, transition, autonomy, relationship, and life meaning. This macro-level logic prevents EP–MAT from becoming a one-off intervention and allows institutions to build coherent, staged support across the student experience.

In summary, EP–MAT differs from general creative activity in three ways. It is mechanism-led rather than technique-led; it is education-compatible rather than clinic-dependent; and it is ethically governed rather than informally therapeutic. Its value lies not in claiming that art alone can solve students’ psychological difficulties, but in providing a structured framework through

which multimodal art-based methods can be responsibly implemented as psychological support in real educational settings.

4. Practice Pathways in Educational Settings: Application to Post-Secondary and Vocational Contexts

4.1 A stepped implementation logic

EP–MAT is designed to be adaptable across educational settings, but its implementation must be adjusted to the developmental stage, institutional structure, and support resources of each context. In this paper, the practice pathways are discussed with particular attention to post-secondary and vocational education contexts. In these settings, students' psychological support needs are often connected with academic pressure, career uncertainty, internship preparation, interpersonal adjustment, learning motivation, and the transition into adult roles. Therefore, multimodal art-based psychological support should not be delivered as a single isolated activity. It requires a stepped implementation logic that locates different forms of support within the ordinary structure of educational provision.

The EP–MAT framework proposes three complementary pathways: curriculum-embedded support, structured group workshops, and indicated small-group or individual support. These pathways differ in intensity, professional responsibility, and risk level. Curriculum-embedded support is universal and preventative; structured workshops are selective and skills-oriented; indicated support is more targeted and requires closer connection with counselling, risk management, and referral procedures. Across all three pathways, the same principle applies: creative processes should support emotional regulation, meaning-making, relational connection, and reflective continuity, while maintaining clear boundaries between education, psychological support, and therapy.

4.2 Curriculum-embedded support: low-threshold and universal

The curriculum-embedded pathway is designed for whole-class or whole-cohort access. Its purpose is not to provide therapy, but to normalise emotional awareness and self-regulation as part of learning. In post-secondary and vocational education, this pathway may be embedded into first-year transition courses, mental health education, career development modules, professional development courses, or class-based student affairs activities. Its value lies in reaching students before distress becomes severe and in making psychological support less stigmatising.

Activities in this pathway should be brief, low-risk, and non-intrusive. Examples include a colour-based emotional check-in before a demanding lesson, a short image-based reflection on learning stress, a rhythm or breathing exercise to support attention, or a metaphor task such as drawing the “weather” of one's current learning state. These activities should not require personal disclosure. Their function is to help students notice emotional states, return attention to learning, and identify small coping actions.

Implementation should remain simple and realistic. Teachers, counsellors, or trained student support staff may facilitate these activities if the frame is clearly stated: this is educational psychological support, not clinical treatment. The emphasis should be on choice, opt-in sharing, classroom safety, and clear support routes for students who need further help. Evaluation at this level should focus on feasibility, participation, perceived usefulness, emotional awareness, help-seeking confidence, and learning engagement rather than clinical symptom change.

4.3 Structured group workshops: selective and skills-oriented

The workshop pathway is suitable for students who show elevated stress, weak belonging, persistent demotivation, interpersonal tension, or difficulties in emotional regulation, but who do not necessarily require individual counselling or clinical intervention. Compared with curriculum-embedded activities, workshops are more structured, more continuous, and more focused on skill development. They provide a middle level of support between universal classroom activities and more intensive individual provision.

A typical EP–MAT workshop may run for four to six sessions. Early sessions should focus on safety, choice, and emotional stabilisation; middle sessions may use image, metaphor, movement, or narrative tasks to support reflection and meaning-making; later sessions can strengthen communication, peer empathy, coping plans, and future-oriented action. For university and vocational students, workshop themes may include academic pressure, internship anxiety, career uncertainty, interpersonal conflict, self-image, and adjustment to adult responsibilities.

Because workshops involve group processes, ethical and pedagogical boundaries are essential. Participation should be voluntary or clearly explained; sharing should remain optional; peer interpretation of artwork should be avoided; and group agreements should include respect, non-judgement, and confidentiality limits. Facilitators should monitor the emotional atmosphere of the group and respond when distress emerges. Simple pre- and post-session check-ins can be used to understand stress level, regulation confidence, belonging, and perceived support. If a student shows significant distress or risk, the workshop should connect smoothly with the institution’s counselling and referral system.

4.4 Indicated support: small-group or individual provision

The indicated pathway is designed for students whose distress is more persistent, complex, or functionally impairing. In post-secondary and vocational education, this may include students who experience severe academic avoidance, repeated emotional crises, interpersonal withdrawal, adjustment difficulties, depressive symptoms, self-harm risk, or other concerns requiring closer professional attention. At this level, EP–MAT should not be treated as a general classroom activity. It requires professional judgement, documentation, risk awareness, and referral procedures.

Indicated support may take the form of individual sessions or carefully selected small groups. The work should begin with clear goals, such as emotional stabilisation, self-understanding, coping with transition, rebuilding learning motivation, or strengthening relational safety. The choice of artistic media should be based on students’ tolerance, readiness, and support needs. Sessions should include grounding, creative expression, guided reflection, and closure, so that students can return safely to their learning and living environments.

This pathway requires collaboration among counsellors, psychologists, student affairs staff, academic advisors, and, where appropriate, external mental health services. EP–MAT does not replace counselling or clinical care; it provides an additional expressive and reflective route within a wider support plan. Any optional digital support should be student-controlled, minimal, and limited to reflection or continuity of care.

4.5 A brief classroom-based example

A brief example can illustrate how EP–MAT may be used within an ordinary educational setting. For example, during an assessment week or internship preparation period in a vocational college or university classroom, a teacher or trained facilitator may begin a 45-minute session with a short grounding exercise and explain that the activity is a learning-readiness practice, not therapy. Students are invited to draw a simple “inner weather” image that represents their current learning state, such as fog, storm, wind, or sunshine. They then add one support element, such as an umbrella, path, lighthouse, tool, peer, or future goal.

After the drawing, students respond to two written prompts: “What does my current state need?” and “What small action can help me return to learning or preparation today?” Sharing is optional. Students may share only the support element or one coping action, rather than personal details. The activity closes with a brief grounding exercise and a reminder of available support routes. In this example, the goal is not artistic quality or emotional disclosure, but emotional awareness, self-regulation, help-seeking orientation, and return to learning.

5. Implementation, Ethics, and Governance

5.1 Ethical boundaries and risk governance

The implementation of EP–MAT in educational settings is not only a matter of designing engaging activities. It requires clear ethical boundaries and risk governance. This is particularly important in campus-based settings, where students are usually legally adult learners, but still participate within institutional relationships shaped by teacher authority, peer visibility, assessment pressure, and student management structures. For this reason, participation in multimodal art-based psychological support should be based on informed choice rather than implicit obligation.

Students should understand the purpose of the activity, the level of participation expected, the optional nature of sharing, and the available support routes if distress emerges. Consent should not be reduced to a form signed at the beginning of a programme. It should be embedded in repeated micro-choices: choosing materials, deciding whether to speak, choosing whether to show artwork, and having the right to pause or withdraw from an activity. This protects students from emotional exposure disguised as participation.

Confidentiality also needs to be stated honestly. In ordinary educational settings, facilitators cannot promise absolute clinical confidentiality. Instead, EP–MAT should use clear and realistic boundaries: personal sharing should be respected, peer artwork should not be photographed or circulated, and facilitators must act when safety concerns arise. This is especially important in group-based work, where students may unintentionally disclose sensitive emotional or relational material.

Risk governance should be practical rather than symbolic. Every EP–MAT programme should clarify who is responsible when distress appears, how concerns are documented, which cases require referral, and how students are followed up after the activity. The purpose is not to make art-based support overly clinical, but to prevent a common educational risk: inviting emotional expression without sufficient containment, referral, or responsibility.

5.2 Equity, access, and cultural responsiveness

Responsible implementation also requires attention to equity and access. Multimodal art-based psychological support should not assume that all students are equally comfortable with artistic expression, emotional sharing, body-based activity, or group participation. Students may differ in cultural background, personality, gendered expectations, disability status, trauma history, emotional vocabulary, and previous experiences with psychological support. If these differences are ignored, an activity designed to be supportive may unintentionally create pressure, embarrassment, exclusion, or resistance.

EP–MAT therefore treats choice as a design principle. Students should be offered multiple ways to participate, such as silent making, private writing, symbolic expression, pair discussion, or whole-group sharing. No student should be required to produce “beautiful” artwork, disclose personal experience, or explain the psychological meaning of an image. The facilitator’s role is not to interpret students from the outside, but to help students author their own meanings when they are ready.

Cultural responsiveness is equally important. Colours, symbols, metaphors, body movements, and forms of emotional expression are culturally situated. EP–MAT should avoid fixed interpretations of artistic products and should not treat one expressive style as psychologically healthier than another. In post-secondary and vocational education, students may come from different regional, class, ethnic, linguistic, or professional backgrounds. A culturally responsive approach allows students to use familiar materials, metaphors, and life experiences while maintaining respect for difference within the group.

Where digital elements are introduced, equity requires a non-digital alternative and transparent control over what is recorded or shared. Participation should never create new forms of exposure, comparison, or disadvantage.

5.3 Institutional conditions for sustainable implementation

For EP–MAT to become sustainable, it must be supported by realistic institutional conditions. A common weakness of school- or campus-based innovation is that it depends too heavily on individual enthusiasm. Once the enthusiastic teacher, counsellor, or facilitator leaves, the practice disappears. EP–MAT therefore requires basic institutional arrangements rather than one-off activities.

First, roles should be clearly defined. Teachers may facilitate low-risk curriculum-embedded activities when properly trained, but they should not be expected to handle significant psychological risk alone. Counsellors and psychologists should support screening, referral, and professional consultation. Student affairs staff may help identify students' daily adjustment difficulties and coordinate follow-up. Where art therapists or trained facilitators are available, they can provide more specialised group or individual support. The key is that collaboration must be operational, not decorative.

Second, resources should be simple and repeatable. EP–MAT does not require expensive studios or complex equipment. Many activities can be delivered with basic materials such as paper, pencils, collage materials, clay, rhythm tools, or digital reflection templates. What matters more is the predictability of the setting, clarity of the activity frame, privacy of student work, and a clear transition back to learning. In higher and vocational education, EP–MAT can be embedded into mental health education, first-year adaptation, career development, internship preparation, or class-based student support activities.

Third, implementation should include a light but consistent feedback loop. Instead of relying only on impressionistic judgement, institutions can monitor feasibility, participation, student acceptability, perceived usefulness, referral needs, and any adverse events. This does not need to become a heavy research procedure. Its purpose is quality improvement: to understand who is being reached, who is being missed, which activities are safe and useful, and where additional support is needed.

In this sense, governance is not an administrative burden added after the intervention. It is part of the intervention itself. EP–MAT can only function responsibly when creative practice, ethical responsibility, institutional support, and continuous reflection are designed together.

6. Evaluation, Limitations, and Future Development

6.1 Evaluation as a learning system

Evaluation in EP–MAT should be feasible, ethically proportionate, and useful for improvement. In these contexts, the purpose of evaluation is not only to prove symptom reduction, but to understand whether students become more able to regulate emotion, participate in learning, seek support, and maintain relational connection in everyday educational life. For this reason, EP–MAT adopts a learning-system approach to evaluation: outcomes, process indicators, and implementation conditions are considered together.

At the outcome level, evaluation should match the intensity of the pathway. In curriculum-embedded activities, appropriate indicators include emotional awareness, self-regulation confidence, learning readiness, perceived usefulness, and willingness to seek help. In structured group workshops, evaluation may additionally examine stress management, coping strategies, belonging, peer connection, and communication confidence. In indicated small-group or individual support, more specific psychological indicators may be used when appropriate, but they should be interpreted within professional and safeguarding procedures rather than as classroom performance data.

At the process level, EP–MAT should examine whether the support was actually usable for students and staff. Key indicators include attendance, participation, student acceptability, perceived safety, facilitator confidence, and fidelity to core elements such as choice, grounding, containment, optional sharing, and closure. This is important because an art-based activity may appear attractive on paper but fail in practice if students feel exposed, confused, judged, or unsafe. Process evaluation therefore protects both quality and ethics.

At the implementation level, institutions should ask whether EP–MAT can be sustained beyond one enthusiastic teacher or one isolated project. Relevant indicators include departmental adoption, staff training, referral routes, supervision or consultation arrangements, resource availability, and continuity across semesters. Evaluation should also monitor whether certain groups of students are not being reached. In this sense, evaluation is not an administrative appendix to EP–MAT; it is part of responsible implementation.

6.2 Limitations and evidence gaps

EP–MAT should be understood as a practice-oriented framework rather than a completed evidence base. Its value lies in organising multimodal art-based psychological support into a mechanism-led and education-compatible model, but several limitations remain.

First, multimodal art-based interventions are highly variable. They differ in media, facilitator expertise, institutional context, student characteristics, and support intensity. This makes it difficult to compare findings across programmes or to identify which components are most effective. Second, much existing work in art-based psychological support relies on small samples, short implementation periods, or descriptive accounts. More systematic programme evaluations are needed, especially in such settings. Third, educational environments create specific constraints, including limited privacy, timetable pressure, uneven attendance, assessment demands, and unclear role boundaries. These constraints may affect fidelity, student engagement, and outcome interpretation.

A further limitation is conceptual overreach. EP–MAT therefore insists on distinguishing curriculum-based support, structured group support, and indicated therapeutic provision. This distinction is not merely semantic; it protects students from inappropriate emotional exposure and protects educators from being placed in roles for which they are not trained.

Finally, more attention is needed to equity and cultural responsiveness. Students differ in their comfort with artistic expression, emotional disclosure, group participation, digital tools, and help-seeking. Future studies should examine not only whether EP–MAT works, but for whom it works, under what conditions, and with what safeguards.

6.3 Future development: modest technology and responsible scaling

Future development of EP–MAT should avoid two extremes: treating technology as a solution to all educational mental health problems, or rejecting digital support altogether. The more appropriate direction is modest, optional, and ethically governed use of technology. Digital tools may support EP–MAT through creative prompts, private reflection logs, brief emotional check-ins, or low-burden feedback forms. These tools can help students begin expression, record changes, and sustain reflection between sessions.

However, digital tools should not become systems of surveillance, automated diagnosis, emotional scoring, or student labelling. Any digital component should follow the principles of informed consent, data minimisation, transparency, non-digital alternatives, and human responsibility. In EP–MAT, technology may support reflection and continuity, but it must not replace professional judgement or relational care.

Responsible scaling is another future direction. EP–MAT should not be expanded simply by increasing the number of sessions or copying the same activity across different departments. Scaling should be gradual and reflective: start with one pathway, stabilise delivery, collect feedback, clarify referral procedures, train facilitators, and then expand while preserving core

principles. The key question is not how quickly EP–MAT can spread, but whether it can reach more students without losing ethical quality, developmental appropriateness, and educational compatibility.

7. Conclusion

This paper proposed an Educational Psychology-Informed EP–MAT Framework for implementing multimodal art-based psychological support in educational settings, with particular relevance to campus-based settings. The framework addresses a central implementation gap: although art-based approaches are increasingly used in student mental health education, there remains a need for a clearer model that specifies mechanisms, pathways, ethical boundaries, and institutional conditions.

EP–MAT organises multimodal art-based support around four interacting mechanisms: emotional activation, cognitive integration, social empathy and connection, and intelligent empowerment. It then translates these mechanisms into stepped practice pathways, including curriculum-embedded support, structured group workshops, and indicated small-group or individual support. In doing so, the framework shifts multimodal art-based practice from isolated creative activity toward mechanism-led, ethically governed, and education-compatible psychological support.

EP–MAT does not claim that art alone can solve students' psychological difficulties. Its value lies in showing how creative, embodied, symbolic, and relational processes can be placed within a responsible educational support system. Rather, its contribution is to provide a structured language and practical logic for integrating creative, embodied, symbolic, and relational processes into educational support systems. For colleges, universities, and vocational institutions seeking more responsive approaches to student psychological development, EP–MAT offers a feasible route for linking emotional regulation, meaning-making, relational connection, and reflective support within real educational conditions.

Reference

De Witte, M., Orkibi, H., Zarate, R., Karkou, V., Sajnani, N., Malhotra, B., Ho, R. T. H., Kaimal, G., Baker, F. A., & Koch, S. C. (2021). From therapeutic factors to mechanisms of change in the creative arts therapies: A scoping review. *Frontiers in Psychology*, 12, 678397.

Seligman, M. E. P., & Csikszentmihalyi, M. (2000). Positive psychology: An introduction. *American Psychologist*, 55(1), 5–14.

Wang, W. (王玮). (2023). 近十年艺术疗愈文献综述与我国大学生抑郁情绪缓解洞见 [A decade of art therapy research and insights into college students' depression relief]. 北京: 教育科学出版社.

Chen, X. (陈旭). (2024). 心理健康教育的整合模式探析 [Integrated models of mental health education]. *心理与教育*, 40(2), 15–22.

Bao, J. (包金金). (2021). 表达性艺术疗法研究综述 [Review of expressive arts therapy]. *中国临床心理学杂志*, 29(3), 612–620.

Ye, J. (叶静). (2024). 艺术心理治疗中创作过程的疗愈机制研究 [Healing mechanisms in artistic creation in art psychotherapy]. *心理学探新*, 44(1), 70–78.

Lu, J. (卢家楣). (2012). 情感教学心理学 [Emotional Teaching Psychology]. 北京: 教育科学出版社.

Zhao, Q. (赵青). (2022). 表达性艺术疗法在高职学生朋辈心理辅导中的应用 [Expressive arts therapy in peer counseling for higher vocational students]. 职教论坛, 39(8), 112–118.

Li, W. (李微微). (2024). 艺术疗愈在高职院校心理健康教育中的应用研究 [Application of art therapy in psychological education of vocational colleges]. 高校心理健康教育研究, 12(1), 55–63.

The Effectiveness of Developing Students' Critical Thinking Skills Through English Literature

Bekmaganbet Nurmukhambet Serikbaiuly

1st year master's student, Zhanibekov University SKPU, Shymkent, Kazakhstan

Abstract

Critical thinking has become one of the more insisted-upon goals of contemporary English language education, yet the gap between this stated priority and what actually happens in most EFL classrooms remains considerable. This article examines whether and how the use of literary texts during English instruction can help close that gap, drawing on data collected during a six-week pedagogical internship at one state funded South Kazakhstan university. The participants were 17 first-year bachelor's students, working at approximately B1 proficiency level, with limited prior exposure to literary reading in English.

The study adopted a mixed-methods action research design. Three sources of data were used: written response tasks collected after six of the twelve instructional sessions, a Likert-scale questionnaire administered at the end of the internship, and field observation notes maintained throughout. Literary texts, including short stories, a poem, and adapted excerpts, were embedded within the existing curriculum and approached through pre-reading discussion, during-reading inference tasks, post-reading interpretive writing, and Socratic dialogue.

Four patterns emerged from the analysis. Students' written responses showed a gradual shift from text summary toward interpretive argument over the course of the internship. Self-reported confidence in evidence-based reasoning increased across the group. Discussion consistently functioned as the primary site of critical engagement, with written responses improving most noticeably in sessions that followed substantive dialogue. Finally, a pattern of initial resistance to interpretive ambiguity softened in most students over time, with several articulating what amounted to a genuine shift in how they understood the nature of textual meaning.

The findings suggest that literary texts can support critical thinking development in EFL settings when accompanied by discussion-centred, student-responsive pedagogy. The contribution of this study lies less in confirming what the broader literature already argues and more in documenting what this approach looks like within a specific institutional context in Kazakhstan, where such classroom-based empirical accounts remain scarce.

Keywords: *critical thinking, EFL, literary texts, reader-response pedagogy, action research, Kazakhstan*

1. Introduction

Over the past two decades, the ability to think critically has moved from being a peripheral educational concern to a central one. International frameworks for 21st century learning consistently identify critical thinking as a foundational skill, situating it alongside communication, collaboration, and creativity as essential to participation in contemporary knowledge economies (Paul & Elder, 2020). Within English as a Foreign Language (EFL) education, however, the translation of this priority into classroom practice has been uneven. Many EFL learners continue to engage with texts in a predominantly receptive mode: comprehending, summarising, and

reproducing information rather than interrogating, evaluating, and constructing reasoned arguments around it.

This gap between stated educational goals and observable classroom behaviour is particularly visible in EFL contexts that remain heavily oriented toward standardised assessment. When examinations reward accurate recall and grammatical precision more than interpretive reasoning, teachers face structural pressure to prioritise coverage over depth. Literary texts, which by their nature invite multiple readings, resist simple paraphrase, and carry cultural and ethical complexity, are one type of material that has long been proposed as a corrective to this tendency (Lazar, 1993). Yet the question of how, precisely, literary texts can be used to cultivate higher-order thinking in EFL classrooms remains underdeveloped in empirical research, particularly in Central Asian and post-Soviet educational contexts.

The present study examines this question through the lens of a six-week pedagogical practice at state funded university during the 2025 -2026 academic year. Teaching a first-year bachelor's cohort ($n = 17$), the researcher integrated literary texts into existing English language instruction and gathered data on whether and how students' critical thinking engagement changed over the course of the internship. The study is necessarily modest in scope, but it offers something that theoretical arguments for literature-based instruction rarely provide: a grounded, context-specific account of what this approach looks like in practice, including its complications.

Research questions. The study is guided by two research questions:

1. How does the use of literary texts during EFL instruction appear to affect students' critical thinking engagement?
2. Which classroom activities associated with literary reading most visibly encouraged students to move beyond comprehension toward analysis, evaluation, and synthesis?

2. Literature Review

2.1 Defining Critical Thinking in Educational Contexts

Critical thinking is not a unified construct but rather an umbrella term covering a range of interrelated intellectual dispositions and skills. One of the most widely cited definitions in educational research comes from Paul and Elder (2020), who describe it as the intellectually disciplined process of actively and skillfully conceptualising, applying, analysing, synthesising, and evaluating information gathered through observation, experience, reflection, or reasoning. The emphasis here is less on arriving at correct answers and more on the quality of the process by which any answer is reached. A related perspective, from Facione (2011), identifies six core critical thinking skills: interpretation, analysis, evaluation, inference, explanation, and self-regulation. These two frameworks converge on the view that critical thinking is not a naturally occurring capacity but must be deliberately cultivated.

In classroom application, the revised version of Bloom's taxonomy (Anderson & Krathwohl, 2001) continues to offer a practical framework for distinguishing lower-order cognitive operations (remember, understand, apply) from higher order ones (analyse, evaluate, create). This hierarchy is useful for instructional design because it gives teachers a language for identifying whether tasks are cognitively demanding enough to qualify as genuinely critical. In the EFL context, this means the difference between asking students to summarise a character's actions and asking them to evaluate the ethical implications of those actions, or between identifying a theme and constructing a comparative argument about how that theme functions across two texts. These are meaningfully different cognitive tasks, and the distinction matters for understanding what literature-based instruction is actually trying to achieve.

2.2 Literary Texts in EFL Pedagogy

The rationale for using literary texts in language classrooms has been articulated most clearly by Lazar (1993), whose foundational account of literature and language teaching identifies three distinct bases for literary reading in EFL: it develops language competence through exposure to rich, non-simplified input; it expands students' cultural knowledge and empathy; and it supports personal growth through engagement with complex human experience. More recent scholarship has shifted emphasis toward the third of these, particularly the capacity of literary reading to develop reflective and evaluative thinking.

Pardede (2020) reviewed EFL educators' reported practices with literary texts in higher education settings and found that the pedagogical value of literature was strongly dependent on how texts were used in the classroom rather than on which texts were selected. A short story approached through closed comprehension questions tended to produce surface-level engagement; the same story, mediated through reader-response discussion and argumentative writing, could generate sustained critical engagement. This finding aligns with broader research on text-based instruction showing that the quality of teacher questioning, particularly the proportion of questions requiring genuine reasoning rather than factual recall, is a strong predictor of cognitive engagement (Tosuncuoglu, 2022).

Nguyen and Nguyen (2021) investigated literature-based instruction in Vietnamese university EFL settings and found that students who engaged in sustained literary discussion—through structured group dialogue, reflective writing journals, and Socratic questioning circles, showed markedly stronger performance on argumentation and evaluative reasoning tasks compared to peers in grammar-oriented control sections. Notably, the improvement was not primarily in literary knowledge but in the transferable habits of reading critically and writing argumentatively. This suggests that the contribution of literary texts to critical thinking development may be largely a function of the pedagogical frameworks through which those texts are encountered rather than the texts themselves.

2.3 Reader-Response Pedagogy and Critical Thinking

A particularly influential tradition in this area is reader-response pedagogy, rooted in Rosenblatt's (1994) transactional theory of the literary work. Rosenblatt argued that meaning is not fixed within a text but emerges from the transaction between a specific reader and a specific text in a specific context. The educational implication is significant: if texts do not carry single correct meanings, then reading instruction that rewards only one interpretation effectively teaches students to suppress their own reasoning and defer to authority. Reader-response approaches, by contrast, treat interpretive disagreement as productive and position students as legitimate contributors to the construction of meaning.

Tosuncuoglu (2022) argued that EFL classrooms at tertiary level specifically benefit from a structural shift away from teacher-centred text explanation toward student-centred interpretation tasks. In her examination of Turkish university EFL instruction, classes organised around open-ended literary discussion produced significantly stronger scores on critical thinking assessments than classes where comprehension was assessed through closed formats. This finding has practical implications: it suggests that reorganising how literary texts are discussed, rather than replacing them entirely, may be sufficient to shift the cognitive register of a lesson.

Dwyer (2023) further argued that critical thinking instruction is most effective when students are given repeated opportunities to examine their own reasoning processes, not just to produce arguments but to evaluate the quality of those arguments by recognised standards of evidence and logic. In a literary context, this maps onto activities such as asking students to identify the evidence base for their interpretations, consider alternative readings, or articulate what would have to be true for a competing interpretation to be correct. These are sophisticated cognitive

moves, and they require explicit instruction and scaffolding rather than spontaneous emergence from exposure to texts.

2.4 Research Gap

The body of evidence reviewed above points to a reasonably coherent finding: literary texts can be effective vehicles for developing critical thinking in EFL contexts when accompanied by discussion-centred, student-responsive pedagogy. However, several limitations in the existing literature are worth noting. First, most available empirical studies are conducted in well-resourced institutional settings or in contexts where critical thinking instruction has some institutional endorsement. There is comparatively little documentation of what happens when a novice teacher attempts to integrate literature-based CT development within a constrained, performance-oriented curriculum, which is arguably the more common situation.

Second, the Kazakhstani EFL context remains underrepresented in published research despite the country's sustained investment in English language education reform. Zhumabayeva et al. (2022) noted that Kazakhstani EFL teachers frequently acknowledged the theoretical importance of critical thinking while reporting limited practical guidance for how to develop it within existing curriculum structures. This institutional-pedagogical gap is a recurring concern in Central Asian EFL research and has not been adequately addressed through classroom-based empirical work. The present study, though limited in scale, makes a small contribution to filling this gap by documenting a specific instructional effort within this context.

3. Methodology

3.1 Research Design

This study adopts a mixed-methods action research design. Action research was selected because the study arose directly from a concrete pedagogical situation, a supervised teaching internship rather than from an independently initiated research project. The defining feature of action research is its cyclical relationship between classroom practice and reflective inquiry: the researcher observes a situation, intervenes, gathers evidence, and reflects on the consequences of the intervention with a view to improving it (Braun & Clarke, 2006). Within this framework, both qualitative data (classroom observation field notes, student written responses) and quantitative data (a post-internship questionnaire) were collected, though the qualitative dimension was treated as primary in analysis given the exploratory scale of the study.

3.2 Participants

The participants were 17 first-year bachelor's students. The group was enrolled in a general English language course as part of the university's required curriculum. Students ranged in age from 17 to 19 years and had a broadly pre-intermediate to intermediate proficiency level in English, corresponding to approximately A2-B1 on the Common European Framework of Reference (CEFR). All participants had prior English instruction from secondary school, but their exposure to literary texts in English was minimal before the internship began.

Because the researcher and participants were known to each other in the context of the internship, the study lacked anonymity in a strict sense. Students were informed verbally that their written responses and questionnaire answers would be used for research purposes, and consent was obtained. In reporting findings, participants are referred to using coded identifiers (S1 through S17) to remove personally identifying information from the analysis.

3.3 Instructional Context

The literary component of the practice was integrated into six 50 minute instructional sessions conducted across six weeks during the 2025 - 2026 academic year. Rather than replacing the existing curriculum, the literary texts were embedded within it, so as not to create a parallel

structure that might have been difficult to manage alongside the standard lesson plan requirements.

Three categories of literary text were used: two short stories, one poem, and several short excerpts from an adapted graphic novel. Texts were selected according to three criteria: linguistic accessibility at approximately B1 level, thematic richness sufficient to sustain genuine interpretive discussion, and cultural range sufficient to avoid anchoring the students' literary experience to a single national tradition. Each literary session followed a three-part structure: a pre-reading task to activate prior knowledge and establish a question-oriented reading purpose; during-reading activities to interrupt the reading process and prompt mid-text inference rather than deferring all interpretation until the end; and post-reading tasks, including written response journals and paired Socratic discussion, designed to engage higher-order cognitive operations. The Table 1 below illustrates the mapping between activity types and the cognitive levels they were designed to target.

Activity Type	Example Task	Bloom's Level Targeted
Pre-reading discussion	What do you already know about this theme? What do you expect?	Remember / Understand
During-reading prediction	Pause at key moment: what do you think will happen and why?	Apply / Analyse
Post-reading journal	Take a position on the central conflict and support it with evidence from the text.	Evaluate / Create
Socratic discussion	Open-ended questioning: "Could the character have chosen differently?"	Analyse / Evaluate
Comparative writing task	How does the theme in story A differ from its treatment in poem B?	Analyse / Create

Table 1. Literary activity types and their target cognitive levels

3.4 Data Collection

Three data sources were employed. First, the researcher maintained observation field notes after each of the three sessions. These notes focused on observable indicators of critical engagement: the kinds of questions students initiated unprompted, instances of interpretive disagreement between students, and moments where students appeared to revise or qualify a claim they had previously stated with confidence.

Second, student written responses were collected following three of the six sessions. Each task asked students to take and justify a position on a question raised by the text and was kept to approximately 150-200 words. Tasks were explicitly not graded and students were told in advance that there was no single correct answer, with the aim of reducing performance anxiety and creating conditions for genuine evaluative reasoning rather than teacher-anticipating responses.

Third, at the end of the practice, all 17 students completed a six item Likert-scale questionnaire (five points, from "strongly disagree" to "strongly agree") assessing their own

perceived change in specific critical thinking capacities, including identifying assumptions in texts, weighing evidence for competing interpretations, recognising bias, and constructing supported arguments. Items were adapted from Facione's (2011) critical thinking dispositions inventory.

3.5 Data Analysis

Written responses were analysed using the inductive thematic analysis procedure described by Braun and Clarke (2006): familiarisation with the data, generation of initial codes, searching for themes across the codes, reviewing candidate themes against the full data set, defining and naming themes, and reporting. The aim was to let patterns emerge from the students' own language and reasoning rather than imposing pre-existing categories.

Questionnaire data were analysed descriptively using mean scores and frequency distributions for each item. Field notes were reviewed separately and then compared with the written response themes to identify convergences and discrepancies between what was observed in the classroom and what students reported in writing and in the questionnaire. Where field note observations and written responses converged on the same pattern, that pattern was treated as a finding of comparatively greater weight; where they diverged, both were reported alongside a tentative interpretation of the divergence.

4. Findings

The analysis produced four recurring patterns across the three data sources. These are presented as thematically organised findings rather than as definitive conclusions, in keeping with the exploratory scale of the study.

4.1 A Gradual Shift from Text Recall to Text Interrogation

During the first two sessions, students' written responses were predominantly summative. A representative early entry from S4 read: "The character was unhappy with his life. He tried to change things but it did not work." While linguistically adequate, this response reflects comprehension-level processing rather than analysis or evaluation. By weeks four and five, however, a visible change appeared in a majority of students' writing. S4's later entry engaged the same text in a markedly different register: "I think the character's problem is not poverty but that he does not understand himself. The author shows us that changing outside without changing inside is not possible." This shift from description to interpretive claim, and the beginnings of an attempt to ground the claim in the text, was visible across approximately two-thirds of the sample by the final session.

S11 followed a similar trajectory. An early response characterised the poem under discussion as being "about being alone"; by week five the same student wrote: "I think the loneliness in this poem is not about being by yourself. It is about not being understood. These are very different things and maybe the poet knew both." Observation field notes from the corresponding session recorded that S11 had initiated a class discussion by asking whether the speaker of the poem and the poet were the same person—a question that generated fifteen minutes of productive exchange and allowed the group to grapple with the concept of narrative voice in a way that no comprehension question could have prompted.

4.2 Evidence-Based Reasoning as a Developing Competence

A consistent signal in the questionnaire data was the gap between students' confidence at the beginning of the internship and at its end on items relating to textual evidence. The mean score for the item "I can support my opinion about a text with specific examples from it" rose from 2.4 to 3.9 across the group. This shift was supported by the written response data: the proportion of responses that included at least one specific textual reference—a quoted phrase, a named

scene, or a character detail—increased from approximately 18% in week two to around 65% in week six.

The development was uneven, however. Students S3, S8, and S14 continued to produce responses that made general thematic observations without anchoring them to specific passages, and their questionnaire scores on evidence-related items remained consistently below the group mean. Observation notes for S3 showed active and often insightful participation in discussion but persistent difficulty in moving from spoken elaboration to written justification. This gap between verbal and written critical performance is a pattern that warrants further attention in both pedagogical planning and research, as it may indicate that some students require more scaffolded support for the transfer of oral reasoning into written argumentation.

4.3 *Discussion as the Primary Site of Critical Engagement*

Across all three data sources, critical thinking manifested most visibly during discussion activities rather than during individual writing tasks. Students' written responses frequently lagged behind their spoken contributions: a student who articulated a nuanced interpretive point during Socratic discussion might produce a more flattened version of the same idea in the subsequent writing entry. This pattern was noted repeatedly in field observation notes and suggests that discussion served as a kind of cognitive scaffolding for the writing that followed it.

Socratic questioning—where the teacher responded to student claims with follow-up questions (“What makes you say that?”, “Is there another way to read this?”, “What would change if we knew more about the character’s background?”) rather than with evaluative feedback—appeared to produce the most sustained and substantive exchanges. Students frequently began by stating interpretations with considerable confidence and gradually modified or qualified those interpretations through the dialogue. This dynamic mirrors what Vygotsky (1978) described in his account of the zone of proximal development: cognitive operations that become possible through social interaction before they are independently internalised. In this sense, the discussion was not simply preparing students for the writing task; it was itself the developmental event.

4.4 *Affective Resistance to Interpretive Ambiguity*

A pattern that emerged across both observation notes and questionnaire responses was an initial and sometimes sustained resistance to the notion that a text could support more than one valid reading. S7 wrote directly: “How can both answers be right? In English class we always have one correct answer.” This sentiment was expressed, in various forms, by at least seven students during the first three weeks of the internship and appeared to reflect prior schooling experience rather than any intrinsic conceptual limitation. Several students seemed genuinely unsettled by being asked to construct and defend their own interpretation in the absence of an authoritative answer.

Over the course of the internship, this resistance softened in most cases, though it did not disappear entirely. Students who appeared to work through their discomfort with ambiguity most fully tended to make the most substantial overall gains in critical engagement. S15's final written response included the observation: “Before I thought my idea was wrong if it was different from my classmates. Now I understand that different interpretations can both be correct if you explain the reason.” This is a genuinely epistemological shift—from viewing knowledge as fixed and transmissible to viewing it as constructed and justifiable—and it is precisely the disposition that Paul and Elder (2020) identify as a prerequisite for mature critical thinking. That it appeared, even partially, within a six-week internship is a finding worth noting, not least because it was not explicitly taught but emerged through repeated engagement with open-ended literary material.

5. Discussion

Looking at the findings alongside the existing literature, several alignments emerge, though none of them are perfectly straightforward. The gradual shift from summary to interpretive argument visible in the written response data corresponds to what Pardede (2020) described as the difference between literary texts used primarily as language input and literary texts mediated through reader-response pedagogy. In this study too, the shift did not happen automatically through exposure to the texts but required specific instructional prompts, discussion questions, during-reading pauses, and post-reading tasks that explicitly invited argumentative engagement.

The centrality of discussion as the primary site of critical development supports Tosuncuoglu's (2022) argument that student-centred engagement with literary texts generates more demonstrable critical thinking gains than teacher-led comprehension formats. The most cognitively active moments in this internship consistently occurred during Socratic discussion rather than during individual writing, and students' written responses improved most noticeably in the sessions that followed rich discussions. This suggests that even within constrained institutional settings, a partial reorientation toward discussion-centred literary engagement may be more productive than attempting wholesale curriculum redesign.

The pattern of affective resistance to ambiguity was perhaps the most diagnostically significant finding. It aligns with broader observations about learners educated in test-oriented cultures, where right-answer thinking becomes deeply habitual (Zhumabayeva et al., 2022), and with Dwyer's (2023) argument that genuine critical thinking development requires explicit attention to students' epistemic assumptions, not just their surface reasoning behaviours. The shift toward interpretive openness that appeared in some students over the six weeks was not rapid, and it was not universal, but the direction of movement was consistent with what the literature would predict.

The uneven development across the group is also worth reflecting on. Nguyen and Nguyen (2021) observed that CT development through literary engagement requires sustained exposure rather than episodic intervention, and this study does not contradict that observation. Six weeks was enough to produce visible movement in many students, but not enough to establish durable changes in cognitive habit across the full cohort. This is not a failure of the approach but a realistic expectation for what a short internship can accomplish.

5.1. Limitations

Several limitations should be acknowledged. The participant group was small ($n = 17$) and drawn from a single institution, which restricts the transferability of any findings to other EFL contexts. The six-week internship period is insufficient to draw firm conclusions about durable shifts in critical thinking; some of the engagement patterns observed may reflect novelty effects rather than lasting changes in cognitive practice.

The researcher's dual role as teacher and data collector creates a potential for observer bias, particularly in the interpretation of field notes and in the framing of writing tasks. Students may also have adjusted their written responses to align with what they perceived the researcher-teacher to value, which could inflate the degree of apparent critical engagement. The absence of a control group means no causal claims can be made about whether the literary texts specifically produced the patterns observed, or whether any consistently discussion-focused instruction would have generated comparable results.

6. Conclusion

This study set out to examine whether and how literary texts could support the development of critical thinking in an EFL classroom during a six-week pedagogical internship. The findings, while modest in scope, suggest that literary reading, when accompanied by appropriate discussion and questioning strategies, does engage students at higher cognitive levels than comprehension-focused instruction alone. The most visible evidence of this was a gradual shift in student writing from text summary to interpretive argument, alongside increased self-reported confidence in evidence-based reasoning and, for a significant number of students, a meaningful shift in how they understood the nature of textual meaning itself.

The most practically significant implication may be a simple one: discussion matters more than text selection. Short stories, poems, and brief literary excerpts appeared capable of generating critical engagement when students were invited to read as interpreters rather than directed through texts as information receivers. Teachers working within constrained curricula may find that embedding a small number of discussion-centred literary activities within existing lesson structures creates sufficient conditions for critical thinking habits to begin forming.

Future research would benefit from longitudinal designs that track whether the habits observed over six weeks become more firmly established over longer instructional periods. Comparative studies across different institutional contexts within Kazakhstan would also help clarify how curriculum structure, student proficiency level, and teacher preparation shape the uptake of literature-based critical thinking instruction. The specific dynamics of the post-Soviet EFL context in Kazakhstan, with its ongoing tension between reform priorities and persistent traditional pressures, offer a particularly productive site for further investigation.

REFERENCES

1. Anderson, L. W., & Krathwohl, D. R. (Eds.). (2001). *A taxonomy for learning, teaching, and assessing: A revision of Bloom's taxonomy of educational objectives*. Longman.
2. Braun, V., & Clarke, V. (2006). Using thematic analysis in psychology. *Qualitative Research in Psychology*, 3(2), 77-101. <https://doi.org/10.1191/1478088706qp063oa>
3. Dwyer, C. P. (2023). *Teaching and learning critical thinking: Interdisciplinary perspectives*. Routledge.
4. Facione, P. A. (2011). *Critical thinking: What it is and why it counts*. Measured Reasons LLC.
5. Lazar, G. (1993). *Literature and language teaching: A guide for teachers and trainers*. Cambridge University Press.
6. Nguyen, T. T. H., & Nguyen, T. N. A. (2021). Literature-based instruction and critical thinking development in EFL contexts. *TESL-EJ*, 25(3), 1-18.
7. Pardede, P. (2020). Using literary texts in EFL classrooms: A critical review. *Journal of English Teaching*, 6(3), 203-217. <https://doi.org/10.33541/jet.v6i3.2083>
8. Paul, R., & Elder, L. (2020). *Critical thinking: Concepts and tools* (8th ed.). Foundation for Critical Thinking Press.
9. Rosenblatt, L. M. (1994). *The reader, the text, the poem: The transactional theory of the literary work* (2nd ed.). Southern Illinois University Press.
10. Tosuncuoglu, I. (2022). Importance of critical thinking in EFL classes. *Cypriot Journal of Educational Sciences*, 17(3), 914-928. <https://doi.org/10.18844/cjes.v17i3.7042>
11. Vygotsky, L. S. (1978). *Mind in society: The development of higher psychological processes*. Harvard University Press.
12. Zhumabayeva, A., Duisenova, A., & Seitkali, B. (2022). Approaches to critical thinking instruction in Kazakhstani EFL classrooms. *Central Asian Journal of Education*, 5(2), 83-97.

Pedagogical Transformation of Education in the Context of Sustainable Development

Mukhidenova Botagoz

Mangystau Region, Aktau City, 19 Microdistrict, Building 36/1, Apartment 82, Postal Code: 130000, Kazakhstan

Abstract

The transformation of education in the context of sustainable development has become a central scientific and policy problem because education is increasingly expected not only to transmit knowledge but also to build the capacities required for social, ecological and economic transition. International frameworks such as SDG 4.7, UNESCO's Education for Sustainable Development (ESD for 2030), the Greening Education Partnership and the OECD Learning Compass describe education as a system that must cultivate knowledge, values, skills, agency and responsibility for sustainable futures. However, in many education systems, sustainability remains fragmented: it is often treated as an additional topic rather than as a structural principle for curriculum design, pedagogy, assessment, teacher development and school governance.

This article analyses pedagogical transformation as a system-level change in which sustainable development becomes an organizing framework for learning environments. The study synthesizes official policy documents and peer-reviewed literature to identify the main dimensions of transformation: competence-based curriculum mapping, transformative and action-oriented pedagogy, authentic assessment, whole-school implementation, teacher agency, digital responsibility and evidence-based monitoring. The article proposes a Pedagogical Transformation for Sustainable Development Model that connects SDG-oriented learning outcomes with project-based learning, institutional culture, community partnerships and measurable assessment evidence.

The analysis shows that sustainable pedagogical transformation requires a shift from content delivery to competence formation, from isolated lessons to whole-school learning ecosystems, and from declarative values to measurable practice. The proposed model can support schools and teacher education institutions in designing learning tasks that develop systems thinking, futures thinking, values-based reasoning, collaboration and action competence. The article concludes that the effectiveness of sustainability education depends on the integration of policy, curriculum, pedagogy, assessment and institutional leadership into one coherent mechanism.

Keywords: pedagogical transformation, sustainable development, Education for Sustainable Development, SDG 4.7, transformative pedagogy, whole-school approach, teacher competence, sustainability competencies.

Thematic Evidence and Research Context

A thematic review of publications and official frameworks related to sustainable development in education demonstrates that pedagogical transformation is not a narrow methodological issue. It is an interdisciplinary reform field located at the intersection of curriculum studies, teacher education, environmental education, policy implementation, digital education and school leadership. UNESCO emphasizes that ESD is an integral element of the 2030 Agenda and a key enabler of all Sustainable Development Goals, while SDG Target 4.7 requires learners to

acquire the knowledge and skills needed to promote sustainable development, global citizenship, human rights, peace, cultural diversity and sustainable lifestyles [1], [2].

The evidence base used in this article includes international policy documents, competence frameworks and peer-reviewed research. The selected screenshots illustrate the official and academic sources that frame pedagogical transformation: UNESCO ESD policy resources, UN SDG 4 guidance, global governance mechanisms and a peer-reviewed Springer article on transformative education for sustainable development. This distribution is important because it shows that the transformation of education cannot be reduced to a single lesson topic. It requires coordinated redesign of educational aims, learning environments, teacher competences and assessment evidence.

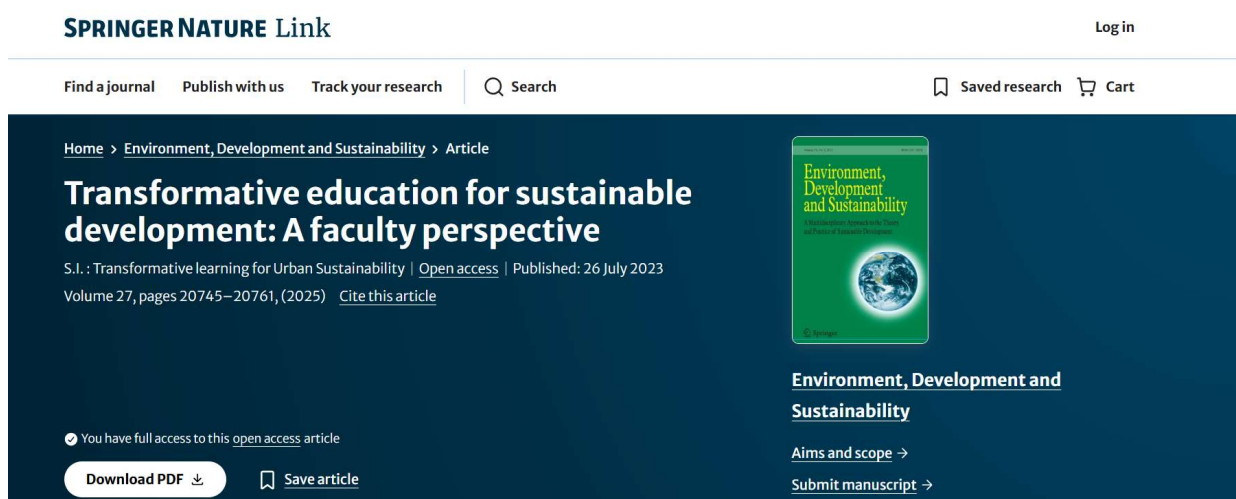


Figure 1. Springer Nature Link article page on transformative education for sustainable development, used as peer-reviewed evidence for the pedagogical transformation framework.

The global need for transformation is intensified by the slow progress of the Sustainable Development Goals. The 2024 Sustainable Development Goals Report states that only 17 per cent of SDG targets are on track, while many targets show limited progress or regression [3]. In this situation, education is expected to function as a long-term accelerator of social change. This does not mean that schools should become instruments of political slogans. Rather, it means that learners should be equipped with the ability to understand complex systems, evaluate evidence, act ethically, collaborate with others and participate in local problem solving.

The concept of pedagogical transformation in this article is therefore defined as a systematic redesign of teaching and learning in which sustainability becomes a principle for selecting content, organizing inquiry, building competences, assessing learning evidence and linking school life with community action. This definition is aligned with the UNESCO view that ESD empowers people with knowledge, skills, values, attitudes and behaviours to make responsible choices for environmental, economic and social well-being [4].

From “Adding Topics” to Transforming Learning Systems

In many curricula, sustainable development first appears as additional content: climate change, biodiversity, waste, poverty, inequality, responsible consumption or global citizenship. Such topics are essential, but they are not sufficient. If sustainability remains only a set of themes, learners may remember definitions without developing the competence to analyse dilemmas or act responsibly. For this reason, the UNESCO ESD learning objectives framework distinguishes cognitive, socio-emotional and behavioural learning domains [5]. This three-domain structure is crucial because it prevents sustainability education from becoming purely informational.

Cognitive learning outcomes refer to knowledge and understanding: for example, learners can explain the relationship between economic activity, natural resources and social equity. Socio-emotional outcomes concern values, empathy, responsibility and communication: learners can

discuss ethical tensions, understand different perspectives and develop a sense of shared responsibility. Behavioural outcomes concern action: learners can design solutions, participate in projects and evaluate the impact of their choices. Pedagogical transformation begins when these domains are planned together rather than separately.

UNESCO's ESD for 2030 Roadmap strengthens this logic by identifying priority action areas: advancing policy, transforming learning environments, building the capacities of educators, empowering youth and accelerating local-level action [1]. The UNESCO ESD for 2030 toolbox demonstrates how these priorities are converted into practical resources for schools and education systems. These priorities show that pedagogical transformation is both a classroom process and an institutional process. A teacher can design a strong sustainability lesson, but the long-term effect depends on whether the school culture, assessment practices, leadership and community partnerships support sustainable action.



Figure 2. UNESCO Education for Sustainable Development for 2030 toolbox official page, presenting resources for developing ESD activities and supporting SDG-oriented education.

International Policy Frameworks for Sustainable Pedagogical Change

The contemporary international agenda provides a strong normative foundation for transforming pedagogy. The United Nations Transforming Education Summit was convened in response to a global crisis of equity, inclusion, quality and relevance in education [6]. Its logic is directly connected with sustainable development: education systems must become more inclusive, more relevant to real-world challenges and more capable of preparing learners for uncertainty.

UNESCO's report *Reimagining our Futures Together* calls for a new social contract for education that can help build peaceful, just and sustainable futures [7]. The report is significant for pedagogical transformation because it moves the discussion beyond standardized instruction and emphasizes cooperation, public purpose, ecological responsibility and lifelong learning. In practical terms, this means that pedagogy should support learners not only in acquiring knowledge but also in interpreting social change, building relationships and participating in common action.

The 2023 UNESCO Recommendation on Education for Peace, Human Rights and Sustainable Development also strengthens the status of sustainability as a cross-cutting educational aim [8]. It positions education as a means of fostering human development, peace and responsibility. This is important because sustainable development education is not only environmental education. It includes social justice, cultural diversity, human rights, democratic participation and ethical responsibility.

The OECD Learning Compass 2030 complements the UNESCO agenda by highlighting student agency, knowledge, skills, attitudes and values as key components of future-oriented education [9]. In a sustainability perspective, student agency is especially important. Learners should not be passive receivers of sustainability messages; they should learn to identify problems, ask researchable questions, cooperate with others and make informed decisions. This requires pedagogies that are active, reflective and connected to real contexts.

Whole-School Approach as the Institutional Basis of Transformation

One of the strongest conclusions in the international literature is that Education for Sustainable Development becomes effective when it is implemented through the whole-school approach. UNESCO's Green School Quality Standard describes four core areas of greening every learning environment: school governance, facilities and operations, teaching and learning, and community engagement [10]. These four areas are not separate administrative boxes; they are mutually reinforcing elements of a living educational ecosystem.

The whole-school approach is pedagogically important because it makes sustainability visible in everyday school life. For example, if learners study responsible consumption in class but the school has no waste monitoring or no student participation in resource-saving decisions, the learning remains abstract. Conversely, when school operations become learning data and learners participate in improvement projects, sustainability becomes experiential and measurable.

Peer-reviewed research supports this institutional interpretation. Whole-school ESD studies show that school organization, leadership, shared vision, professional learning and routines influence the depth of sustainability implementation [11]. The UNESCO ESD for 2030 implementation logic also confirms that transformation requires coordinated action across policy, learning environments, teacher capacity, youth participation and local communities. Therefore, pedagogical transformation should be studied not only at the lesson level but also at the level of school culture, organizational structures and decision-making processes.

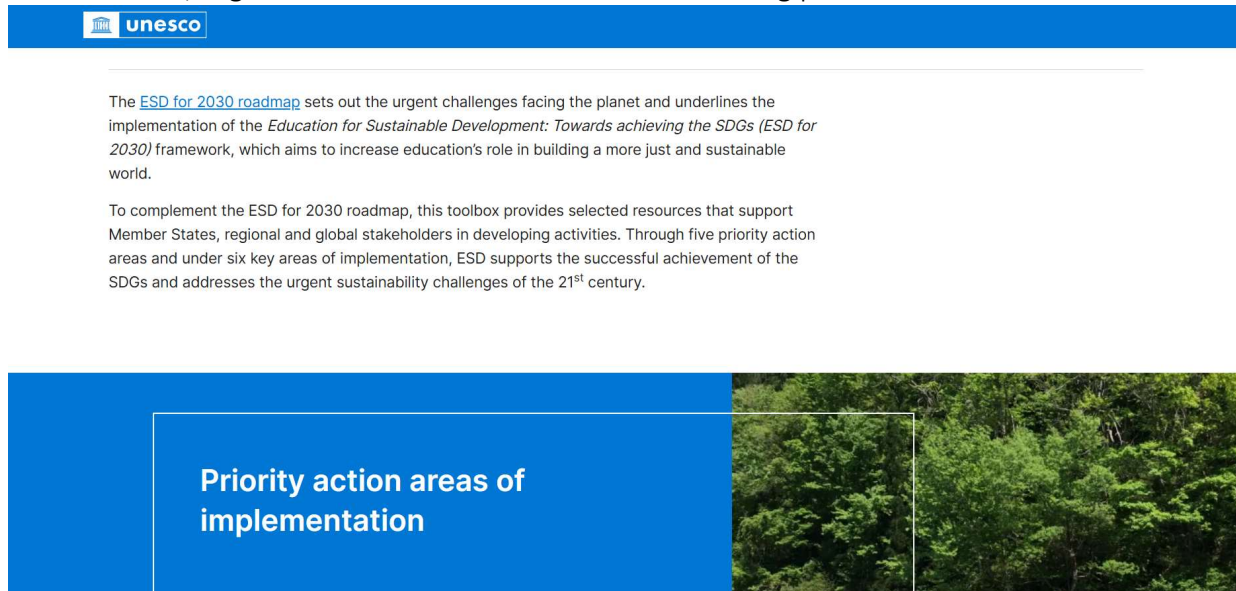


Figure 3. UNESCO ESD for 2030 Roadmap page showing the priority action areas of implementation for transforming learning environments and strengthening educator capacity.

Table 1. Key dimensions of pedagogical transformation in the context of sustainable development.

Dimension	Traditional pattern	Transformed pattern	Evidence / framework
Curriculum	Sustainability is a separate topic or optional activity.	Sustainability is mapped to learning outcomes, SDG targets and interdisciplinary tasks.	SDG 4.7; UNESCO ESD learning objectives [2], [5].
Pedagogy	Teacher explanation dominates; learners reproduce information.	Learners investigate real problems, design projects, reflect and act collaboratively.	Transformative and action-oriented ESD [12], [13].
Assessment	Assessment focuses mainly on recall and isolated subject knowledge.	Assessment captures systems thinking, values reasoning, collaboration and evidence of action.	GreenComp, key sustainability competences [14], [15].
School culture	Sustainability is dependent on individual teacher enthusiasm.	Governance, operations, teaching and community partnerships support one shared sustainability strategy.	Green school quality standard; whole-school approach [10], [11].
Digital dimension	Technology is used mainly for presentation or information search.	Digital tools and AI support inquiry, data analysis, personalization and ethical decision-making.	UNESCO AI in education and GenAI guidance [16], [17].

Curriculum, Pedagogy and Assessment Redesign

A sustainable development orientation requires an integrated relationship between curriculum, pedagogy and assessment. Curriculum mapping defines what is to be learned and why. Pedagogy defines how learners will experience and construct this learning. Assessment defines what counts as evidence of learning and how progress will be interpreted. If one of these components is not transformed, the whole system remains inconsistent.

The first step is curriculum mapping. A lesson topic should be connected to at least four elements: a sustainability issue, an SDG-related target or concept, a competence to be developed, and an assessment criterion. For example, a topic on water resources may be mapped to SDG 6, systems thinking, data interpretation and a project task in which students analyse household or school water use. The same logic can be applied to topics such as urban planning, energy, food systems, health, biodiversity, inequality and responsible consumption.

The second step is pedagogical redesign. Transformative pedagogy is not limited to discussion of global problems; it organizes learning around complexity, uncertainty and agency. Bourn and colleagues argue that ESD in teacher education can create agents of change when it engages learners in transformative pedagogical approaches [12]. In school practice, this means the use of inquiry-based learning, project-based learning, debate, scenario analysis, field observation, design thinking, service learning and reflective journals.

The third step is assessment redesign. Sustainability competences cannot be measured adequately only through multiple-choice tests or factual recall. Learners need assessment tools that value evidence-based reasoning, ethical judgement, collaboration, reflection and practical action. Rubrics should include descriptors such as “identifies interdependence”, “uses data to justify a decision”, “considers long-term consequences”, “cooperates with stakeholders” and “evaluates the impact of an intervention”. At the system level, such assessment reform also requires coordinated governance and multi-stakeholder accountability.

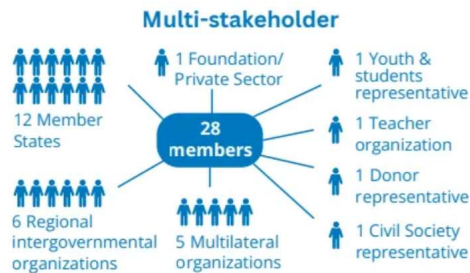
The SDG 4 High-Level Steering Committee (HLSC) builds on the [2015 Incheon Declaration and Education 2030 Framework for Action](#), which envisaged a cooperation and monitoring mechanism with the [Global Education Meeting \(GEM\)](#) at its centre.

The HLSC is best understood as the ecosystem consisting of all global education actors that participate in the Global Education Meeting and have agreed to work cooperatively in support of SDG 4. It also comprises the joint platforms and initiatives developed by those global education actors in pursuit of SDG 4.

At the heart of the HLSC is the commitment to a **shared global education goal and the incentives for stronger collective action and joint accountability** to achieve this goal.

The HLSC creates an environment of greater unity to act more effectively, better mobilize existing partners and initiatives.

HLSC composition



© UNESCO

Figure 4. UNESCO SDG 4 - Education 2030 High-Level Steering Committee page illustrating the multi-stakeholder governance structure for global education transformation.
Sustainability Competencies as Learning Outcomes

The scientific literature on sustainability education has developed a strong competence tradition. Wiek, Withycombe and Redman propose a reference framework for key competencies in sustainability, including systems-thinking competence, anticipatory competence, normative competence, strategic competence and interpersonal competence [15]. More recent work expands this logic toward competencies for advancing transformations to sustainability [18]. These frameworks are important because they translate the broad concept of sustainable development into observable educational outcomes.

GreenComp, the European sustainability competence framework, provides another influential model. It identifies four interrelated competence areas: embodying sustainability values, embracing complexity in sustainability, envisioning sustainable futures and acting for sustainability [14]. These areas are especially useful for school pedagogy because they can be transformed into lesson objectives, project criteria and assessment rubrics. For example, “embracing complexity” can be assessed when learners analyse a local environmental issue from social, ecological and economic perspectives.

In this article, sustainability competence is understood as the learner’s integrated capacity to understand complex systems, evaluate values and evidence, imagine alternative futures, cooperate with others and take responsible action. This formulation prevents a narrow interpretation of sustainability as “environmental knowledge only”. It also includes ethical, social and democratic dimensions of learning.

SDG Target 4.7 as a Monitoring Logic for Pedagogical Transformation

SDG Target 4.7 is the most direct global reference point for pedagogical transformation in the context of sustainable development. Its monitoring indicator, 4.7.1, measures the extent to which global citizenship education and ESD are mainstreamed in national education policies, curricula, teacher education and student assessment [19]. This indicator is important because it identifies the four places where transformation must become visible. A country or school cannot claim systematic sustainability education if sustainability appears in curriculum documents but not in teacher preparation or assessment.

For schools, SDG 4 and Target 4.7 can be translated into a practical diagnostic question: Is sustainable development visible in what the school teaches, how teachers are trained, how

learners are assessed and how the institution makes decisions? If the answer is uneven, the school needs a transformation plan rather than isolated events. The official UN SDG 4 page reinforces this logic by connecting quality education with equity, access, inclusion and the broader achievement of sustainable development.

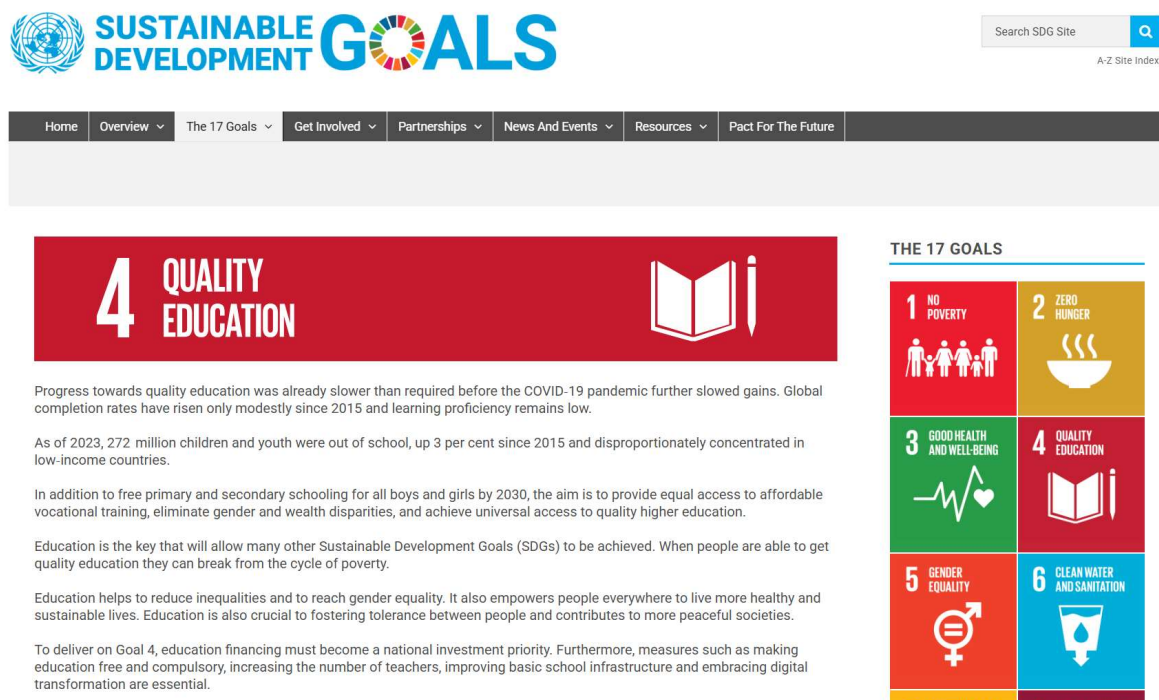


Figure 5. United Nations Sustainable Development Goal 4 official page, highlighting quality education as a key condition for achieving sustainable development.

Teacher Professional Agency and Capacity Building

Teachers are the central agents of pedagogical transformation. However, teacher responsibility should not be confused with individual burden. Sustainable transformation requires professional learning communities, methodological resources, leadership support and time for collaborative design. UNESCO's ESD for 2030 Roadmap identifies building the capacities of educators as a priority action area [1]. This means that teachers need training not only in sustainability content but also in pedagogical design, assessment and facilitation of learner agency.

A teacher who implements ESD needs multiple competences. First, the teacher must understand sustainability concepts and the interdependence of environmental, social and economic systems. Second, the teacher must be able to design learning tasks that connect curriculum content with real-life issues. Third, the teacher must facilitate dialogue around values and contested questions without reducing learning to moral instruction. Fourth, the teacher must assess complex learning outcomes with fair and transparent rubrics. Fifth, the teacher must use digital tools responsibly and understand the ethical limitations of data and AI.

Teacher agency is also institutional. A teacher may have the desire to transform pedagogy, but if the school schedule, assessment culture or administrative expectations reward only rapid content coverage, sustainable pedagogy will remain marginal. Therefore, leadership and professional culture are necessary conditions for transformation. The UNESCO GEM Report on leadership in education is relevant here because it emphasizes the role of leaders in system-wide improvement and alignment [20].

Teacher Competence Wheel for Sustainable Pedagogical Transformation

Competences needed to turn sustainability values into classroom and school practice

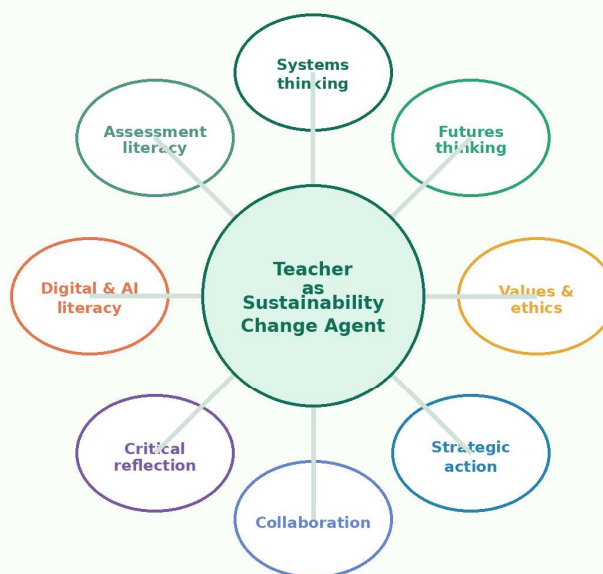


Figure 6. Teacher competence wheel for sustainable pedagogical transformation.

Digitalization, Artificial Intelligence and Sustainable Pedagogy

Digital transformation is increasingly connected with sustainable development in education. Digital tools can support access to information, data analysis, modelling, inclusive learning and personalized feedback. At the same time, digitalization creates ethical challenges related to privacy, inequality, misinformation, environmental costs and algorithmic bias. Therefore, digital pedagogy should be guided by a human-centred sustainability perspective.

UNESCO states that AI has the potential to address major challenges in education, innovate teaching and learning and accelerate progress toward SDG 4, while also bringing risks that require policy and ethical governance [16]. UNESCO's guidance on generative AI in education and research stresses the need for a human-centred vision, data privacy, inclusion, equity, cultural diversity and long-term capacity building [17]. These principles are directly relevant to pedagogical transformation because AI should not replace the teacher's professional judgement or the learner's agency. It should support inquiry, feedback, accessibility and responsible creativity.

In sustainability education, digital tools can be used for data collection, school resource monitoring, collaborative mapping, simulation, climate scenarios, reflection journals and portfolio assessment. However, the purpose of technology should be pedagogical rather than decorative. A digital tool is valuable when it helps learners understand complexity, compare alternatives, justify decisions and evaluate consequences.

Research Gap and Scientific Rationale

The analysis of international frameworks and research literature makes it possible to formulate the research gap as follows: despite strong global policy support for ESD and sustainable development education, many schools still lack an operational model that connects curriculum mapping, transformative pedagogy, teacher competence, assessment evidence and whole-school governance into one coherent transformation mechanism.

This gap has several dimensions. First, there is a curriculum mapping gap: sustainability themes are present, but they are not always connected to specific competences and assessment criteria. Second, there is a pedagogical gap: teachers may discuss sustainability but not necessarily use transformative, action-oriented learning strategies. Third, there is an assessment gap: sustainability competences are rarely evaluated through rubrics, portfolios or real-world evidence.

Fourth, there is an institutional gap: school governance and operations may not be connected with classroom learning. Fifth, there is a digital ethics gap: digital tools and AI may be introduced without a sustainability-oriented pedagogical purpose.

The scientific significance of the proposed model lies in connecting these separate gaps. Instead of treating sustainable development as one more curriculum topic, the model treats it as a design principle for the whole learning environment. This approach can support research on implementation, teacher education and school improvement because it provides observable indicators of transformation.

Proposed Model: Pedagogical Transformation for Sustainable Development

The proposed Pedagogical Transformation for Sustainable Development Model consists of five interconnected layers. The first layer is policy alignment, where global and national sustainability aims are interpreted for the school context. The second layer is curriculum mapping, where topics are connected with SDG-related concepts, sustainability competences and learning evidence. The third layer is transformative pedagogy, where learners engage in inquiry, projects, dialogue, fieldwork and action. The fourth layer is assessment, where learning evidence is collected through rubrics, portfolios, presentations, data products and reflection. The fifth layer is institutional feedback, where assessment results and school sustainability data inform improvement planning.

A key feature of the model is feedback. Sustainable pedagogy should not end with a lesson. It should generate evidence that helps the school understand what learners know, what they value, what they can do and what support teachers need. This evidence can then be used to improve curriculum design, teacher learning and community partnerships.

Implementation Roadmap for Sustainable Pedagogical Transformation

A scalable cycle for schools, teacher teams and education authorities

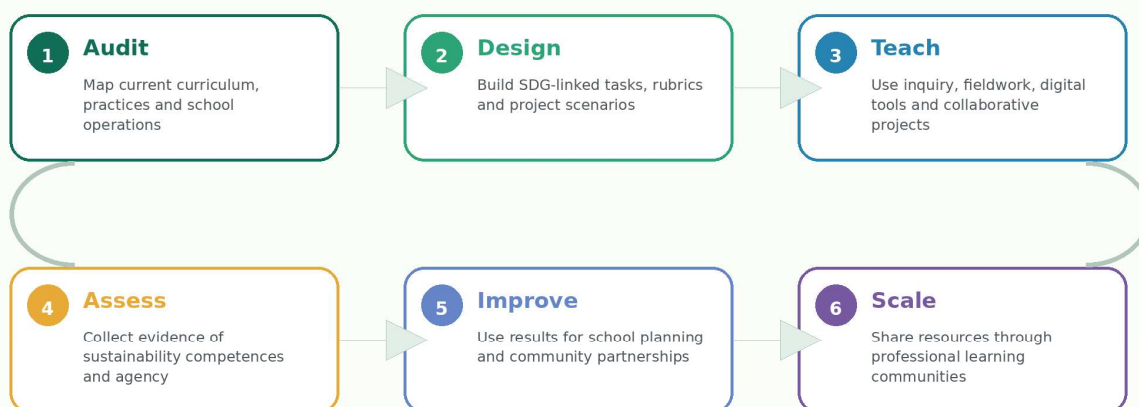


Figure 7. Implementation roadmap for sustainable pedagogical transformation at classroom, school and system levels.

Table 2. Implementation matrix for the Pedagogical Transformation for Sustainable Development Model.

Stage	Main action	School-level product	Assessment evidence	Expected result
1. Audit	Analyse curriculum, teacher readiness, school operations and community context.	Baseline sustainability profile.	Document review, surveys, observation.	Clear understanding of starting conditions.
2. Mapping	Connect topics with SDG concepts, competences and tasks.	SDG curriculum map.	Mapped lesson objectives and task bank.	Coherent planning instead of fragmented activities.
3. Pedagogical design	Create inquiry, project and problem-based learning scenarios.	Lesson/project scenarios.	Student products, discussions, field notes.	Learner agency and real-world relevance.
4. Assessment	Use rubrics and portfolios for sustainability competences.	Competence assessment toolkit.	Rubrics, portfolios, presentations.	Measurable learning outcomes.
5. Governance feedback	Use evidence for school improvement and partnerships.	Annual sustainability action plan.	Dashboard, report, reflection meeting.	Institutionalization and scaling.

Research Questions, Aim and Objectives

Based on the identified gap, a research project on this topic may be structured around the following questions. First, how can sustainable development be systematically integrated into curriculum, pedagogy and assessment without overloading teachers or reducing sustainability to isolated topics? Second, which teacher competences are most important for implementing transformative sustainability pedagogy? Third, how can school governance and operations become learning resources for sustainable development? Fourth, what assessment tools can validly capture sustainability competences, learner agency and evidence of action? Fifth, how can digital tools and AI be used ethically to support sustainable learning rather than superficial innovation?

The general aim of the study is to develop and justify a model of pedagogical transformation of education in the context of sustainable development, integrating competence-based curriculum mapping, transformative pedagogy, whole-school implementation, teacher professional learning and assessment evidence.

The specific objectives are: (1) to analyse official international frameworks and peer-reviewed literature on ESD, SDG 4.7, whole-school approaches and sustainability competences; (2) to define the core dimensions of pedagogical transformation for sustainable development; (3) to design a practical model for curriculum, pedagogy and assessment alignment; (4) to propose teacher competence indicators and assessment tools; and (5) to identify implementation directions for schools and teacher education institutions.

Methodological Design for Future Empirical Research

Although this article is primarily conceptual and analytical, it can serve as the basis for future empirical research. A mixed-methods design would be appropriate because pedagogical transformation includes both measurable and interpretive dimensions. The quantitative part may

include teacher surveys, student competence rubrics, pre- and post-assessment of sustainability knowledge and analysis of school-level indicators. The qualitative part may include interviews, focus groups, lesson observations, portfolio analysis and case studies of school projects.

The research sample may include schools that are beginning to integrate sustainable development into teaching and learning, as well as schools that already have environmental or civic education initiatives. Comparative analysis would make it possible to identify the difference between episodic sustainability activities and systematic pedagogical transformation. Validity can be strengthened through triangulation: comparing curriculum documents, teacher responses, student products and school governance evidence.

The main empirical indicators may include: explicit SDG links in curriculum plans, frequency of action-oriented learning tasks, quality of student project evidence, teacher confidence in ESD pedagogy, use of competence-based assessment rubrics, learner participation in school improvement and the presence of sustainability goals in school development planning.

Discussion: Conditions for Successful Transformation

The discussion leads to three major conditions. The first condition is coherence. Sustainability education becomes transformative when policy, curriculum, pedagogy and assessment point in the same direction. If the curriculum promotes sustainable development but assessment rewards only memorization, teachers will naturally focus on recall. If teacher education promotes action-oriented pedagogy but school leadership values only rapid completion of content, implementation will remain weak.

The second condition is professional support. Teachers need time, resources and collaborative communities to design sustainability learning. Professional development should include practical lesson design, interdisciplinary planning, assessment rubrics, facilitation of dialogue and ethical digital tool use. It should also include reflection, because sustainability issues are often uncertain, value-laden and context-specific.

The third condition is evidence. Sustainable pedagogical transformation must be visible. Evidence does not mean reducing complex learning to simple numbers. It means collecting meaningful indicators: student questions, project outputs, data analyses, reflective writing, community action, rubric scores and school improvement decisions. Evidence makes it possible to move from symbolic commitment to real improvement.

Practical Recommendations

First, schools should begin with a sustainability audit of curriculum content, teaching practices, assessment tools and school operations. This audit should identify what is already present and what remains fragmented. Second, teacher teams should develop an SDG curriculum map that links topics with competences and assessment criteria. Third, at least one interdisciplinary project per term should be designed around a real sustainability issue in the school or local community. Fourth, student assessment should include rubrics for systems thinking, collaboration, values reasoning and action planning. Fifth, digital tools should be used for inquiry, data visualization and feedback, not only for presentations. Sixth, school leaders should include sustainability learning indicators in the school development plan.

Teacher education institutions should also revise their programs. Future teachers need modules on ESD, transformative pedagogy, competence assessment, inclusive sustainability education and ethical AI use. Teaching practice should include the design and implementation of sustainability-oriented lessons and projects. Research supervisors can encourage students to study local problems such as water use, waste, green space, transport, climate risks, inclusion and community well-being through pedagogical inquiry.

Conclusion

Pedagogical transformation of education in the context of sustainable development is a strategic response to the complexity of contemporary global challenges. It requires a shift from

the transmission of isolated knowledge to the formation of integrated competences that enable learners to understand systems, evaluate values, imagine futures, collaborate with others and act responsibly. International frameworks such as ESD for 2030, SDG Target 4.7, the Green School Quality Standard, GreenComp and the OECD Learning Compass provide a strong foundation for this shift.

The analysis shows that sustainable development should not be treated as an additional topic in the curriculum. It should function as a design principle that connects curriculum, pedagogy, assessment, teacher professional learning and school governance. The whole-school approach is especially important because it transforms sustainability from a classroom message into a lived institutional practice. When school operations, leadership decisions and community partnerships support classroom learning, students experience sustainability as a real social process.

The proposed Pedagogical Transformation for Sustainable Development Model addresses the main gap between policy aspirations and educational practice. It provides a structured mechanism for aligning SDG-related learning objectives with transformative pedagogy, competence-based assessment and institutional feedback. The model can be adapted for school education, teacher education and professional development programs. Its practical value lies in helping educators move from fragmented sustainability activities to coherent, measurable and action-oriented learning systems.

Ultimately, education for sustainable development is not only about preparing learners for the future; it is about enabling them to participate in shaping that future. Pedagogical transformation therefore has both scientific and ethical significance. It invites schools, teachers and learners to build knowledge, responsibility and agency for a more just, peaceful and sustainable world.

References

- [1] UNESCO. (2020). Education for Sustainable Development: A roadmap. Paris: UNESCO.
<https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000374802>
- [2] United Nations Statistics Division. (2024). Goal 4: Quality education. SDG Indicators.
<https://unstats.un.org/sdgs/report/2024/goal-04/>
- [3] United Nations. (2024). The Sustainable Development Goals Report 2024. New York: United Nations.
<https://unstats.un.org/sdgs/report/2024/The-Sustainable-Development-Goals-Report-2024.pdf>
- [4] UNESCO. (2026). Education for sustainable development: Learning to act for people and planet.
<https://www.unesco.org/en/sustainable-development/education>
- [5] UNESCO. (2017). Education for Sustainable Development Goals: learning objectives. Paris: UNESCO.
<https://www.unesco.org/en/articles/education-sustainable-development-goals-learning-objectives>
- [6] United Nations. (2022). Transforming Education Summit. New York: United Nations.
<https://www.un.org/en/transforming-education-summit>
- [7] UNESCO. (2021). Reimagining our futures together: A new social contract for education. Paris: UNESCO.
<https://www.unesco.org/en/articles/reimagining-our-futures-together-new-social-contract-education>
- [8] UNESCO. (2023). Recommendation on Education for Peace, Human Rights and Sustainable Development.
<https://www.unesco.org/en/global-citizenship-peace-education/recommendation>
- [9] OECD. (2019). OECD Learning Compass 2030 concept note series. Paris: OECD.

https://www.oecd.org/content/dam/oecd/en/about/projects/edu/education-2040/1-1-learning-compass/OECD_Learning_Compass_2030_Concept_Note_Series.pdf

[10] UNESCO. (2024). Green school quality standard: Greening every learning environment. Paris: UNESCO.

<https://www.unesco.org/sites/default/files/medias/fichiers/2024/09/Green%20school%20quality%20standard%20Greening%20every%20learning%20environment.pdf>

[11] Mogren, A., Gericke, N., & Scherp, H.-A. (2019). Whole school approaches to education for sustainable development: A model that links to school improvement. *Environmental Education Research*, 25(4), 508-531.

<https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/13504622.2018.1455074>

[12] Bourn, D., Hunt, F., & Bamber, P. (2021). Transformative learning and pedagogical approaches in education for sustainable development. *Sustainability*, 13(16), 8973.

<https://www.mdpi.com/2071-1050/13/16/8973>

[13] Leicht, A., Heiss, J., & Byun, W. J. (Eds.). (2018). Issues and trends in education for sustainable development. Paris: UNESCO.

<https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000261445>

[14] Bianchi, G., Pisiotis, U., & Cabrera Giraldez, M. (2022). GreenComp: The European sustainability competence framework. Publications Office of the European Union.

<https://publications.jrc.ec.europa.eu/repository/handle/JRC128040>

[15] Wiek, A., Withycombe, L., & Redman, C. L. (2011). Key competencies in sustainability: A reference framework for academic program development. *Sustainability Science*, 6, 203-218.

<https://link.springer.com/article/10.1007/s11625-011-0132-6>

[16] UNESCO. (2025). Artificial intelligence in education. UNESCO Digital Education.

<https://www.unesco.org/en/digital-education/artificial-intelligence>

[17] Miao, F., & Holmes, W. (2023). Guidance for generative AI in education and research. Paris: UNESCO.

<https://www.unesco.org/en/articles/guidance-generative-ai-education-and-research>

[18] Redman, A., Wiek, A., & Barth, M. (2021). Competencies for advancing transformations towards sustainability. *Frontiers in Education*, 6, 785163.

<https://www.frontiersin.org/journals/education/articles/10.3389/feduc.2021.785163/full>

[19] United Nations Statistics Division. (2024). Metadata for SDG indicator 4.7.1 / 12.8.1 / 13.3.1.

<https://unstats.un.org/sdgs/metadata/files/Metadata-04-07-01.pdf>

[20] UNESCO. (2024/2025). Global Education Monitoring Report: Leadership in education.

<https://www.unesco.org/reports/gem-report/en/2024>

ВЗАИМОСВЯЗЬ ЯЗЫКА, ПСИХИКИ, ЛИЧНОСТИ И ОБЩЕСТВА В СОЦИАЛЬНО-ГУМАНИТАРНЫХ ИССЛЕДОВАНИЯХ: ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ПЕРСПЕКТИВЫ И ПЕДАГОГИЧЕСКИЕ ИМПЛИКАЦИИ ДЛЯ УНИВЕРСИТЕТСКОГО ОБУЧЕНИЯ ИНОСТРАННОМУ ЯЗЫКУ

Жазылбекова Диляра Дулатовна

Кафедра иностранных языков и межкультурной коммуникации, Казахский Университет Международных Отношений и Мировых Языков имени Абылай Хана, Казахстан, город Алматы

Биссенгалиева Сания Абзалқызы

Кафедра иностранных языков и межкультурной коммуникации, Казахский Университет Международных Отношений и Мировых Языков имени Абылай Хана, Казахстан, город Алматы

Пернебай Акжунис Асылбекқызы

Кафедра иностранных языков и межкультурной коммуникации Казахский Университет Международных Отношений и Мировых Языков имени Абылай Хана, Казахстан, город Алматы

Муктар Жазира Амангельдықызы

Кафедра иностранных языков и межкультурной коммуникации, Казахский Университет Международных Отношений и Мировых Языков имени Абылай Хана, Казахстан, город Алматы

АННОТАЦИЯ

Настоящее исследование изучает взаимозависимость языка, человеческой психики, личности и социальных структур, рассматриваемых в рамках современного социально-гуманитарного знания, и выявляет педагогические следствия этих взаимозависимостей для университетских программ обучения иностранному языку. Опираясь на социолингвистику, когнитивно-развивающую психологию и социологическую теорию, исследование доказывает, что язык функционирует одновременно как коммуникативное средство, двигатель интеллектуального роста и пространство, в котором формируются личные и коллективные идентичности. Эмпирическая оценка потребностей, проведённая с участием 24 студентов магистратуры, обучающихся по программе двуязычной педагогической подготовки, показала, что препятствия, с которыми чаще всего сталкиваются учащиеся при общении на втором языке, коренятся в аффективных и социокультурных факторах, а не в пробелах формальных языковых знаний. Из этих данных выведены четыре прикладных принципа для современной университетской педагогики: подход к обучению языку как к культурно укоренённой практике, признание внутреннего психологического мира

обучающихся соагентом освоения языка, проектирование аудитории как места социального формирования и реализация учебных программ, объединяющих лингвистические, культурные и психологические цели в единый образовательный опыт. Исследование заключает, что значимый прогресс в обучении иностранному языку зависит от парадигмального сдвига в сторону целостного, личностно-ориентированного преподавания.

Ключевые слова: язык и познание; прикладная социолингвистика; психологические аспекты изучения языка; конструирование идентичности; гуманистическая педагогика; усвоение второго языка; методология высшего образования; коммуникативное развитие

THE INTERCONNECTION OF LANGUAGE, PSYCHE, PERSONALITY AND SOCIETY IN SOCIO-HUMANITARIAN RESEARCH: THEORETICAL PERSPECTIVES AND PEDAGOGICAL IMPLICATIONS FOR UNIVERSITY-LEVEL FOREIGN LANGUAGE INSTRUCTION

Zhazyzbekova Dilyara Dulatovna

Department of Foreign Languages and Intercultural Communication, Kazakh Ablai Khan University of International Relations and World Languages, Kazakhstan, Almaty

Bisengaliyeva Saniya Abzalkyzy

Department of Foreign Languages and Intercultural Communication, Kazakh Ablai Khan University of International Relations and World Languages, Kazakhstan, Almaty

Pernebay Akzhunis Asylbekkyzy

Department of Foreign Languages and Intercultural Communication, Kazakh Ablai Khan University of International Relations and World Languages, Kazakhstan, Almaty

Muktar Zhazira Amangeldyzy

Department of Foreign Languages and Intercultural Communication, Kazakh Ablai Khan University of International Relations and World Languages, Kazakhstan, Almaty

ABSTRACT

The present study investigates the interdependence of language, the human psyche, personality, and social structures as conceptualized within current socio-humanitarian scholarship, and draws out the educational consequences of these interdependencies for university foreign language programmes. Grounding its analysis in sociolinguistics, cognitive-developmental psychology, and sociological theory, the research argues that language operates at once as a communicative medium, a driver of intellectual growth, and a space in which personal and collective identities are negotiated. An empirical needs assessment carried out with 24 graduate-level students enrolled in a dual-language teacher education programme revealed that the obstacles most commonly encountered in second-language communication are rooted in affective and socio-cultural factors rather than in gaps of formal linguistic knowledge. Four actionable principles for contemporary university pedagogy are derived from these findings: approaching language instruction as culturally situated practice, acknowledging learners' inner psychological world as a co-agent of acquisition, designing the classroom as a site of social formation, and implementing curriculum that merges linguistic, cultural, and psychological objectives into unified learning experiences. The study concludes that meaningful progress in foreign language education depends on a paradigm shift toward holistic, person-oriented instruction.

Keywords: language and cognition; applied sociolinguistics; psychological aspects of language learning; identity construction; humanistic pedagogy; second language acquisition; higher education methodology; communicative development

1. Introduction

Contemporary socio-humanitarian scholarship increasingly recognizes that language, the human psyche, personal development, and social organization are not autonomous phenomena - they constitute a mutually conditioning system through which people make sense of the world, form relationships, and grow as members of communities. This recognition carries profound implications for university-level foreign language teaching, where the field has long moved past viewing instruction as mere transmission of grammatical patterns, acknowledging instead that acquiring a new language is a deeply cognitive, affective, and culturally embedded undertaking. The bond between language and thought was powerfully articulated by Vygotsky [1, c. 56], who held that verbal expression does not simply reflect pre-existing ideas but is the very medium through which thinking takes shape. This insight positions language as foundational to intellectual development rather than derivative of it. Complementing this, Sapir [2, c. 209] drew attention to the way linguistic categories orient speakers toward particular ways of structuring social experience, making language not a transparent window onto reality but an active organizer of it.

Psychological factors are equally decisive in determining how individuals engage with language. Memory, selective attention, emotional states, and motivational orientation all bear directly on how efficiently a learner acquires and uses a new linguistic code. Bruner [3, c. 14] underscored that genuine learning cannot be separated from the construction of personal meaning within a cultural frame - a principle with clear implications for instruction that aims at authentic communicative capacity rather than rote performance.

Personal identity, meanwhile, emerges from an ongoing dialogue between the individual and the social world. Mead [4, c. 135] traced the formation of selfhood to the internalization of social roles and communicative encounters with significant others. Language, in this view, is the primary channel through which the individual negotiates belonging, status, and purpose within society. The present paper examines these interlocking relationships systematically and translates the resulting theoretical picture into a set of evidence-based pedagogical recommendations for university foreign language instruction.

The study addresses a genuine gap in current practice. Accelerating globalization, expanding digital communication, and intensifying cross-cultural professional encounters demand that graduates possess not only technical command of a foreign language but also the intercultural sensitivity, emotional resilience, and communicative flexibility to deploy that command effectively. Meeting this demand requires an educational approach that treats the learner's psychological and socio-cultural profile as central rather than peripheral to the instructional design.

2. Theoretical and Methodological Foundations

2.1 Language as a Socio-Cultural Phenomenon

A productive starting point for understanding language is to situate it within the broader fabric of social and cultural life. Rather than a self-contained code of forms and rules, language constitutes a practice through which communities reproduce their values, organize collective memory, and structure the norms governing interaction. This view, central to the Sapir-Whorf tradition [2, c. 210], implies that linguistic categories shape perception and thought in ways that cannot be disentangled from the cultural contexts in which they operate.

Vygotsky's work [1, c. 78] provides a complementary developmental account: advanced cognitive capacities grow out of socially mediated communication. Dialogue is not merely a vehicle for pre-formed thoughts but the generative space in which concepts, reasoning patterns, and cultural schemas are first constructed and then internalized. Through conversation, learners

absorb not only words and syntax but the socially ratified ways of interpreting and acting upon the world that those words encode.

Language further functions as a marker and instrument of identity. Membership in professional, regional, ethnic, or generational groups is continuously signalled and reinforced through lexical choice, prosody, and discourse conventions. Kramsch [5, c. 27] describes this as the way linguistic behavior simultaneously expresses and constitutes the speaker's cultural position. As societies grow more mobile and multicultural, the capacity to navigate multiple linguistic identities and to adapt communicative style to shifting interactional contexts becomes a core life skill.

For university foreign language pedagogy, these considerations translate into a clear imperative: instruction must go beyond formal accuracy and engage learners in authentic communicative encounters where the pragmatic, sociocultural, and affective dimensions of real-world language use are foregrounded. Curriculum design needs to incorporate tasks that situate language within recognizable social contexts, supporting the development of what Dell Hymes [15, c. 277] termed communicative competence -the ability to use language appropriately, not merely correctly.

2.2 The Psyche and Its Role in Language Acquisition

The psychological interior of the learner - comprising cognitive architecture, affective states, motivational dynamics, and self-concept - shapes the entire trajectory of language development. Cognitive psychology has documented how perception, working memory, attention allocation, and inferential reasoning condition the uptake and consolidation of new linguistic material. Piaget's constructivist framework [6, c. 43] is instructive here: cognitive growth is driven by active engagement with experience rather than passive absorption of information. Learners restructure their existing mental representations in response to new linguistic input, a process that unfolds differently depending on the learner's current stage of development and prior knowledge base.

Affective factors exert an equally powerful influence. Vygotsky [1, c. 112] resisted any clean separation between intellectual and emotional processes, insisting that feeling and cognition operate as unified aspects of mental life. Empirical work in second language acquisition has borne this out: Krashen's affective filter hypothesis [7, c. 30] describes how elevated anxiety, low self-esteem, or defensive attitudes can functionally block the processing of comprehensible input, suppressing acquisition even when formal exposure is adequate. Conversely, an emotionally secure and intellectually engaged learner is more likely to take the communicative risks - attempting unfamiliar structures, tolerating ambiguity, seeking feedback - that accelerate progress.

Motivational orientation is a further crucial determinant. Deci and Ryan's self-determination framework [8, c. 55] distinguishes between forms of motivation that are rooted in personal interest and autonomous choice versus those driven by external contingencies such as grades or social approval. The former has been consistently linked to deeper processing, greater persistence, and ultimately superior outcomes in language learning. Maslow's account of human needs [10, c. 383] adds a structural dimension: unless learners feel safe, accepted, and respected within the learning environment, the higher-order cognitive and creative engagement required for genuine communicative development is unlikely to emerge.

These individual psychological processes are themselves shaped by social participation. Vygotsky's zone of proximal development [1, c. 86] captures the way competencies that lie just beyond the learner's independent capacity become accessible through guided interaction. This principle positions the teacher and peers not merely as sources of information but as essential partners in psychological and linguistic growth. The classroom, in this framework, is a

developmental environment, and its social climate is as educationally significant as its curriculum content.

2.3 Personality Formation, Socialization, and Identity

Human personality cannot be understood apart from the social conditions under which it develops. Biological endowments provide a substrate, but the actual shaping of character, value systems, and self-perception occurs through sustained engagement with cultural settings, interpersonal relationships, and institutional structures. Socialization denotes the cumulative process by which norms, roles, and interpretive frameworks are transmitted and internalized; identity formation refers to the individual's active integration of this social experience into a coherent and personally meaningful sense of self.

Research by Sugimura and colleagues [11, c. 460] demonstrates that individual and collective dimensions of identity co-evolve: as people negotiate their place within social groups, they simultaneously develop a clearer sense of personal distinctiveness. This dialectical process is particularly visible in educational settings where learners must position themselves in relation to institutional roles, peer communities, and disciplinary cultures. The acquisition of a foreign language adds a further layer of complexity, confronting learners with the question of how a new linguistic identity relates to - and may enrich or challenge - their existing self-understanding.

Digital environments have introduced new dynamics into socialization processes. Ramdlani, Hoyria, and Laval [12, c. 80] document how online platforms extend the arenas in which self-presentation, social comparison, and identity negotiation take place, reshaping the boundaries of community and belonging for contemporary learners. Educational institutions retain central importance as socialization contexts: Terziev, Vasilyeva, and Andreeva [13, c. 5] demonstrate that schooling transmits not only knowledge but the communicative dispositions, civic attitudes, and cooperative capacities required for effective participation in shared social life. Foundational socialization, however, begins in the family: Makhmudova [14, c. 167] details how early relational patterns establish templates for emotional regulation, trust, and self-worth that persist throughout subsequent development.

3. Research Design and Methodology

The empirical component of this study was designed to ground the theoretical framework developed in Section 2 in concrete learner experience. The central premise that linguistic, psychological, and socio-cultural dimensions of development are inseparably linked was operationalized through a structured diagnostic inquiry into the actual difficulties encountered by advanced language learners in communicative practice.

A needs-assessment questionnaire was administered to a group of 24 graduate students specializing in dual-language teacher education at a university in Almaty, Kazakhstan. The instrument comprised ten items combining closed-response and open-ended formats, organized around three thematic clusters: first, difficulties in authentic oral and written communication; second, psychological obstacles including anxiety, confidence, and motivational factors; third, awareness of socio-cultural norms and intercultural communicative expectations. The theoretical anchoring of the questionnaire in the frameworks of the communicative approach [15, c. 277], Vygotskian socio-cultural theory [1, c. 86], and humanistic-personality pedagogy [8, c. 55; 10, c. 383] ensured that the resulting data could be directly connected to the instructional implications developed in Section 4. Data collection was conducted within a graduate seminar devoted to contemporary methodologies in university-level language instruction.

4. Findings and Discussion

4.1 Learner Needs Assessment: Survey Results

The diagnostic data, summarized in Table 1, paint a consistent picture: the obstacles that most significantly impede communicative development among graduate-level language learners are affective and socio-cultural in character, not primarily linguistic.

Таблица 1. Результаты диагностического опроса: коммуникативные, психологические и социокультурные затруднения (n = 24)

Identified Difficulty	Reported Frequency	Corresponding Theoretical Framework
Insufficient fluency when communicating outside the classroom	79%	Language as socio-cultural practice (§2.1)
Anxiety and reluctance to speak for fear of errors	71%	Affective regulation and emotional barriers (§2.2)
Challenges in selecting appropriate register across cultural contexts	63%	Sociolinguistic and pragmatic competence (§2.1)
Weak internal drive when engaged in grammar exercises	58%	Intrinsic versus extrinsic motivational orientation (§2.2)
Uncertainty regarding personal voice and identity in a second language	54%	Self-concept construction and socialization (§2.3)
Difficulty collaborating within culturally diverse groups	46%	Social interaction and personality formation (§2.3)

The most frequently reported difficulty - lack of fluency in authentic settings (79%) - points to a mismatch between the controlled conditions of traditional instruction and the unpredictable demands of genuine communicative encounters. The high incidence of speaking anxiety (71%) reflects the affective dimension of this gap: even learners with solid formal knowledge may be inhibited by fear of negative evaluation, a phenomenon captured theoretically by Krashen's affective filter construct [7, c. 31]. The notable proportion of students (54%) who express uncertainty about how to project a coherent identity through their second language suggests that the challenge is not merely performative but existential - a matter of self-definition and social belonging. Taken together, these findings provide robust empirical support for the theoretical argument that grammatical drilling and vocabulary memorization alone cannot prepare learners for real-world communicative participation.

4.2 Implications for Pedagogical Practice

Four evidence-based principles for university foreign language instruction emerge from the convergence of the theoretical analysis and the diagnostic findings.

First: language must be embedded in authentic socio-cultural contexts. If linguistic choices are inseparable from their cultural functions [2, c. 211], then tasks and materials must expose learners to the pragmatic, discourse, and register conventions operative in target-language communities. Working with authentic texts, video documents, and real-world communicative scenarios enables learners to develop the sociolinguistic competence that formal grammar exercises cannot build.

Second: the emotional and motivational life of the learner must be acknowledged as pedagogically significant. Reducing affective barriers — through collaborative activity structures, encouragement of experimental language use, and assessment practices that reward communicative risk-taking — creates the psychological conditions under which deeper acquisition can occur [7, c. 31; 8, c. 57]. Reflective components built into lesson design give learners space to process their developing relationship with the target language.

Third: the classroom must be consciously organized as a social environment. If identity is constructed through interaction [1, c. 90; 4, c. 140], then simulation activities, debates, project-based group work, and intercultural exchanges are not supplementary enrichment activities but core pedagogical instruments. They enable learners to experiment with different communicative roles and to develop the social and interpersonal competences that real-world language use demands.

Fourth: curriculum design must pursue integration rather than compartmentalization. Separating language skills, cultural content, and psychological wellbeing into discrete instructional modules fragments what learners experience as a unified challenge. Organizing instruction around substantive communicative tasks that simultaneously develop linguistic accuracy, cultural understanding, and personal confidence reflects the holistic nature of language as a human activity and aligns with learner-centered approaches that have gained wide acceptance in contemporary higher education pedagogy.

5. Conclusion

The research reported in this article demonstrates that advances in foreign language education require engaging simultaneously with the linguistic, psychological, and social dimensions of human development. The theoretical analysis established that these dimensions form an integrated system, and the empirical findings confirmed that the most common obstacles to communicative growth among advanced learners are affective and socio-cultural rather than narrowly linguistic. This convergence argues strongly for moving beyond instructional models focused on grammatical form and toward pedagogical approaches that treat language as a practice deeply embedded in personal psychology and social life.

The four principles proposed here - cultural contextualization, affective awareness, social classroom design, and integrative curriculum - offer a practical pathway toward more effective and more humanly responsive university language teaching. Each principle is anchored in established theoretical frameworks and supported by the diagnostic evidence gathered in the present study. Future work should subject the resulting instructional model to controlled evaluation across varied student populations and institutional settings, and should further investigate the relationship between L2 identity development and communicative outcomes over the full arc of a graduate programme.

Список литературы:

1. Vygotsky, L. S. (1978). *Mind in society: The development of higher psychological processes*. Harvard University Press.
2. Sapir, E. (1929). The status of linguistics as a science. *Language*, 5(4), 207–214.
3. Bruner, J. (1996). *The Culture of Education*. Harvard University Press.
4. Mead, G. H. (1934). *Mind, Self, and Society*. University of Chicago Press.
5. Kramsch, C. (1998). *Language and culture*. Oxford University Press.
6. Piaget, J. (1952). *The origins of intelligence in children*. International Universities Press.
7. Krashen, S. D. (1982). *Principles and practice in second language acquisition*. Pergamon Press.
8. Deci, E. L., & Ryan, R. M. (1985). *Intrinsic motivation and self-determination in human behavior*. Plenum Press.
9. Freud, S. (1915). The unconscious. In J. Strachey (Ed.), *The standard edition of the complete psychological works of Sigmund Freud* (Vol. 14, pp. 159–204). Hogarth Press.
10. Maslow, A. H. (1943). A theory of human motivation. *Psychological Review*, 50(4), 370–396.
11. Sugimura, K., et al. (2022). Personal identity and social identity: A complementary development. *Identity*, 22(4), 455–470.
12. Ramdlani, M., Hoyria, H., & Laval, V. (2021). Social media and self-presentation: Effects on identity development. *Journal of Social Psychology Research*, 18(2), 74–89.
13. Terziev, V., Vasilyeva, E., & Andreeva, A. (2020). Education as a social environment for personality formation. *International Journal of Educational Research*, 12(1), 1–12.
14. Makhmudova, S. (2021). Family socialization and personality development. *Psychology and Education*, 58(3), 163–172.
15. Hymes, D. (1972). On communicative competence. In J. B. Pride & J. Holmes (Eds.), *Sociolinguistics* (pp. 269–293). Penguin.

АЛМҰРТ СОРТТАРЫН ОҚЫТУДА ОҚУ ҚҰРАЛЫН ҚОЛДАНУДЫҢ ТӘЖІРИБЕЛІК НӘТИЖЕЛЕРІ ЖӘНЕ ӘДІСТЕМЕЛІК ҰСЫНЫСТАР

Исаев Ғани Исаұлы

техн.ғ.к., профессор м.а., Қожа Ахмет Ясауи атындағы Халықаралық қазақ-түрік университеті, Түркістан, Қазақстан Республикасы

Дәнебек Ақерке Бердібекқызы

Қожа Ахмет Ясауи атындағы Халықаралық қазақ-түрік университетінің магистранты, Түркістан, Қазақстан Республикасы

Аңдатпа. Мақалада «Алмұрт (*Pyrus L.*) сорттарының биологиялық ерекшеліктерін зерттеу және селекциялық бағалау әдістемесі» тақырыбында әзірленген электрондық оқу құралын оқу үдерісінде қолданудың тәжірибелік нәтижелері қарастырылды. Зерттеудің мақсаты – алмұрт сорттарын оқытуда электрондық оқу құралын қолданудың тиімділігін анықтау және оның білімгерлердің теориялық біліміне, аналитикалық ойлауына, практикалық дағдылары мен зерттеушілік құзыреттеріне әсерін бағалау. Зерттеу жоғары оқу орнының 3-курс білімгерлері арасында жүргізілді, зерттеуге 42 білімгер қатысты. Негізгі зерттеу әдісі ретінде педагогикалық эксперимент қолданылды. Эксперимент барысында электрондық оқу құралы оқу бағдарламасына енгізіліп, білімгерлердің когнитивтік, аналитикалық, практикалық және зерттеушілік критерийлер бойынша нәтижелері салыстырылды. Зерттеу нәтижелері электрондық оқу құралын қолдану білімгерлердің алмұрт сорттарының биологиялық ерекшеліктерін меңгеру деңгейін, селекциялық бағалау жүргізу қабілетін және тәжірибелік-зерттеушілік әрекеттерін айтарлықтай арттырғанын көрсетті. Алынған нәтижелер электрондық оқу құралдарының ауылшаруашылық селекциясы пәндерін оқытудағы ғылыми-әдістемелік тиімділігін дәлелдейді.

Кілт сөздер: алмұрт сорттары, *Pyrus L.*, электрондық оқу құралы, ауылшаруашылық селекциясы, биологиялық ерекшеліктер, селекциялық бағалау, педагогикалық эксперимент, зерттеушілік дағдылар, тәжірибелік оқыту, агробиологиялық білім беру.

Алмұрт дақылы – ауылшаруашылық селекциясы мен жеміс шаруашылығы саласында жоғары экономикалық және биологиялық маңызға ие жеміс ағаштарының бірі. Қазіргі кезеңде алмұрт сорттарының морфологиялық, физиологиялық және агробиологиялық ерекшеліктерін ғылыми негізде оқыту болашақ биология, агрономия және селекция бағытындағы білімгерлердің кәсіби құзыреттілігін қалыптастыруда ерекше рөл атқарады. Осыған байланысты жоғары және арнаулы білім беру жүйесінде теориялық білімді тәжірибелік мазмұнмен ұштастыра отырып ұйымдастыру қажеттілігі артып келеді. Әсіресе, оқу процесінде арнайы әзірленген оқу құралдарын пайдалану білімгерлердің сорттық ерекшеліктерді кешенді қабылдауына, зерттеушілік әрекетке бейімделуіне және практикалық талдау дағдыларын дамытуға мүмкіндік береді.

Бүгінгі таңда білім беру кеңістігінде дәстүрлі ақпарат беру моделінен құзыреттілікке негізделген оқыту парадигмасына көшу жүзеге асырылуда. Бұл үрдіс ауылшаруашылық селекциясы пәндерін оқыту әдістемесіне де тікелей әсер етуде. Алмұрт сорттарын оқыту барысында білімгерлер тек сорттардың ботаникалық сипаттамаларын меңгерумен шектелмей, олардың экологиялық бейімділігі, өнімділігі, аурулар мен зиянкестерге төзімділігі, климаттық факторларға реакциясы және шаруашылықтағы маңызы жөнінде кешенді ғылыми түсінік қалыптастыруы қажет. Осындай күрделі мазмұнды тиімді меңгерту оқу құралдарының сапасы мен әдістемелік құрылымына тәуелді болады.

Ғылыми-әдістемелік әдебиеттерге жүргізілген талдау ауылшаруашылық селекциясы бағытында әзірленетін оқу құралдарының көпшілігі теориялық ақпаратты беруге бағытталғанын, ал тәжірибелік тапсырмалар жүйесі, зертханалық жұмыстар, далалық бақылау элементтері мен визуалды-аналитикалық материалдардың жеткіліксіз деңгейде қамтылатынын көрсетті. Сонымен қатар, алмұрт сорттарын оқытуда білімгерлердің шығармашылық және зерттеушілік белсенділігін арттыруға арналған әдістемелік ұсыныстардың жүйеленбеуі де өзекті мәселелердің бірі болып табылады. Бұл жағдай оқу құралдарын тек ақпарат көзі ретінде емес, тәжірибелік-бағдарлы оқытудың интегративті компоненті ретінде қайта қарастыру қажеттігін айқындайды.

Осыған орай зерттеу жұмысының өзектілігі алмұрт сорттарын оқыту процесінде қолданылатын оқу құралының тәжірибелік тиімділігін анықтау және оны қолдануға арналған ғылыми-әдістемелік ұсыныстарды негіздеумен сипатталады. Зерттеу барысында оқу құралының білімгерлердің танымдық белсенділігіне, сорттық ерекшеліктерді ажырату қабілетіне, салыстырмалы талдау жүргізу дағдыларына және тәжірибелік зерттеу әрекеттеріне ықпалы қарастырылады. Сонымен қатар, оқу құралын қолдану арқылы білімгерлердің агробиологиялық білімді жүйелеу, тәжірибелік тапсырмаларды орындау және ғылыми пайымдау қабілеттерін дамыту мүмкіндіктері талданады.

Зерттеудің мақсаты – алмұрт сорттарын оқытуда оқу құралын қолданудың тәжірибелік нәтижелерін ғылыми тұрғыдан талдау және оны білім беру процесінде тиімді пайдалануға бағытталған әдістемелік ұсыныстар әзірлеу.

Зерттеу нысаны – ауылшаруашылық селекциясы пәнін оқыту процесі.

Зерттеу пәні – алмұрт сорттарын оқытуда оқу құралын қолданудың әдістемелік ерекшеліктері мен тәжірибелік нәтижелері.

Зерттеудің ғылыми болжамы: егер алмұрт сорттарын оқыту барысында құрылымдық жағынан жүйеленген, тәжірибелік тапсырмалармен және визуалды-аналитикалық материалдармен толықтырылған оқу құралы қолданылса, онда білімгерлердің сорттық ерекшеліктерді меңгеру деңгейі, зерттеушілік белсенділігі және тәжірибелік дағдылары тиімді қалыптасады.

Зерттеудің ғылыми жаңалығы оқу құралын қолданудың тәжірибелік нәтижелерін ауылшаруашылық селекциясы пәнінің мазмұнымен байланыстыра отырып кешенді талдауда, сондай-ақ алмұрт сорттарын оқытуға арналған әдістемелік ұсыныстар жүйесін ұсынуда көрінеді. Зерттеу нәтижелері ауылшаруашылық селекциясы, жеміс шаруашылығы және биологиялық білім беру бағыттарындағы пәндерді оқыту әдістемесін жетілдіруге теориялық және практикалық негіз бола алады.

Алмұрт сорттарын оқытуда оқу құралын қолдану мәселесі екі ғылыми бағыттың тоғысында қарастырылады: біріншісі – алмұрт сорттарының агробиологиялық, морфологиялық және сапалық ерекшеліктерін зерттеу; екіншісі – оқу құралдарының білімгерлердің тәжірибелік, зерттеушілік және кәсіби құзыреттіліктерін қалыптастырудағы әдістемелік әлеуеті. Осы тұрғыдан алғанда, алмұрт сорттарын оқыту тек теориялық ақпаратты меңгертумен шектелмей, сорттарды салыстыру, агробиологиялық көрсеткіштерді

талдау, бейімділік пен өнімділік белгілерін бағалау, сондай-ақ тәжірибелік тапсырмалар арқылы білімгерлердің ғылыми ойлауын дамытуға бағытталуы тиіс.

Халықаралық зерттеулерде алмұрт сорттарын оқыту мен зерттеудің ғылыми негізі көбіне сорттық әртүрлілікті кешенді бағалау арқылы ашылады. А. Akagi және авторлар алмұрт сорттарының қанттар, органикалық қышқылдар мен полифенолдар құрамы бойынша елеулі айырмашылықтарға ие екенін дәлелдеп, сорттарды тек сыртқы морфологиялық белгілері арқылы емес, биохимиялық көрсеткіштері арқылы да салыстыру қажеттігін көрсетеді [1]. Бұл тұжырым оқу құралында алмұрт сорттарын сипаттағанда «сорт – сапалық белгі – биохимиялық көрсеткіш – шаруашылық маңызы» байланысын көрсету маңызды екенін дәлелдейді.

В. Lase және әріптестерінің Латвия жағдайында жүргізген зерттеуі алмұрт сорттарын бағалауда жергілікті климатқа бейімделу, өнімділік және жеміс сапасы негізгі өлшемдер болуы тиіс екенін көрсетеді [2]. Бұл дерек алмұрт сорттарын оқытуда білімгерлерге сорттың атауын жаттатудан гөрі, оны нақты экологиялық орта жағдайында талдауға үйрету қажеттігін айқындайды. Осыған ұқсас E. Fadón және авторлар дәстүрлі еуропалық алмұрт сорттарының агроклиматтық талаптары әртүрлі болатынын, салқындау және жылу қажеттілігі сорттың бейімделу мүмкіндігін анықтайтынын атап өтеді [3]. Демек, оқу құралында климаттық факторлар мен сорттық бейімділікті байланыстыратын кестелер, салыстырмалы тапсырмалар және аймақтық талдау жұмыстары болуы қажет.

Қазіргі зерттеулерде алмұрт сорттарын анықтауда цифрлық технологиялар да кеңінен қолданылуда. N. Li және авторлар жапырақ бейнелері арқылы 33 алмұрт сортын жіктеу әдісін ұсынып, сорттарды тануда визуалды белгілерді цифрлық өңдеу маңызды екенін көрсетеді [4]. Бұл нәтиже оқу құралында иллюстрациялар, фотосуреттер, QR-материалдар, морфологиялық салыстыру карталары мен интерактивті тапсырмаларды қолданудың әдістемелік негізін күшейтеді.

Ауылшаруашылық бағытындағы тәжірибелік оқытудың сапасы да зерттеушілер назарында. M.G.V. Kumar және авторлар ауылшаруашылық жоғары кәсіптік курстарында практикалық оқытуды бағалау білім алушылардың нақты әрекеттік дағдыларын қалыптастырумен тікелей байланысты екенін дәлелдейді [5]. Бұл алмұрт сорттарын оқытуда оқу құралы тек мәтіндік материал емес, зертханалық жұмыс, далалық бақылау, сорттық салыстыру және нәтижені талдау тапсырмаларын қамтитын тәжірибелік кешен болуы тиіс деген тұжырымға негіз болады.

Жоғары білім берудегі тиімді оқыту әдістеріне қатысты N.S. Bidabadi және авторлар аралас оқыту тәсілі, яғни оқытушы басшылығы мен білім алушының белсенді әрекетін біріктіру, нәтижелі оқытудың маңызды шарты екенін көрсетеді [6]. Бұл алмұрт сорттарын оқытуда оқу құралын білімгердің өзіндік жұмысына, топтық талдауына және оқытушы жетекшілігімен жүргізілетін тәжірибелік жұмыстарға бірдей бағыттау қажеттігін дәлелдейді. Ал L. Garay Abad және әріптестерінің зерттеуі оқу материалдары тек ақпарат тасымалдаушы емес, оқытуды жобалау мен кәсіби дамуды ұйымдастыру құралы екенін айқындайды [7]. Сондықтан алмұрт сорттарына арналған оқу құралының құрылымы әдістемелік тұрғыдан жүйелі, мақсатты және практикалық нәтижеге бағдарланған болуы қажет.

Қазақстандық зерттеулер алмұрт сорттарын жергілікті агроклиматтық жағдайлармен байланыстыра қарастырудың маңызын көрсетеді. S. Kazymbaeva және авторлар Қазақстанның оңтүстік және оңтүстік-шығыс аймақтарында жергілікті және интродукцияланған жеміс дақылдары сорттарын зерттеп, 25 алмұрт сорты мемлекеттік сорт сынағына ұсынылғанын, ал бағалау ерте жеміс беру, өнімділік, бейімділік, сақтау сапасы, аурулар мен зиянкестерге төзімділік бойынша жүргізілгенін көрсетеді [8]. Бұл зерттеу алмұрт сорттарын оқытуда Қазақстан жағдайына бейімделген нақты сорттық материалдарды енгізудің ғылыми негізін құрайды.

Е.У. Mailybayeva және авторлар Қазақстан селекциясындағы алмұрт сорттарының флавоноидтық құрамын зерттеп, Syilyk және Zhazdyk сорттарының бірқатар физика-химиялық және биологиялық белсенді көрсеткіштері жоғары екенін анықтаған [9]. Бұл дерек оқу құралында алмұрт сорттарын тек морфологиялық сипаттамамен емес, тағамдық, биохимиялық және технологиялық құндылығы тұрғысынан да оқыту қажет екенін дәлелдейді. Сонымен қатар Орталық Қазақстанның қуаң аймағында алма және алмұрт сорттарының тұқымдық өнімділігі зерттелген еңбекте алмұрт тұқымдарының толыққандылық көрсеткіші орташа 76% болғаны көрсетіледі [10]. Бұл материал сорттардың репродуктивтік әлеуетін түсіндіруде, селекциялық талдау тапсырмаларын құрастыруда және білімгерлердің тәжірибелік бақылау дағдыларын дамытуда маңызды.

Қазақстандық педагогикалық зерттеулер оқу құралының әдістемелік тиімділігін негіздеуге мүмкіндік береді. Г. Karimova зерттеуінде мұғалімдерге арналған әдістемелік нұсқаулықтың болашақ педагогтердің цифрлық ойын құралдарын қолдану қабілетіне оң әсер еткені статистикалық тұрғыдан дәлелденген [11]. Бұл оқу құралы дұрыс құрылымдалған жағдайда білімгердің әдістемелік және тәжірибелік әрекетін жүйелеуге қабілетті құрал екенін көрсетеді. Ф.Б. Бөрібекова мен Н.Ж. Жанатбекова еңбегінде қазіргі педагогикалық технологиялар оқу-тәрбие үдерісінің сапасын арттыруға, тұлғаның шығармашылық қабілетін дамытуға және оқыту мазмұнын жаңартуға мүмкіндік беретіні атап өтіледі [12]. Осы тұрғыдан алғанда, алмұрт сорттарын оқытуға арналған оқу құралы білімгердің дайын ақпаратты қабылдауына емес, салыстыру, талдау, қорытынды жасау және зерттеу нәтижесін ұсыну әрекеттеріне негізделуі тиіс.

Жинақтай айтқанда, қарастырылған дереккөздер алмұрт сорттарын оқытуда оқу құралын қолданудың ғылыми-әдістемелік маңызын жан-жақты дәлелдейді. Шетелдік зерттеулер алмұрт сорттарын агробиологиялық, биохимиялық, климаттық және цифрлық идентификация тұрғысынан кешенді зерттеудің қажеттігін көрсетсе, қазақстандық еңбектер жергілікті сорттық қорды, Қазақстан жағдайындағы бейімділік көрсеткіштерін және оқу құралдарының әдістемелік тиімділігін негіздейді. Сондықтан алмұрт сорттарын оқытуда қолданылатын оқу құралы теориялық мәлімет, тәжірибелік тапсырма, визуалды материал, салыстырмалы кесте, зертханалық жұмыс және әдістемелік ұсыныстарды біріктіретін кешенді дидактикалық ресурс ретінде қарастырылуы қажет.

Зерттеу жұмысы «Алмұрт (*Pyrus L.*) сорттарының биологиялық ерекшеліктерін зерттеу және селекциялық бағалау әдістемесі» тақырыбында әзірленген электрондық оқу құралын 3-курс білімгерлерінің оқу бағдарламасына енгізу және оның тәжірибелік тиімділігін анықтау мақсатында жүргізілді. Электрондық оқу құралы ауылшаруашылық селекциясы пәнінің мазмұнына сәйкес құрылымдалып, алмұрт сорттарының морфологиялық, физиологиялық, биохимиялық және селекциялық ерекшеліктерін кешенді зерттеуге бағытталды (1-сурет).

Сурет 1. Электронды оқу құралының мазмұны

★ Маңызды
Селекцияда ең бастысы – фенотипті емес, оның артындағы генотипті түсіну. Бұл жаңа сорттарды ғылыми негізде және мақсатты түрде қалыптастыруға мүмкіндік береді.

Ген, генотип, фенотип және аллель ұғымдары селекция ғылымының теориялық негізін құрайды. Оларды терең түсіну селекциялық процесті тиімді ұйымдастыруға, белгілердің қалыптасуын болжауға және жоғары сапалы сорттарды алуға мүмкіндік береді.

Алмұрт селекциясында тұқым қуалаушылық заңдылықтары жаңа сорттардың белгілерін қалыптастырудың негізін құрайды. Бұл заңдылықтар гендердің ұрпаққа берілу ерекшеліктерін, олардың өзара әрекеттесуін және фенотипте көріну сипатын түсіндіреді. Селекцияда тұқым қуалаушылық механизмдерін терең түсіну қажетті белгілерді мақсатты түрде біріктіруге және тұрақты генотиптер алуға мүмкіндік береді.

Доминанттылық – бір аллельдің (ген формасының) екінші аллельге қарағанда басым көрінуі. Егер белгілі бір белгі доминантты болса, ол гетерозиготалық жағдайда да фенотипте анық байқалады. Мысалы, алмұрттың кейбір сорттарында жеміс қабығының түсі доминантты гендер арқылы анықталып, бірінші ұрпақта біркелкі көрінуі мүмкін. Бұл селекцияда қажетті белгіні жылдам бекітуге мүмкіндік береді.

Рецессивтілік – генин жасырын түрде берілуі және тек гомозиготалық жағдайда ғана көрінуі.

- селекциядағы олардың рөлін түсіну

Кенес
Тест орындау кезінде келесі ұғымдарға назар аударыңыз: «генетикалық өзгергіштік», «модификациялық өзгергіштік», «бұданластыру», «рекомбинация», «полигенді белгі».

Өзін-өзі тексеру

- Сіз өзгергіштік түрлерін ажырата аламыз ба?
- Генетикалық өзгергіштіктің мазмұнын түсіндіріңіз бе? _____
- Селекциямен байланысын көрсете аламыз ба?

3. ВИДЕО ТАПСЫРМА: Генетиканың негізгі ұғымдары

Ғылыми бағыттама
Бұл бейнематериал генетиканың негізгі ұғымдарын (ген, генотип, фенотип, аллель) түсіндіруге және олардың селекциядағы рөлін визуалды түрде меңгеруге бағытталған.

Доминантты белгі Рецессивті белгі

Бейнематериал. Генетиканың негізгі ұғымдары

Тапсырма
Бейнематериалды қарап, сұрақтарға жауап беріңіз:
1. Ген дегеніміз не?

Сурет 3. Доминантты және рецессивті белгілердің өзара әсер етуі

Зерттеу жоғары оқу орнының 3-курс білімгерлері арасында жүргізілді. Зерттеуге жалпы саны 42 білімгер қатысты. Респонденттер ауылшаруашылық селекциясы және биологиялық пәндер бойынша базалық теориялық дайындықтан өткен білім алушылар қатарынан таңдалды. Зерттеу барысында электрондық оқу құралын оқу үдерісіне енгізудің білімгерлердің сорттық ерекшеліктерді тану, салыстырмалы талдау жүргізу және селекциялық бағалау дағдыларына әсері қарастырылды.

Педагогикалық эксперимент үш өзара байланысты кезеңнен тұрды: бастапқы анықтау кезеңі, қалыптастыру кезеңі және қорытынды бақылау кезеңі.

Бастапқы анықтау кезеңінде білімгерлердің алмұрт сорттарының биологиялық ерекшеліктері, морфологиялық көрсеткіштері және селекциялық бағалау жөніндегі бастапқы дайындық деңгейі анықталды. Бұл кезеңде білімгерлерге теориялық және практикалық сипаттағы тапсырмалар берілді. Атап айтқанда, сорттардың морфологиялық белгілерін ажырату, жеміс құрылымын сипаттау, сорттардың өнімдік ерекшеліктерін салыстыру және селекциялық құндылығын анықтау тапсырмалары орындалды.

Қалыптастыру кезеңінде әзірленген электрондық оқу құралы оқу бағдарламасына енгізілді. Оқу құралы дәріс, практикалық сабақ және өзіндік жұмыстар барысында қолданылды. Білімгерлер электрондық материалдар арқылы алмұрт сорттарының морфологиялық және физиологиялық ерекшеліктерін зерттеді, салыстырмалы кестелер толтырды, сорттық досье әзірледі және селекциялық бағалау элементтерін орындады.

Қорытынды бақылау кезеңінде білімгерлердің электрондық оқу құралын қолданғаннан кейінгі нәтижелері бастапқы көрсеткіштермен салыстырылды.

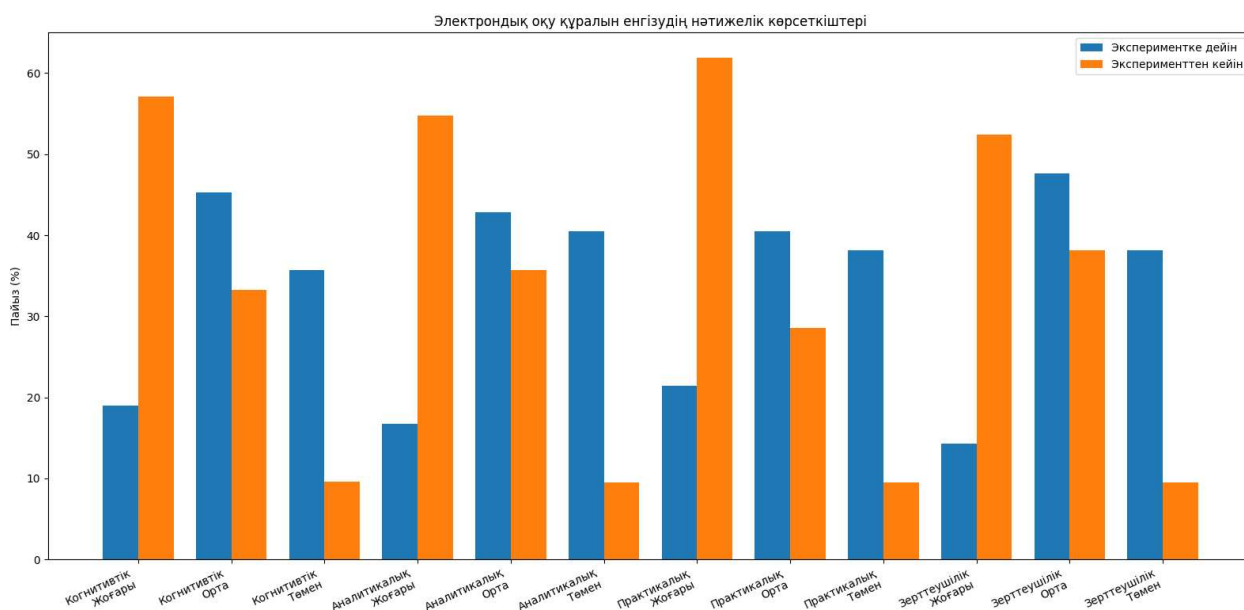
Педагогикалық эксперимент нәтижелерін бағалау бірнеше критерийлер негізінде жүргізілді. Бірінші критерий – когнитивтік критерий. Бұл критерий білімгерлердің алмұрт сорттарының биологиялық ерекшеліктері, морфологиялық көрсеткіштері және селекциялық бағалау негіздері жөніндегі теориялық білім деңгейін анықтауға бағытталды. Когнитивтік критерий бойынша білімгерлердің ғылыми терминдерді дұрыс қолдануы, сорттық айырмашылықтарды түсіндіруі және теориялық материалды талдауы есепке алынды.

Екінші критерий – аналитикалық критерий. Бұл критерий білімгерлердің сорттарды салыстыру, морфологиялық және физиологиялық көрсеткіштерді талдау, кестелік деректермен жұмыс істеу және ғылыми қорытынды жасау қабілетін анықтады. Аналитикалық критерий білімгерлердің биологиялық деректерді жүйелеу және селекциялық тұрғыдан бағалау дағдыларын сипаттады.

Үшінші критерий – практикалық критерий. Бұл критерий білімгерлердің тәжірибелік тапсырмаларды орындау сапасына негізделді. Практикалық критерий бойынша сорттық досье құрастыру, аналитикалық карта жасау, морфологиялық сипаттама беру және электрондық оқу құралындағы тәжірибелік жұмыстарды орындау деңгейі бағаланды.

Төртінші критерий – зерттеушілік критерий. Бұл критерий білімгерлердің бақылау жүргізу, салыстырмалы талдау жасау, дәлелді қорытынды ұсыну және зерттеу элементтерін қолдану қабілеттерін анықтауға бағытталды. Зерттеушілік критерий білімгерлердің ғылыми ойлау деңгейін және тәжірибелік зерттеу мәдениетін сипаттады.

Әрбір критерий бойынша жалпы нәтижелер 2-суретте көрсетілген:



Сурет 2. Электрондық оқу құралын енгізуге дейінгі және кейінгі нәтижелер

Зерттеу нәтижелерін талдау электрондық оқу құралын оқу бағдарламасына енгізу білімгерлердің алмұрт сорттарының биологиялық ерекшеліктерін меңгеру деңгейіне, аналитикалық ойлау қабілетіне, тәжірибелік әрекет сапасына және зерттеушілік құзыреттерінің қалыптасуына айқын оң әсер еткенін көрсетті. Эксперимент нәтижелері барлық критерийлер бойынша жоғары деңгей көрсеткіштерінің айтарлықтай өскенін және төмен деңгейдегі білімгерлер санының күрт азайғанын дәлелдеді. Бұл өзгерістер электрондық оқу құралының мазмұндық құрылымы мен тәжірибелік бағыттылығының тиімді ұйымдастырылғанын көрсетеді.

Когнитивтік критерий бойынша алынған нәтижелер білімгерлердің алмұрт сорттарының биологиялық ерекшеліктері жөніндегі теориялық білімінің едәуір тереңдегенін көрсетті. Экспериментке дейін жоғары деңгейдегі білімгерлер саны 8 адамды (19,0%) құраса,

эксперименттен кейін бұл көрсеткіш 24 білімгерге (57,1%) дейін өсті. Сонымен қатар төмен деңгейдегі білімгерлер үлесі 35,7%-дан 9,6%-ға дейін азайды. Бұл өзгеріс электрондық оқу құралындағы теориялық материалдардың құрылымдық жүйелілігімен, морфологиялық және физиологиялық көрсеткіштердің визуалды түрде берілуімен, сондай-ақ сорттық ерекшеліктерді салыстыруға арналған кестелер мен аналитикалық материалдардың тиімділігімен түсіндіріледі. Білімгерлер тек теориялық ақпаратты қабылдап қана қоймай, оны тәжірибелік тапсырмалармен байланыстыра алды. Әсіресе «Талғарская красавица» және «Дюшес» сорттарының салыстырмалы сипаттамалары білімгерлердің биологиялық заңдылықтарды нақты мысалдар арқылы түсінуіне мүмкіндік берді.

Аналитикалық критерий нәтижелері де электрондық оқу құралының селекциялық бағалау дағдыларын дамытудағы маңызын дәлелдеді. Экспериментке дейін жоғары деңгейдегі білімгерлер саны 16,7% болса, эксперименттен кейін бұл көрсеткіш 54,8%-ға жетті. Ал төмен деңгей 40,5%-дан 9,5%-ға дейін төмендеді. Бұл көрсеткіштер білімгерлердің морфологиялық және физиологиялық деректерді салыстыру, кестелік ақпаратты талдау, сорттардың селекциялық артықшылықтарын анықтау және ғылыми қорытынды жасау қабілеттерінің артқанын көрсетеді. Электрондық оқу құралында берілген аналитикалық карталар, сорттық досьелер және салыстырмалы кестелер білімгерлердің ақпаратты жүйелеу қабілетін дамытуға ықпал етті. Сонымен қатар, білімгерлер сорттардың өнімділігі, дәмдік сапасы, қышқылдық деңгейі және экологиялық бейімділігі арасындағы өзара байланысты түсіндіруде айқын прогресс көрсетті.

Практикалық критерий бойынша алынған нәтижелер электрондық оқу құралының тәжірибелік тапсырмаларды орындау сапасына тікелей әсер еткенін көрсетті. Жоғары деңгейдегі білімгерлер саны 21,4%-дан 61,9%-ға дейін өсті, ал төмен деңгей 38,1%-дан 9,5%-ға дейін азайды. Бұл өзгерістер білімгерлердің морфологиялық сипаттама беру, сорттық ерекшеліктерді анықтау, аналитикалық кестелер толтыру және тәжірибелік тапсырмаларды ғылыми негізде орындау қабілеттерінің жақсарғанын дәлелдейді. Электрондық оқу құралындағы кезең-кезеңімен ұйымдастырылған тәжірибелік жұмыстар білімгерлердің әрекеттік дағдыларын жүйелі түрде дамытуға мүмкіндік берді. Бұған қоса, визуалды материалдар мен құрылымдық нұсқаулықтардың болуы тәжірибелік әрекеттерді орындаудағы сенімділікті арттырды.

Зерттеушілік критерий бойынша нәтижелер ерекше назар аудартады. Экспериментке дейін жоғары деңгейдегі білімгерлер саны небәрі 14,3% болса, эксперименттен кейін бұл көрсеткіш 52,4%-ға дейін көтерілді. Төмен деңгейдегі білімгерлер саны 38,1%-дан 9,5%-ға дейін қысқарды. Бұл өзгерістер білімгерлердің бақылау жүргізу, ғылыми болжам ұсыну, салыстырмалы талдау жасау және дәлелді қорытынды шығару қабілеттерінің қалыптасқанын көрсетеді. Электрондық оқу құралы зерттеушілік тапсырмаларды тәжірибелік мазмұнмен ұштастыру арқылы білімгерлердің ғылыми ойлауын дамытуға ықпал етті. Әсіресе сорттық досье әзірлеу, биологиялық көрсеткіштерді салыстыру және селекциялық бағалау элементтерін орындау білімгерлердің зерттеу әрекетіне белсенді қатысуын қамтамасыз етті.

Жалпы нәтижелерді талдау электрондық оқу құралының тек ақпараттық ресурс емес, тәжірибелік-бағдарланған және зерттеушілік әрекетті ұйымдастырушы педагогикалық құрал ретінде тиімді болғанын көрсетті. Барлық критерийлер бойынша жоғары деңгей көрсеткіштерінің тұрақты өсуі білімгерлердің теориялық білімді тәжірибелік әрекетпен байланыстыра алғанын дәлелдейді. Сонымен қатар орта деңгейдегі білімгерлер санының біртіндеп жоғары деңгейге ауысуы оқу құралының жүйелі және ұзақ мерзімді педагогикалық әсерін сипаттайды.

Зерттеу нәтижелері «Алмұрт (Pyrus L.) сорттарының биологиялық ерекшеліктерін зерттеу және селекциялық бағалау әдістемесі» тақырыбында әзірленген электрондық оқу құралын оқу үдерісіне енгізу білімгерлердің теориялық білімін тереңдетуге, аналитикалық

ойлауын дамытуға және тәжірибелік-зерттеушілік құзыреттерін қалыптастыруға тиімді ықпал еткенін көрсетті. Электрондық оқу құралы алмұрт сорттарының морфологиялық, физиологиялық және селекциялық ерекшеліктерін кешенді түрде меңгертуге бағытталған құрылымдық жүйесі арқылы білімгерлердің оқу материалына деген танымдық белсенділігін арттырды.

Педагогикалық эксперимент нәтижелері барлық критерийлер бойынша жоғары деңгей көрсеткіштерінің айқын өскенін дәлелдеді. Әсіресе когнитивтік, аналитикалық, практикалық және зерттеушілік критерийлер бойынша төмен деңгейдегі білімгерлер санының азаюы және жоғары деңгейдегі білімгерлер үлесінің артуы электрондық оқу құралының әдістемелік тиімділігін көрсетті. Бұл өзгерістер оқу материалының визуалды-аналитикалық мазмұнының, тәжірибелік тапсырмалар жүйесінің және сорттық ерекшеліктерді салыстырмалы түрде оқытудың тиімді ұйымдастырылуымен байланысты болды.

Зерттеу барысында электрондық оқу құралының тек ақпараттық ресурс емес, сонымен қатар тәжірибелік әрекетті ұйымдастырушы және зерттеушілік ойлауды қалыптастырушы педагогикалық құрал ретінде маңызы анықталды. Білімгерлер сорттық ерекшеліктерді анықтау, морфологиялық сипаттама беру, селекциялық бағалау жүргізу және ғылыми қорытынды жасау барысында теориялық білімді тәжірибелік әрекетпен байланыстыра алды. Бұл электрондық форматтағы оқу материалдарының ауылшаруашылық селекциясы пәндерін оқытудағы дидактикалық әлеуетінің жоғары екенін дәлелдейді.

Сонымен қатар зерттеу нәтижелері электрондық оқу құралдарын ауылшаруашылық биологиясы және селекция бағытындағы пәндерге енгізу болашақ мамандардың кәсіби құзыреттілігін қалыптастыруда маңызды рөл атқаратынын көрсетті. Электрондық оқу құралы білімгерлердің дербес жұмысын белсендіруге, аналитикалық деректермен жұмыс істеу қабілетін жетілдіруге және зерттеушілік мәдениетін дамытуға мүмкіндік берді. Осы тұрғыдан алғанда, алмұрт сорттарын оқытуда қолданылған электрондық оқу құралы тәжірибелік-бағдарланған білім берудің тиімді үлгісі ретінде бағаланады.

Зерттеу нәтижелері ауылшаруашылық селекциясы, жеміс шаруашылығы және биологиялық білім беру бағыттарындағы пәндерді оқыту әдістемесін жетілдіруге ғылыми-әдістемелік негіз бола алады. Болашақта электрондық оқу құралдарының мазмұнын кеңейту, интерактивті технологиялармен толықтыру және басқа жеміс дақылдарын оқытуға бейімдеу осы бағыттағы зерттеулердің перспективалы бағыты болып табылады.

Бұл мақала AP26101971 «PISA зерттеулерінің негізінде оқушылардың жаратылыстану бағытындағы функционалдық сауаттылығын қалыптастырудың әдістемелік негіздерін даярлау (Түркістан облысы мысалында)» атты гранттық жоба есебінен жарияланды.

ӘДЕБИЕТТЕР ТІЗІМІ

- 1 Akagić A. et al. A comparative study of ten pear (*Pyrus communis* L.) cultivars in relation to the content of sugars, organic acids, and polyphenol compounds //Foods. – 2022. – Т. 11. – №. 19. – С. 3031.
- 2 Lāce B., Lācis G. Evaluation of pear (*Pyrus communis* L.) cultivars in Latvia. – 2015. – Т. 42. – №. 3. – С. 107-113.
- 3 Fadón E. et al. Agroclimatic requirements of traditional european pear (*Pyrus communis* L.) cultivars from Australia, Europe, and North America //Agronomy. – 2023. – Т. 13. – №. 2. – С. 518.
- 4 Li N. et al. Efficient identification and classification of pear varieties based on leaf appearance with YOLOv10 model //Horticulturae. – 2025. – Т. 11. – №. 5. – С. 489.
- 5 Kumar M. G. V. et al. Evaluation of the quality of practical teaching of agricultural higher vocational courses based on BP neural network //Applied Sciences. – 2023. – Т. 13. – №. 2. – С. 1180.
- 6 Bidabadi N. S. et al. Effective teaching methods in higher education: requirements and barriers //Journal of advances in medical education & professionalism. – 2016. – Т. 4. – №. 4. – С. 170.
- 7 Garay Abad L., Hattie J. The impact of teaching materials on instructional design and teacher development //Frontiers in Education. – Frontiers, 2025. – Т. 10. – С. 1577721.
- 8 Kazybaeva S. et al. Promising varieties of fruit crops of local and introduced selection in Kazakhstan //Bulletin of the Kyrgyz National Agrarian University. – 2025. – Т. 4. – №. 23. – С. 24-34.
- 9 Mailybayeva E. U. et al. The content of flavonoids in various varieties of pears of Kazakhstan selection //Agrarian science. – 2022. – №. 10. – С. 124-127.
- 10 Андрианова Н. Г. Семенная продуктивность сортов яблони и груши в Жезказганском ботаническом саду //ҚАЗАҚСТАН ҒЫЛЫМЫНЫҢ ЖАҢАЛЫҚТАРЫ. – 2012. – С. 72.
- 11 Karimova G. et al. DIGITAL APPROACHES FOR IMPLEMENTING GAME-BASED TECHNOLOGIES IN FOREIGN LANGUAGE TEACHING FOR STUDENTS //Scientific and analytical journal" Higher school of Kazakhstan". – 2025. – Т. 52. – №. 4. – С. 19-28.
- 12 Ф. Б. Бөрібекова, Н. Ж. Жанатбекова Қазіргі заманғы педагогикалық технологиялар: Оқулық. – Алматы: 2014. – 360 бет.

ЖАЛПАҚ ЖАПЫРАҚТЫ АҒАШТАРДЫҢ ҚОРҒАНЫС МЕХАНИЗМДЕРІН ЗЕРТТЕУ АРҚЫЛЫ БІЛІМгерлердің ФУНКЦИОНАЛДЫҚ САУАТТЫЛЫҒЫН АРТТЫРУ

Исаев Ғани Исаұлы

техн.ғ.к., профессор м.а., Қожа Ахмет Ясауи атындағы Халықаралық қазақ-түрік университеті, Түркістан, Қазақстан Республикасы

Нақыпова Жібек Бауыржанқызы

Қожа Ахмет Ясауи атындағы Халықаралық қазақ-түрік университетінің магистранты, Түркістан, Қазақстан Республикасы

Аннотация

Мақалада жалпақ жапырақты ағаштардың қорғаныс механизмдерін зерттеу арқылы білімгерлердің функционалдық сауаттылығын арттыру мәселесі қарастырылды. Зерттеу Қожа Ахмет Ясауи атындағы Халықаралық қазақ-түрік университетінің 2-3 курс білімгерлері арасында жүргізілді. Зерттеуге 62 респондент қатысты. Зерттеу барысында фитосанитарлық зерттеулерге негізделген арнайы электронды оқу құралы әзірленіп, оқу үдерісіне енгізілді. Білімгерлердің функционалдық сауаттылығы когнитивтік, практикалық-зерттеушілік, аналитикалық, функционалдық-қолданбалы және рефлексивтік критерийлер бойынша бағаланды. Зерттеу нәтижелері электронды оқу құралын қолдану білімгерлердің зерттеушілік белсенділігін арттырып, теориялық білімді тәжірибелік жағдайда қолдану, фитосанитарлық белгілерді талдау және ғылыми қорытынды жасау дағдыларын дамытуға оң әсер еткенін көрсетті. Алынған нәтижелер фитосанитарлық бағыттағы тәжірибелік оқытудың функционалдық сауаттылықты қалыптастырудағы тиімділігін дәлелдейді.

Кілт сөздер

функционалдық сауаттылық, жалпақ жапырақты ағаштар, қорғаныс механизмдері, фитосанитарлық зерттеу, электронды оқу құралы, зерттеушілік оқыту, биологиялық білім беру, тәжірибелік-бағдарлы оқыту, білімгер, фитосанитарлық диагностика

Қазіргі білім беру жүйесінде білімгерлердің функционалдық сауаттылығын қалыптастыру жаратылыстану бағытындағы оқытудың негізгі стратегиялық міндеттерінің біріне айналып отыр. Функционалдық сауаттылық білім алушының тек теориялық білімді меңгеруімен шектелмей, оны тәжірибелік жағдайда қолдана алуымен, ғылыми ақпаратты талдай білуімен, қоршаған орта құбылыстарын түсіндіруімен және зерттеу нәтижелерін практикамен байланыстыра алуымен сипатталады. Осыған байланысты биологияны оқыту барысында табиғи нысандар негізінде ұйымдастырылатын зерттеу жұмыстары білімгерлердің танымдық белсенділігін арттыруда және олардың ғылыми дүниетанымын қалыптастыруда маңызды педагогикалық құрал ретінде қарастырылуда.

Жалпақ жапырақты ағаштар қоршаған орта жағдайларына бейімделу қабілеті жоғары өсімдіктер қатарына жатады және әртүрлі экологиялық факторлардың әсеріне қарсы күрделі қорғаныс реакцияларын қалыптастырады. Қазіргі экологиялық жағдайдың өзгеруі,

урбанизация үдерістерінің күшеюі, климаттық тұрақсыздық және антропогендік ықпалдардың артуы ағаш өсімдіктерінің тұрақтылық ерекшеліктерін зерттеудің өзектілігін арттыруда. Осындай жағдайларда жалпақ жапырақты ағаштардың қорғаныс механизмдерін зерттеу білімгерлердің табиғи үдерістерді бақылауына, экологиялық өзгерістерді салыстырып талдауына және тәжірибелік қорытынды жасауына мүмкіндік береді. Бұл үдеріс функционалдық сауаттылықтың ақпараттық, аналитикалық, коммуникативтік және зерттеушілік компоненттерінің қалыптасуына тікелей әсер етеді.

Білім беру тәжірибесінде биологиялық нысандарды зерттеу көбіне сипаттамалық деңгейде жүргізіліп, олардың функционалдық мүмкіндіктерін білімгерлердің практикалық құзыреттіліктерімен байланыстыру жеткіліксіз деңгейде жүзеге асырылып келеді. Әсіресе ағаш өсімдіктерінің қорғаныс ерекшеліктерін зерттеу барысында білімгерлердің ғылыми бақылау жүргізу, мәліметтерді жүйелеу, салыстырмалы талдау жасау және экологиялық жағдайларды бағалау дағдыларын қалыптастыру мәселелері арнайы педагогикалық бағыт ретінде толық қарастырылмаған. Сондықтан табиғи орта нысандары арқылы функционалдық сауаттылықты дамыту мәселесі қазіргі білім беру үдерісіндегі маңызды ғылыми-әдістемелік бағыттардың бірі болып табылады.

Жалпақ жапырақты ағаштардың қорғаныс механизмдерін зерттеу бағытындағы жұмыстар соңғы кезеңдерде экологиялық мониторинг пен қолданбалы биология салаларында кеңінен қарастырыла бастады. Әсіресе соңғы онжылдықтарда өсімдіктердің сыртқы орта факторларына бейімделу ерекшеліктерін тәжірибелік зерттеу білім беру жүйесінде де өзекті бағыттардың қатарына енді. Бұл бағыт білімгерлердің тек дайын ақпаратты қабылдауымен шектелмей, табиғи ортада дербес бақылау жүргізуіне, зерттеу нәтижелерін талдауына және практикалық шешімдер ұсынуына негіз қалайды. Нәтижесінде білім беру мазмұнының тәжірибелік және экологиялық сипаты күшейіп, функционалдық сауаттылықты қалыптастырудың тиімді мүмкіндіктері артады.

Зерттеу тақырыбының өзектілігі жалпақ жапырақты ағаштардың қорғаныс механизмдерін зерттеу арқылы білімгерлердің функционалдық сауаттылығын арттырудың педагогикалық мүмкіндіктерін айқындау қажеттілігімен анықталады. Табиғи нысандар негізінде ұйымдастырылатын зерттеу жұмыстары білімгерлердің зерттеушілік белсенділігін, экологиялық ойлауын және тәжірибелік дағдыларын дамытуға жағдай жасайды. Осыған байланысты зерттеу жұмысы биологиялық білім беру үдерісінде функционалдық сауаттылықты қалыптастырудың тәжірибелік бағыттарын жетілдіруге арналған.

Зерттеудің мақсаты – жалпақ жапырақты ағаштардың қорғаныс механизмдерін зерттеу негізінде білімгерлердің функционалдық сауаттылығын арттырудың тиімді жолдарын анықтау және оны білім беру үдерісінде қолданудың педагогикалық мүмкіндіктерін негіздеу.

Жалпақ жапырақты ағаштардың қорғаныс механизмдерін білім беру үдерісімен байланыстыра зерттеу екі ғылыми бағыттың тоғысында қарастырылады: біріншісі – өсімдіктердің сыртқы орта әсерлеріне биологиялық төзімділігі, екіншісі – білімгерлердің функционалдық және жаратылыстану-ғылыми сауаттылығын дамыту. Халықаралық зерттеулерде өсімдіктердің қорғаныс жүйесі морфологиялық, биохимиялық және молекулалық реакциялар арқылы түсіндіріледі. Мысалы, A. R. War және әріптестері өсімдіктердің жәндіктермен зақымдануға қарсы морфологиялық, биохимиялық және молекулалық жауаптарын жүйелеп, қорғаныс реакцияларының өсімдік тіршілігін сақтаудағы маңызын көрсетеді [1]. M. T. J. Johnson еңбегінде өсімдіктердің шөпқоректі ағзаларға қарсы тікелей және жанама қорғаныс тәсілдері эволюциялық-экологиялық тұрғыдан талданады [2].

Өсімдік қорғанысында фенолдық қосылыстардың, фитонцидтердің және екінші реттік метаболиттердің рөлі ерекше. S. Pratyusha өсімдіктердегі фенолдық қосылыстардың қорғаныс, сигналдық және антимикробтық қызметтерін сипаттай отырып, олардың патогендер мен сыртқы стресс факторларына жауап берудегі маңызын негіздейді [3]. Бұл

тұжырымдар жалпақ жапырақты ағаштардың қорғаныс механизмдерін оқу-зерттеу объектісі ретінде қарастыруға мүмкіндік береді, себебі мұндай нысандар арқылы білімгерлер табиғи ортадағы нақты биологиялық құбылыстарды бақылап, деректерді түсіндіру дағдыларын дамыта алады.

Жаратылыстану-ғылыми сауаттылық мәселесі халықаралық зерттеулерде білім алушының ғылыми құбылыстарды түсіндіру, зерттеу жүргізу, деректерді интерпретациялау және дәлелге сүйеніп шешім қабылдау қабілетімен байланыстырылған. OECD ғылым сауаттылығын ғылым, тұрақты даму және технология жөніндегі негізделген талқылауларға қатысу, құбылыстарды ғылыми түсіндіру, зерттеуді жобалау және дәлелдерді сыни талдау қабілеті ретінде сипаттайды [4]. R. Bybee, B. McCrae және R. Laurie PISA аясындағы ғылыми сауаттылықты білімді өмірлік жағдаяттарда қолдану қабілетімен байланыстырып, оны құзыреттілікке бағытталған білім берудің маңызды көрсеткіші ретінде қарастырады [5].

Биологияны оқытуда зерттеушілік оқыту әдістерінің функционалдық сауаттылықты арттырудағы маңызы да шетелдік еңбектерде кеңінен талданған. D. A. Urdanivia Alarcon және әріптестері зерттеушілік оқыту ғылыми білімді құрастыруға, зерттеу дағдыларын дамытуға және оқушыны белсенді таным субъектісіне айналдыруға мүмкіндік беретінін көрсетеді [6]. H. Semilarski биологиялық сауаттылыққа арналған жүйелі шолуда биологияны оқыту тек ұғымдарды меңгертумен шектелмей, тірі табиғат құбылыстарын түсіндіру және ғылыми шешім қабылдау қабілетін қалыптастыруы қажет екенін атап өтеді [7]. Осы еңбектер жалпақ жапырақты ағаштардың қорғаныс механизмдерін зерттеуді функционалдық сауаттылықты қалыптастырудың нақты практикалық алаңы ретінде негіздеуге мүмкіндік береді.

Қазақстандық зерттеулерде функционалдық сауаттылық мәселесі жаңартылған білім мазмұны, жаратылыстану пәндерін тәжірибеге бағдарлап оқыту және білім алушылардың өмірлік жағдаяттарда білімді қолдану қабілетімен байланысты қарастырылады. Б. С. Ахметова және әріптестері Қазақстандағы жаратылыстану білімінің сапасын арттыруда практикалық тапсырмалар мен пәнаралық байланысты күшейту қажеттігін көрсетеді; авторлар оқу бағдарламаларында академиялық мазмұнның басымдығы кей жағдайда функционалдық сауаттылыққа бағытталған тапсырмалардың жеткіліксіздігіне әкелетінін атап өтеді [8]. Бұл тұжырым зерттеу тақырыбы үшін маңызды, себебі жалпақ жапырақты ағаштардың қорғаныс механизмдерін зерттеу теориялық білімді нақты табиғи нысанмен байланыстыруға жағдай жасайды.

Н. П. Корогод пен С. Е. Жуматаева биология бойынша интеллектуалдық жарыстарға дайындық барысында оқушылардың функционалдық сауаттылығын дамыту мәселесін қарастырып, биологиялық тапсырмалар білімді жаңа жағдайларда қолдануға бағытталуы тиіс екенін көрсетеді [9]. Ж. Б. Гүльманова мен әріптестері биология сабағында Lesson Study әдісі арқылы функционалдық сауаттылықты қалыптастыру мүмкіндіктерін талдайды; бұл еңбек сабақ үдерісіндегі әдістемелік рефлексия мен зерттеушілік әрекеттің маңызын айқындайды [10]. У. Б. Болатхан биология сабақтарында функционалдық сауаттылықты қалыптастыру әдістерін қарастырып, білім алушының танымдық белсенділігі мен практикалық тапсырмаларды орындау қабілетін басты көрсеткіштердің бірі ретінде сипаттайды [11].

Қазақстан жағдайында ағаш өсімдіктерінің экологиялық тұрақтылығы мен сыртқы ортаға бейімделуін зерттеген еңбектер де осы тақырыптың ғылыми негізін толықтырады. С. А. Абиев, С. А. Айпейсова және Н. А. Утарбаева Ақтөбе қалалық экожүйесіндегі ағаштардың тіршілік жағдайын бағалап, олардың урбанизация, климаттық әсер және қысқы төзімділік жағдайларына әртүрлі жауап беретінін анықтаған [12]. S. Koblanova және әріптестері Қостанай өңіріндегі қайың және қандыағаш ормандарының әртүрлілігін талдай отырып, зиянкестер мен ағаш ауруларына байланысты тәуекелдерді басқару, топырақ пен ылғал

жағдайларын жақсарту қажеттігін көрсетеді [13]. Бұл зерттеулер жалпақ жапырақты ағаштарды жергілікті экологиялық ортада зерттеудің өзектілігін күшейтеді.

Жалпы, қарастырылған еңбектер жалпақ жапырақты ағаштардың қорғаныс механизмдерін зерттеу биологиялық мазмұнды практикалық, экологиялық және функционалдық бағытта меңгерудің тиімді жолы екенін көрсетеді. Шетелдік зерттеулер өсімдіктердің қорғаныс реакцияларының биологиялық негізін ашса, қазақстандық еңбектер бұл бағытты білім беру мазмұнымен, жаратылыстану-ғылыми сауаттылықпен және жергілікті экологиялық жағдайлармен байланыстырады. Сондықтан аталған тақырып білімгерлердің функционалдық сауаттылығын арттыруда табиғи нысанға негізделген зерттеушілік оқытудың маңызды ғылыми-әдістемелік бағыты ретінде қарастырылады.

Зерттеу жұмысы Қожа Ахмет Ясауи атындағы Халықаралық қазақ-түрік университетінің 2-3 курс білімгерлері арасында жүргізілді. Зерттеуге жалпы саны 62 респондент қатысты. Респонденттер биология бағыты бойынша білім алатын білімгерлер қатарынан таңдалып, олардың жалпақ жапырақты ағаштардың қорғаныс механизмдерін зерттеу арқылы функционалдық сауаттылық деңгейін арттыру мүмкіндіктерін анықтау көзделді. Зерттеу барысында білімгерлердің теориялық білімді тәжірибеде қолдану, табиғи нысандармен жұмыс жасау, фитосанитарлық белгілерді талдау, алынған деректерді ғылыми тұрғыда түсіндіру және қорытынды жасау қабілеттері бағаланды.

Зерттеу материалы ретінде арнайы әзірленген «Фитосанитарлық зерттеулер арқылы білімгерлердің танымдық іс-әрекетін қалыптастыру: жалпақ жапырақты ағаштар мысалында» атты электронды оқу құралы пайдаланылды. Аталған құралдың мазмұнында жалпақ жапырақты ағаштардың түрлік құрамы, зиянкестердің биологиясы, жапырақ және сабақ зақымдану түрлері, зақымдану деңгейін бағалау, ағаштардың төзімділік көрсеткіштерін анықтау, далалық зерттеу жүргізу, гипотеза құру, эксперимент жасау, диагностикалық карталар мен фитосанитарлық журнал жүргізу жолдары қамтылған. Электронды құралдың ерекшелігі ретінде QR-кодтар, бейнематериалдар, аудиоматериалдар, интерактивті тапсырмалар және өзін-өзі тексеру сұрақтары қолданылды.

Зерттеуде негізгі әдіс ретінде критериалды диагностикалық бағалау әдісі қолданылды. Бұл әдіс білімгерлердің функционалдық сауаттылық деңгейін бірнеше нақты критерий бойынша анықтауға мүмкіндік берді. Әдістің басты мақсаты – білімгерлердің жалпақ жапырақты ағаштардың қорғаныс механизмдерін зерттеу барысында алған білімін тек есте сақтау деңгейінде емес, оны практикалық жағдайда қолдану, талдау, түсіндіру және ғылыми қорытынды жасау деңгейінде бағалау.

Критериалды диагностикалық бағалау әдісі үш кезең бойынша ұйымдастырылды. Бірінші кезеңде білімгерлердің бастапқы деңгейі анықталды. Бұл кезеңде респонденттерге жалпақ жапырақты ағаштардың қорғаныс ерекшеліктері, зиянкестерге төзімділік белгілері, жапырақ зақымдану түрлері және фитосанитарлық жағдайды бағалау бойынша диагностикалық тапсырмалар ұсынылды. Мақсат – білімгерлердің бастапқы функционалдық сауаттылық деңгейін, яғни биологиялық ақпаратты түсіну, табиғи құбылысты сипаттау және қарапайым талдау жасау қабілетін анықтау болды.

Екінші кезеңде электронды оқу құралы білім беру үдерісіне енгізілді. Білімгерлер құралдағы теориялық-тәжірибелік материалдармен, интерактивті тапсырмалармен, диагностикалық кестелермен және фитосанитарлық бақылау үлгілерімен жұмыс жасады. Олар жалпақ жапырақты ағаштардың жапырақтарындағы зақым белгілерін анықтап, зақымдану деңгейін бағалау, ағаш түрлерін салыстыру, зиянкес әсерін түсіндіру, қорғаныс реакцияларын сипаттау және алынған мәліметтерді ғылыми тілде баяндау тапсырмаларын орындады. Бұл кезеңде білімгерлердің оқу әрекеті дайын ақпаратты қабылдауға емес, зерттеу, бақылау, талдау және дәлелдеу әрекеттеріне бағытталды.

Үшінші кезеңде білімгерлердің қорытынды нәтижелері қайта бағаланды. Бұл кезеңде бастапқы диагностикалық тапсырмаларға ұқсас, бірақ мазмұны күрделендірілген тапсырмалар берілді. Білімгерлер жалпақ жапырақты ағаштардың қорғаныс механизмдерін нақты фитосанитарлық жағдайлармен байланыстырып, деректерді салыстырды, зақымдану белгілерін жіктеді, қорғаныс реакцияларын түсіндірді және зерттеу нәтижелері бойынша қорытынды жасады. Осылайша, электронды оқу құралын қолдануға дейінгі және кейінгі нәтижелер салыстырылып, білімгерлердің функционалдық сауаттылығының даму динамикасы анықталды.

Бағалау төмендегі критерийлер бойынша жүргізілді:

1. Когнитивтік критерий. Бұл критерий білімгерлердің жалпақ жапырақты ағаштардың биологиялық ерекшеліктерін, қорғаныс механизмдерін, зиянкестерге қарсы төзімділік белгілерін және фитосанитарлық ұғымдарды меңгеру деңгейін анықтауға бағытталды. Жоғары деңгейдегі білімгер қорғаныс механизмдерінің мәнін түсіндіріп, ағаштың сыртқы орта факторларына жауап беру ерекшеліктерін нақты мысалдармен сипаттай алды. Орта деңгейдегі білімгер негізгі ұғымдарды түсінгенімен, оларды толық ғылыми негізде түсіндіруде қиналды. Төмен деңгейдегі білімгер ұғымдарды үстірт меңгеріп, қорғаныс белгілерін нақты ажырата алмады.

2. Практикалық-зерттеушілік критерий. Бұл критерий білімгерлердің табиғи нысандармен жұмыс істеу, жапырақ үлгілерін қарау, зақым түрлерін анықтау, бақылау нәтижелерін тіркеу және фитосанитарлық белгілерді сипаттау қабілетін бағалады. Жоғары деңгейде білімгер зерттеу кезеңдерін жүйелі орындап, зақым белгілерін дұрыс анықтады және бақылау нәтижелерін нақты тіркеді. Орта деңгейде білімгер тапсырманы орындағанымен, кейбір белгілерді ажыратуда немесе нәтижені рәсімдеуде қателіктер жіберді. Төмен деңгейде білімгер зерттеу әрекетін толық орындай алмады және табиғи нысан бойынша нақты қорытынды жасауға қиналды.

3. Аналитикалық критерий. Бұл критерий білімгерлердің алынған деректерді салыстыру, себеп-салдарлық байланыстарды анықтау, ағаштың зақымдану деңгейі мен қорғаныс реакциялары арасындағы байланысты түсіндіру қабілетін бағалауға арналды. Жоғары деңгейдегі білімгер зақымдану белгілерін экологиялық факторлармен байланыстырып, ағаштың төзімділік деңгейіне дәлелді баға берді. Орта деңгейдегі білімгер салыстыру жүргізгенімен, талдауы толық жүйеленбеді. Төмен деңгейдегі білімгер деректерді сипаттаумен ғана шектеліп, ғылыми талдау жасай алмады.

4. Функционалдық-қолданбалы критерий. Бұл критерий білімгерлердің алған білімін нақты оқу-зерттеу жағдайында қолдана алуын анықтады. Мұнда білімгердің биологиялық ақпаратты практикалық мәселені шешуге бағыттауы, фитосанитарлық жағдайды бағалауы, ұсыныс беруі және нәтижені өмірлік немесе кәсіби контекспен байланыстыруы ескерілді. Жоғары деңгейдегі білімгер зерттеу нәтижесін нақты қолданбалы шешіммен байланыстыра алды. Орта деңгейдегі білімгер білімін қолданғанымен, ұсыныстары жеткілікті негізделмеді. Төмен деңгейдегі білімгер теориялық ақпаратты практикалық жағдаймен байланыстыруда қиындық көрді.

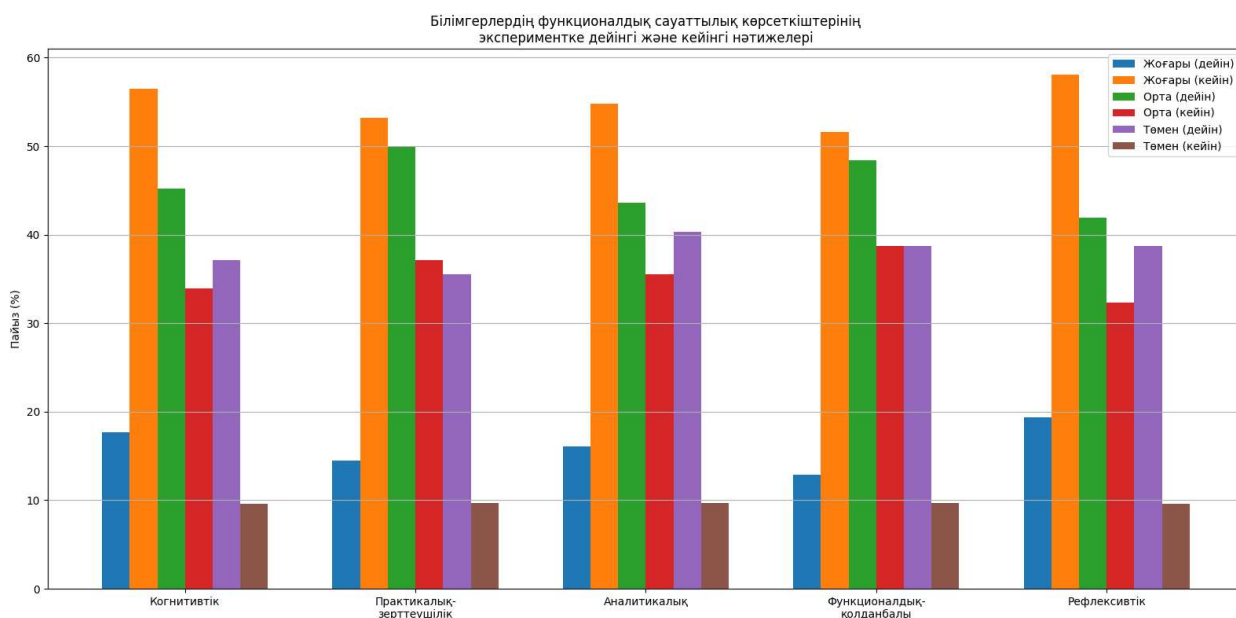
5. Рефлексивтік критерий. Бұл критерий білімгердің өз оқу-зерттеу әрекетін бағалау, жіберген қателіктерін анықтау, зерттеу нәтижесінің маңызын түсіну және келесі жұмысқа ұсыныс жасау қабілетін сипаттады. Жоғары деңгейдегі білімгер өзінің зерттеу әрекетіне сыни баға беріп, нәтижені жақсарту жолдарын ұсынды. Орта деңгейде рефлексия жалпы сипатта болды. Төмен деңгейде білімгер өз әрекетін бағалауда және зерттеу нәтижесін түсіндіруде қиналды.

Әр критерий бойынша білімгерлердің нәтижелері үш деңгейге бөлінді: жоғары, орта және төмен. Жоғары деңгей білімгердің теориялық білімді тәжірибемен байланыстырып, зерттеу нәтижесін ғылыми негізде түсіндіре алуымен сипатталды. Орта деңгей білімнің

жеткілікті болғанымен, талдау мен қолдануда жекелеген қиындықтардың болуымен ерекшеленді. Төмен деңгей білімгердің тапсырманы орындауда жүйелілік пен ғылыми дәлелдің жеткіліксіздігін көрсетті.

Зерттеу нәтижелерін өңдеу барысында сапалық және сандық талдау қолданылды. Сандық талдау білімгерлердің әр критерий бойынша пайыздық көрсеткіштерін анықтауға мүмкіндік берді, ал сапалық талдау олардың жауаптары, практикалық тапсырмалары, бақылау жазбалары және рефлексиялық пікірлері негізінде жүргізілді. Осы әдістемелік құрылым электронды оқу құралының білімгерлердің функционалдық сауаттылығын арттырудағы тиімділігін жан-жақты бағалауға мүмкіндік берді.

Электронды оқу құралын білім беру үдерісіне енгізу барысында білімгерлердің жалпақ жапырақты ағаштардың қорғаныс механизмдерін талдау, фитосанитарлық белгілерді анықтау, зерттеу нәтижелерін ғылыми тұрғыда түсіндіру және тәжірибелік жағдайда қолдану қабілеттерінде айқын өзгерістер байқалды. Зерттеу нәтижелері функционалдық сауаттылықтың когнитивтік, аналитикалық, практикалық және рефлексивтік компоненттерінің біртіндеп қалыптасқанын көрсетті. Әсіресе табиғи нысандармен тікелей жұмыс жасау, фитосанитарлық бақылау жүргізу және интерактивті тапсырмаларды орындау білімгерлердің зерттеушілік белсенділігін арттырып, олардың биологиялық құбылыстарды жүйелі талдау дағдыларының дамуына ықпал етті.



Сурет 1. Білімгерлердің функционалдық сауаттылық көрсеткіштерінің экспериментке дейінгі және кейінгі нәтижелері

Зерттеу нәтижелерін талдау электронды оқу құралын қолдану білімгерлердің функционалдық сауаттылығының барлық компоненттеріне оң әсер еткенін көрсетті. Эксперименттен кейінгі көрсеткіштерде жоғары деңгейдегі білімгерлер санының артуы және төмен деңгейдегі респонденттер үлесінің айтарлықтай азаюы зерттеу барысында қолданылған фитосанитарлық бағыттағы тәжірибелік тапсырмалар мен табиғи нысандарға негізделген оқыту тәсілдерінің тиімділігін дәлелдейді. Әсіресе жалпақ жапырақты ағаштардың қорғаныс механизмдерін зерттеу білімгерлердің теориялық білімді тәжірибелік әрекетпен байланыстыруына мүмкіндік беріп, олардың ғылыми ойлау, талдау және қорытынды жасау қабілеттерін дамытуға ықпал етті.

Когнитивтік критерий бойынша жоғары деңгейдегі көрсеткіштің 17,7%-дан 56,5%-ға дейін өсуі білімгерлердің өсімдіктердің қорғаныс механизмдері туралы білімді тереңірек меңгергенін көрсетеді. Экспериментке дейін білімгерлер жалпақ жапырақты ағаштардың

қорғаныс реакцияларын көбіне жеке биологиялық құбылыс ретінде қабылдап, олардың экологиялық және фитосанитарлық маңызын толық түсіндіруде қиындықтар көрсетті. Ал электронды оқу құралындағы фитосанитарлық диагностика, зақымдану түрлерін талдау, интерактивті тапсырмалар мен визуалды материалдар білімгерлердің ғылыми ұғымдарды нақты табиғи жағдайлармен байланыстыруына мүмкіндік берді. Сонымен қатар төмен деңгейдің 37,1%-дан 9,6%-ға дейін төмендеуі теориялық материалдың практикалық мазмұнмен ұштастырылуы білімді қабылдау сапасын арттырғанын көрсетеді.

Практикалық-зерттеушілік критерий нәтижелері білімгерлердің табиғи объектілермен жұмыс жасау дағдыларының айтарлықтай дамығанын дәлелдейді. Жоғары деңгей көрсеткішінің 14,5%-дан 53,2%-ға дейін өсуі білімгерлердің фитосанитарлық бақылау жүргізу, жапырақтағы зақым белгілерін анықтау, морфологиялық талдау жасау және бақылау нәтижелерін жүйелі тіркеу қабілеттерінің қалыптасқанын көрсетеді. Экспериментке дейін көптеген білімгерлер фитосанитарлық белгілерді тек сипаттамалық деңгейде қабылдаса, кейінгі кезеңде олар зақым түрлерін салыстырып, ағаштардың төзімділік деңгейіне ғылыми негізде баға бере алды. Бұл өзгеріс зерттеу әрекетінің оқу үдерісіне жүйелі енгізілуімен және электронды оқу құралындағы тәжірибелік тапсырмалардың кәсіби бағыттылығымен түсіндіріледі.

Аналитикалық критерий бойынша алынған нәтижелер білімгерлердің себеп-салдарлық байланыстарды анықтау және ғылыми интерпретация жасау қабілеттерінің айтарлықтай жетілгенін көрсетті. Жоғары деңгейдегі респонденттер үлесі 16,1%-дан 54,8%-ға дейін артты. Бұл білімгерлердің фитосанитарлық деректерді тек жинақтап қана қоймай, оларды салыстырып, экологиялық факторлармен байланыстыра алғанын дәлелдейді. Зерттеу барысында білімгерлер ағаштардың зақымдану деңгейін орта жағдайымен, зиянкестердің белсенділігімен және өсімдіктің қорғаныс реакцияларымен байланыстыра отырып талдау жасады. Мұндай әрекеттер олардың аналитикалық ойлауын күшейтіп, ғылыми дәлелге негізделген қорытынды жасау қабілетін қалыптастырды.

Функционалдық-қолданбалы критерий нәтижелері ерекше назар аудартады, себебі бұл көрсеткіш білімгерлердің алған білімін тәжірибелік жағдайда қолдану деңгейін сипаттайды. Эксперименттен кейін жоғары деңгейдің 12,9%-дан 51,6%-ға дейін өсуі білімгерлердің биологиялық білімді нақты фитосанитарлық мәселелерді шешуде пайдалана алғанын көрсетеді. Білімгерлер жалпақ жапырақты ағаштардың қорғаныс механизмдерін экологиялық жағдайлармен байланыстырып, фитосанитарлық тәуекел деңгейін бағалау және алдын алу шараларын ұсыну сияқты практикалық міндеттерді орындады. Бұл көрсеткіш функционалдық сауаттылықтың теориялық білімді өмірлік және кәсіби жағдайда қолдану қабілеті ретінде тиімді қалыптасқанын дәлелдейді.

Рефлексивтік критерий бойынша да айқын оң динамика байқалды. Жоғары деңгейдегі көрсеткіштің 19,4%-дан 58,1%-ға дейін артуы білімгерлердің өз әрекетін бағалау, жіберген қателіктерін анықтау және зерттеу нәтижелеріне сыни тұрғыдан қарау қабілеттерінің дамығанын көрсетеді. Зерттеу барысында білімгерлер бақылау нәтижелерін талдап қана қоймай, өздерінің зерттеу стратегияларын қайта қарастырып, келесі жұмыстарды жетілдіру жолдарын ұсынды. Бұл рефлексиялық әрекеттердің ғылыми ойлау мәдениетін қалыптастырудағы маңызын дәлелдейді.

Жалпы алғанда, алынған нәтижелер фитосанитарлық зерттеулерге негізделген электронды оқу құралын қолдану білімгерлердің функционалдық сауаттылығын кешенді түрде дамытуға мүмкіндік бергенін көрсетті. Табиғи нысандармен тікелей жұмыс жасау, зерттеу тапсырмаларын орындау, интерактивті материалдарды пайдалану және ғылыми талдау жүргізу білімгерлердің когнитивтік белсенділігін арттырып қана қоймай, олардың зерттеушілік, аналитикалық және практикалық құзыреттіліктерінің қалыптасуына ықпал етті.

Зерттеу нәтижелері биологияны оқытуда фитосанитарлық бағыттағы тәжірибелік жұмыстарды кеңінен қолданудың ғылыми-әдістемелік тұрғыдан тиімді екенін дәлелдейді.

Жүргізілген зерттеу жұмысы жалпақ жапырақты ағаштардың қорғаныс механизмдерін зерттеу негізінде білімгерлердің функционалдық сауаттылығын қалыптастырудың ғылыми-әдістемелік тұрғыдан тиімді бағыт екенін көрсетті. Электронды оқу құралын білім беру үдерісіне енгізу нәтижесінде білімгерлердің когнитивтік, аналитикалық, практикалық-зерттеушілік, функционалдық-қолданбалы және рефлексивтік дағдыларының даму деңгейі айтарлықтай артқаны анықталды. Табиғи нысандарға негізделген фитосанитарлық зерттеулер білімгерлердің биологиялық құбылыстарды ғылыми тұрғыдан түсінуіне, фитосанитарлық белгілерді талдауына, зерттеу нәтижелерін жүйелеуіне және тәжірибелік қорытынды жасауына мүмкіндік берді. Сонымен қатар оқу барысында қолданылған интерактивті тапсырмалар, QR-кодтар, визуалды және тәжірибелік материалдар білімгерлердің танымдық белсенділігін күшейтіп, зерттеушілік әрекетке қызығушылығын арттырды.

Зерттеу нәтижелері фитосанитарлық бағыттағы тәжірибелік жұмыстарды биологияны оқыту үдерісіне жүйелі енгізу функционалдық сауаттылықты қалыптастырудың тиімді педагогикалық тетіктерінің бірі екенін дәлелдеді. Білімгерлердің табиғи ортада бақылау жүргізуі, зақымдану деңгейін бағалауы, қорғаныс реакцияларын салыстыруы және ғылыми негізделген шешім қабылдауы олардың кәсіби құзыреттілігінің қалыптасуына оң әсер етті. Осыған байланысты жалпақ жапырақты ағаштардың қорғаныс механизмдерін зерттеуге негізделген электронды оқу құралдарын жаратылыстану және биология бағытындағы білім беру бағдарламаларында кеңінен қолдану білім сапасын арттырудың және зерттеушілік оқытуды дамытудың перспективалы бағыты ретінде қарастырылуы мүмкін.

Бұл мақала AP26101971 «PISA зерттеулерінің негізінде оқушылардың жаратылыстану бағытындағы функционалдық сауаттылығын қалыптастырудың әдістемелік негіздерін даярлау (Түркістан облысы мысалында)» атты гранттық жоба есебінен жарияланды.

Пайдаланылған әдебиеттер тізімі:

1. War A.R., Paulraj M.G., War M.Y., Ignacimuthu S. Herbivore induced plant volatiles: their role in plant defense for pest management // Plant Signaling & Behavior. – 2012. – Vol. 7(10). – P. 1306-1312.
2. Johnson M.T.J. Evolutionary ecology of plant defenses against herbivores // Functional Ecology. – 2011. – Vol. 25(2). – P. 305-311.
3. Pratyusha S. Phenolic Compounds in Plant Defense Mechanisms // Plant Stress Physiology. – London: IntechOpen, 2022. – P. 1-18.
4. Bybee R., McCrae B., Laurie R. PISA 2006: An Assessment of Scientific Literacy // Journal of Research in Science Teaching. – 2009. – Vol. 46(8). – P. 865-883.
5. Urdanivia Alarcon D.A., Quiroz Zúñiga A., Maldonado Manrique C.H. Inquiry-Based Learning in Science Education: A Systematic Review // Frontiers in Education. – 2023. – Vol. 8. – P. 1-14.
6. Semilarski H., Soobard R., Rannikmäe M. Exploring Biological Literacy: A Systematic Literature Review // European Journal of Educational Research. – 2022. – Vol. 11(4). – P. 2105-2121.
7. OECD. PISA 2022 Assessment and Analytical Framework. – Paris: OECD Publishing, 2023. – 368 p.
8. Ахметова Б.С., Жумадилова А.К., Түребекова Г.А. Қазақстандағы жаратылыстану білімінің сапасын арттыру мәселелері // Вестник КазНПУ имени Абая. Серия «Педагогические науки». – 2021. – № 4(72). – Б. 112-119.

9. Корогод Н.П., Жуматаева С.Е. Биология пәні бойынша олимпиадалық тапсырмалар арқылы функционалдық сауаттылықты дамыту // Биология және медицина. – 2022. – № 4. – Б. 45-53.
10. Гүлманова Ж.Б., Түлеубекова А.С., Қусаинова А.Т. Биология сабағында Lesson Study әдісі арқылы функционалдық сауаттылықты қалыптастыру // Вестник Торайгыров университета. Педагогическая серия. – 2023. – № 2. – Б. 77-86.
11. Болатхан У.Б. Биология сабақтарында функционалдық сауаттылықты қалыптастыру әдістері // Молодой ученый. – 2021. – № 15(357). – Б. 312-315.
12. Абиев С.А., Айпейсова С.А., Утарбаева Н.А. Health state of the trees in Aktobe urban ecosystem, Kazakhstan // Ukrainian Journal of Ecology. – 2018. – Vol. 8(4). – P. 474-478.
13. Koblanova S., Mukhitdinov N., Ogar N. Diversity and Sustainability of Birch and Alder Forests in Northern Kazakhstan // Forests. – 2024. – Vol. 15(10). – P. 1680-1694.

JUNIPERUS VIRGINIANA L. АҒАШЫНДАҒЫ МИКРОМИЦЕТТЕРДІҢ ФИТОСАНИТАРЛЫҚ ЖАҒДАЙҒА ӘСЕРІН КЕШЕНДІ БАҒАЛАУ

Исаев Ғани Исаұлы

техн.ғ.к., профессор м.а., Қожа Ахмет Ясауи атындағы Халықаралық қазақ-түрік университеті, Түркістан, Қазақстан Республикасы

Томашева Нұрила Абдилазизқызы

Қожа Ахмет Ясауи атындағы Халықаралық қазақ-түрік университетінің магистранты, Түркістан қ., Қазақстан Республикасы

Аннотация. Мақалада *Juniperus virginiana* L. ағашындағы микромицеттердің фитосанитарлық жағдайға әсерін кешенді бағалау мәселесі қарастырылды. Зерттеу жұмысы Қожа Ахмет Ясауи атындағы Халықаралық қазақ-түрік университетінің 3-курс білімгерлері арасында жүргізілді. Зерттеуге жалпы 46 білімгер қатысып, олар бақылау және эксперименттік топтарға бөлінді. Зерттеу барысында критериялды диагностикалық бағалау әдісі қолданылып, теориялық-танымдық, практикалық-зерттеушілік және аналитикалық-интерпретациялық критерийлер бойынша білімгерлердің дайындық деңгейі анықталды. Эксперименттік топта *Juniperus virginiana* L. ағашындағы микромицеттердің фитосанитарлық жағдайын зерттеуге бағытталған арнайы зерттеушілік тапсырмалар жүйесі енгізілді. Нәтижесінде эксперименттік топта барлық критерийлер бойынша жоғары деңгей көрсеткіштерінің едәуір артқаны анықталды. Зерттеу нәтижелері фитопатологиялық және микологиялық зерттеу элементтерін оқу үдерісіне енгізу білімгерлердің зерттеушілік құзыреттілігін, аналитикалық ойлауын және ғылыми интерпретациялық қабілеттерін дамытуда тиімді екенін көрсетті.

Кілт сөздер: *Juniperus virginiana* L., микромицеттер, фитосанитарлық жағдай, фитопатология, қылқан жапырақты ағаштар, зерттеушілік оқыту, фитосанитарлық диагностика, биологиялық білім беру, микология, интродуцент өсімдіктер, зерттеушілік құзыреттілік, экологиялық мониторинг.

Қазіргі кезеңде урбанизация үдерісінің қарқынды дамуы, климаттық өзгерістер және антропогендік факторлардың күшеюі декоративті және интродукциялық ағаш түрлерінің фитосанитарлық жағдайына елеулі әсер етуде. Әсіресе қылқан жапырақты өсімдіктер арасында микромицеттердің таралу деңгейінің артуы олардың физиологиялық тұрақтылығының төмендеуіне, декоративтік қасиеттерінің әлсіреуіне және экологиялық қызметтерінің бұзылуына алып келуде. Мұндай өзгерістер ботаникалық бақтар мен көгалдандыру жүйелерінде пайдаланылатын интродуцент ағаш түрлерінің санитарлық мониторингін жүргізудің маңыздылығын арттырады.

Juniperus virginiana L. қазіргі таңда декоративті дендрологияда, урбанистикалық көгалдандыруда және ботаникалық интродукция жүйесінде кеңінен қолданылатын қылқан жапырақты ағаштардың бірі болып табылады. Бұл өсімдік қоршаған ортаның қолайсыз жағдайларына салыстырмалы бейімділігімен ерекшеленгенімен, соңғы жылдары оның

әртүрлі фитопатогенді микромицеттермен залалдану жағдайлары жиілеп отыр. Микромицеттердің әсерінен ағашта қылқандардың сарғаюы, өркендердің қурауы, тәж сиреуі, некроздық өзгерістер және жалпы физиологиялық әлсіреу белгілері байқалады. Мұндай фитосанитарлық өзгерістер өсімдіктің декоративтік сапасын төмендетіп қана қоймай, оның экологиялық тұрақтылығына да кері ықпал етеді.

Қазіргі фитопатологиялық зерттеулерде қылқан жапырақты ағаштардың санитарлық жағдайын бағалау барысында микромицеттердің түрлік құрамын, таралу ерекшеліктерін және патогендік белсенділігін анықтау маңызды бағыттардың бірі болып саналады. Алайда *Juniperus virginiana* L. ағашындағы микромицеттердің фитосанитарлық жағдайға әсерін кешенді бағалауға арналған зерттеулердің жеткіліксіздігі бұл мәселенің ғылыми тұрғыдан толық зерттелмегенін көрсетеді. Әсіресе интродукциялық жағдайда өсірілетін виргин аршасының микологиялық жағдайын экологиялық және фитосанитарлық аспектілермен байланыстыра зерттеу қажеттілігі сақталуда.

Зерттеудің өзектілігі *Juniperus virginiana* L. ағашында кездесетін микромицеттердің таралу деңгейін анықтау, олардың фитосанитарлық жағдайға әсерін бағалау және қылқан жапырақты ағаштардың биологиялық тұрақтылығын сақтау мәселелерімен байланысты. Микромицеттердің ағаштың морфологиялық және физиологиялық көрсеткіштеріне ықпалын зерттеу фитопатогендердің қауіптілік деңгейін анықтауға және санитарлық мониторинг жүйесін жетілдіруге мүмкіндік береді.

Зерттеу жұмысының мақсаты — *Juniperus virginiana* L. ағашында кездесетін микромицеттердің фитосанитарлық жағдайға әсерін кешенді бағалау және олардың таралу ерекшеліктерін ғылыми тұрғыдан талдау.

Juniperus virginiana L. ағашындағы микромицеттердің фитосанитарлық жағдайға әсерін зерттеу әлемдік фитопатологияда бірнеше бағыт арқылы қарастырылады: патогенді микромицеттердің түрлік құрамын анықтау, олардың өсімдік мүшелеріне зақым келтіру сипатын бағалау, эндофитті және сапротрофты саңырауқұлақтардың рөлін түсіндіру, сондай-ақ ағаштың жалпы санитарлық тұрақтылығын экологиялық жағдайлармен байланысты талдау. Бұл бағытта ең алдымен *Phomopsis juniperovora*, *Kabatina juniperi* және *Gymnosporangium juniperi-virginianae* сияқты патогендердің *Juniperus* туысына жататын өсімдіктерге әсері кеңінен зерттелген.

Халықаралық зерттеулерде *Juniperus virginiana* L. ағашының микромицеттермен зақымдануы көбіне өркен ұштарының қурауы, қылқанның сарғаюы, бұтақтардың некроздануы және тәждің сиреуі арқылы сипатталады. J.D. Otta, D.J. Fiedler және V.H. Lengkeek *Phomopsis juniperovora* инфекциясының *Juniperus virginiana* өсімдігіне әсерін зерттеп, фунгицидтік өңдеудің аурудың таралуын және зақымдану қарқындылығын төмендетуге ықпал ететінін көрсеткен [1]. Бұл жұмыс зерттеу тақырыбы үшін маңызды, себебі онда микромицеттің фитосанитарлық жағдайға тікелей әсері эксперименттік негізде қарастырылған. Glenn W. Peterson *Juniperus virginiana* және *J. scopulorum* түрлерінің *Phomopsis juniperovora* арқылы зақымдануын зерттеп, инфекцияның жас өсімдіктерде қарқынды дамитынын және питомник жағдайында үлкен фитосанитарлық қауіп тудыруы мүмкін екенін анықтаған [2]. Ал J.D. Otta-ның *Phomopsis juniperovora* пикнидияларындағы альфа және бета споралардың түзілуіне арналған зерттеуі патогеннің көбею ерекшеліктерін түсіндіруге мүмкіндік береді [3].

Kabatina juniperi қоздырғышының *Juniperus* түрлеріне әсері де фитосанитарлық бағалау үшін маңызды. Зерттеулерде *Kabatina* тип blight ауруы *Phomopsis* зақымдануына ұқсас белгілер туғызатыны, бірақ аурудың маусымдық көрінісі мен зақымдану уақыты өзгеше болатыны көрсетіледі [4]. Бұл айырмашылық микромицеттерді кешенді бағалау кезінде визуалды диагностикамен шектелмей, микроскопиялық және зертханалық анықтау әдістерін қолдану қажеттігін дәлелдейді. Сонымен қатар *Phomopsis* пен *Kabatina* қоздырғыштары

бірдей фитосанитарлық белгілерге әкелуі мүмкін болғандықтан, олардың түрлік деңгейде нақтылануы ағаштың санитарлық жағдайын дұрыс бағалаудың негізгі шарты болып табылады.

Gymnosporangium juniperi-virginianae қоздырғышына арналған зерттеулер *Juniperus virginiana* L. ағашының фитопатологиялық жүйедегі аралық иелік өсімдік ретіндегі маңызын көрсетеді. Бұл саңырауқұлақ екі иелі даму цикліне ие және *Juniperus* түрлерінде галл түзіп, кейін алма, долана немесе басқа *Rosaceae* өкілдеріне таралуы мүмкін [5]. Сондықтан виргин аршасының фитосанитарлық жағдайын бағалау тек бір ағаш түрінің ауруын анықтаумен шектелмей, оның қоршаған өсімдіктерге инфекция көзі болу мүмкіндігін де ескеруі тиіс. Бұл әсіресе ботаникалық бақтар, дендрологиялық коллекциялар және урбанистік көгалдандыру жүйелері үшін маңызды.

Эндифитті микромицеттерге қатысты халықаралық зерттеулер *Juniperus virginiana* L. ағашындағы саңырауқұлақ қауымдастығының тек патогенді түрлерден тұрмайтынын көрсетеді. M.T. Hoffman және A.E. Arnold *Cupressaceae* тұқымдасына жататын ағаштардың сау фотосинтездеуші ұлпаларынан эндифитті саңырауқұлақтарды бөліп алып, олардың құрамы географиялық аймақ пен иелік өсімдік түріне байланысты өзгеретінін анықтаған [6]. Бұл қорытынды зерттеу тақырыбы үшін өте маңызды, себебі *Juniperus virginiana* L. ағашындағы микромицеттерді бағалауда тек ауру қоздырғыштарын емес, эндифитті және шартты-патогенді түрлерді де ескеру қажет. Hoffman және әріптестерінің кейінгі жұмыстары эндифитті саңырауқұлақтардың ішінде бактериялармен өзара байланыста тіршілік ететін формалар да кездесетінін дәлелдеп, микробиомдық деңгейдегі талдаудың қажеттілігін көрсетті [7].

A.E. Arnold және әріптестерінің *Coniochaeta* туысына жататын эндифитті саңырауқұлақтар туралы зерттеуі де *Juniperus virginiana* L. тақырыбымен тікелей байланысты, өйткені жаңа сипатталған түрлердің кейбірі осы өсімдіктің сау жапырақ ұлпаларынан бөлініп алынған [8]. Бұл дерек фитосанитарлық бағалауда «сау» көрінетін ағаш ұлпаларының өзінде әртүрлі микромицеттер қауымдастығы болуы мүмкін екенін көрсетеді. Демек, ағаштың санитарлық жағдайын кешенді бағалау үшін сыртқы белгілермен қатар ішкі микобиотаны да зерттеу қажет.

Жалпы фитопатогенді саңырауқұлақтардың таксономиясы мен диагностикасын нақтылау бағытында P.W. Crous және әріптестерінің жұмысы маңызды орын алады. Олар культурада белгілі фитопатогенді саңырауқұлақ туыстарын сипаттап, олардың жүйеленуі, ауру белгілері және диагностикалық ерекшеліктерін талдаған [9]. Бұл зерттеу *Juniperus virginiana* L. ағашындағы микромицеттерді анықтау кезінде заманауи таксономиялық негізді қолданудың маңызын көрсетеді.

Қазақстандық зерттеулерге келсек, елімізде *Juniperus virginiana* L. ағашындағы микромицеттер арнайы толық зерттелмегенімен, микромицеттердің биоалуантүрлілігі, таралуы және фитопатогендік маңызы жөнінде бірқатар ғылыми еңбектер бар. E.B. Рахимова және әріптестері Жоңғар-Алатау ұлттық паркінің аумағынан 86 микромицет түрін анықтап, олардың ішінде тат саңырауқұлақтары мен қалталы саңырауқұлақтардың басым екенін көрсеткен [10]. Бұл зерттеу Қазақстан жағдайында микромицеттердің табиғи экожүйелерде кең таралғанын және фитосанитарлық мониторингтің қажеттілігін дәлелдейді.

E.B. Рахимова, A.M. Асылбек және басқа авторлардың Оңтүстік-Шығыс Қазақстан микобиотасындағы жаңа және сирек түрлер туралы еңбегі микромицеттердің аймақтық әртүрлілігін нақтылауға бағытталған [11]. Авторлар Қазақстан аумағында бұрын тіркелмеген немесе сирек кездесетін микромицеттерді сипаттап, олардың иелік өсімдіктермен байланысын көрсетеді. Бұл жұмыс *Juniperus virginiana* L. ағашындағы микромицеттерді зерттегенде аймақтық микобиотаның ерекшелігін ескеру қажет екенін дәлелдейді.

А. Оспанова және әріптестерінің Ақмола облысы, Ерейментау ауданындағы шөптесін өсімдіктер ұлпаларынан табылған патогенді микромицеттер туралы зерттеуі Қазақстандағы фитопатогенді саңырауқұлақтардың өсімдік ұлпаларына ену және таралу мүмкіндігін көрсетеді [12]. Зерттеу нысаны ағаш емес өсімдіктер болғанымен, оның әдістемелік маңызы жоғары: авторлар микромицеттерді өсімдік ұлпаларынан бөліп алу, түрлік құрамын анықтау және патогендік сипатын бағалау тәсілдерін қолданған.

Қазақстандағы эндофитті микромицеттер мәселесі L.V. Ignatova, Y.V. Brazhnikova және әріптестерінің зерттеуінде қарастырылған. Олар өсімдіктерде кездесетін эндофитті микромицеттердің таралуын және фунгицидтік белсенділігін талдаған [13]. Бұл жұмыс *Juniperus virginiana* L. ағашындағы микромицеттерді тек зиянды патогендер ретінде емес, кей жағдайда биологиялық белсенді, антагонистік немесе қорғаныштық рөл атқаруы мүмкін микроорганизмдер ретінде бағалау қажеттігін көрсетеді.

Қазақстандағы арша түрлерінің экологиялық-биологиялық ерекшеліктері жөніндегі зерттеулер де тақырыппен жанама түрде байланысты. М. Yermagambetova және әріптестері Орталық Азиядағы *Juniperus seravschanica* популяцияларының генетикалық әртүрлілігін зерттеп, Қазақстанда арша түрлерінің экологиялық және табиғи-қорғау маңызы жоғары екенін көрсеткен [14]. Бұл еңбек *Juniperus* туысының Қазақстан жағдайында экожүйелік тұрақтылықты қамтамасыз ететін маңызды өсімдіктер тобы екенін дәлелдейді.

P.U. Abdikarimova және әріптестерінің Қарағанды, Қарқаралы, Ұлытау және Жаңаарқа аймақтарындағы *Juniperus sabina* өсімдігінің морфологиялық ерекшеліктерін зерттеуі арша түрлерінің аймақтық бейімделуін бағалауға мүмкіндік береді [15]. Бұл деректер *Juniperus virginiana* L. ағашының фитосанитарлық жағдайын зерттегенде морфологиялық көрсеткіштерді міндетті түрде есепке алу қажеттігін көрсетеді, себебі микромицеттердің әсері көбіне сыртқы морфологиялық өзгерістер арқылы байқалады.

И.О. Айымбетова және әріптестерінің ботаникалық бақ жағдайындағы өсімдіктерде фитопатогенді және сапрофитті микромицеттердің таралуына арналған зерттеуі интродукциялық ортада өсімдіктердің микологиялық зақымдануы өзекті мәселе екенін дәлелдейді [16]. Бұл жұмыс *Juniperus virginiana* L. сияқты интродуцент ағаштар үшін ботаникалық бақ жағдайында тұрақты фитосанитарлық бақылау жүргізудің қажеттілігін негіздейді.

Жалпы талданған әдебиеттер *Juniperus virginiana* L. ағашындағы микромицеттердің фитосанитарлық жағдайға әсерін кешенді бағалау бірнеше өзара байланысты бағыттан тұруы тиіс екенін көрсетеді. Біріншіден, патогенді түрлердің нақты құрамын анықтау қажет. Екіншіден, зақымдану белгілерін морфологиялық және микроскопиялық әдістер арқылы сипаттау маңызды. Үшіншіден, эндофитті, сапротрофты және шартты-патогенді микромицеттердің рөлін бөлек қарастыру қажет. Төртіншіден, Қазақстан жағдайында *Juniperus virginiana* L. бойынша арнайы зерттеулер аз болғандықтан, бұл тақырып ғылыми жаңалығы жоғары және практикалық маңызы бар бағыт болып табылады.

6-тапсырма. Аудио арқылы мазмұндау
Тапсырма шарты: *Juniperus virginiana* L. түрінің морфологиялық, экологиялық және биологиялық ерекшеліктері туралы аудиомәтінді тыңдап, берілген тапсырмаларды орындаңыз.

Орындаңыз:

1. 5 негізгі терминді жазыңыз.
2. Түрдің 3 морфологиялық белгісін атаңыз.
3. Экологиялық бейімделудің 2 мысалын жазыңыз.
4. Микоризаның пайдалы әсеріне 1 мысал келтіріңіз.
5. Патогендік микроорганизмдердің зиянды әсеріне 1 мысал келтіріңіз.
6. Аудиомәтін мазмұнын 4-5 сөйлеммен қорытындылаңыз.

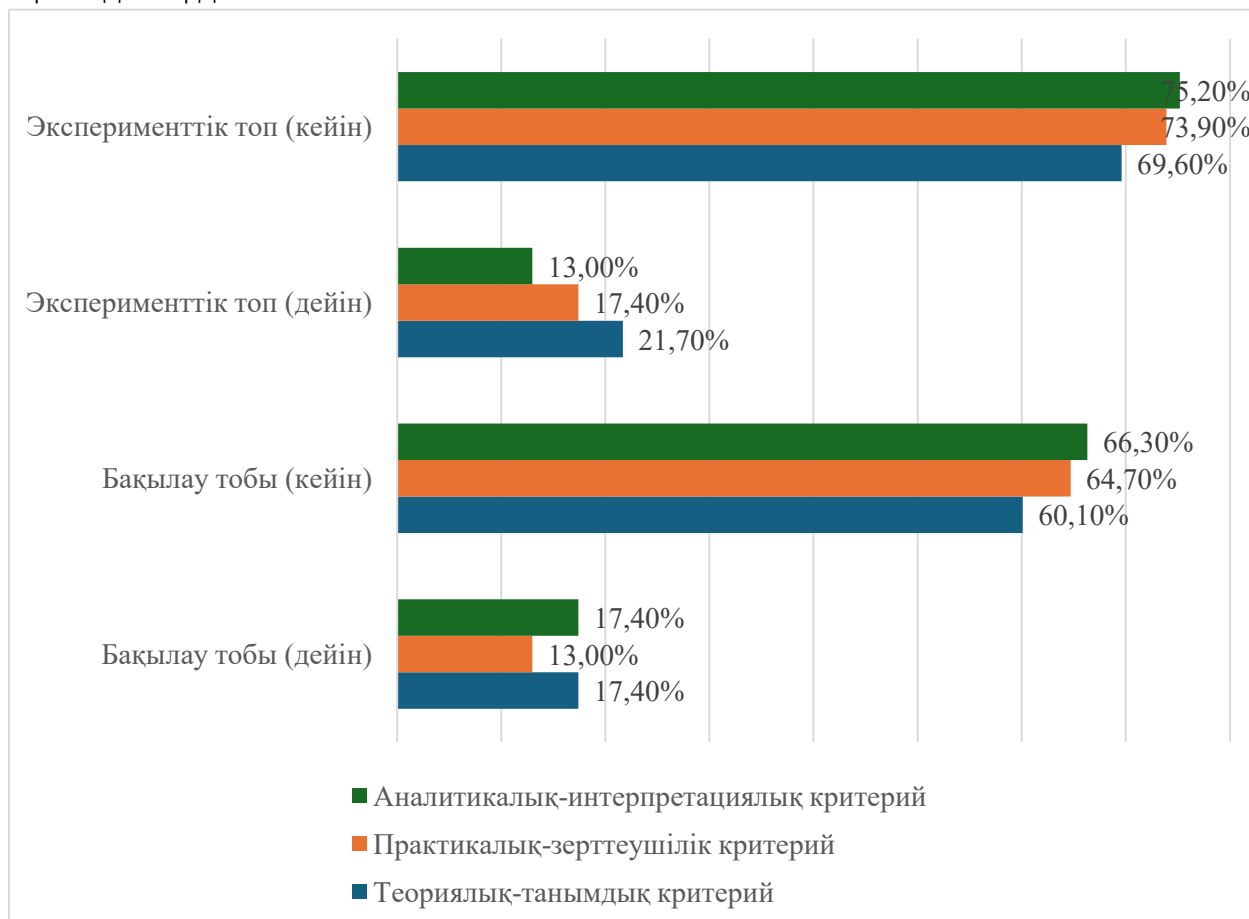
Орындау талабы:

- негізгі ойды бұрмаламаңыз;
- терминдерді дұрыс жазыңыз;
- жауаптарды логикалық ретпен беріңіз.

Нәтиже: Білімгер тыңдалым арқылы морфологиялық, экологиялық және микологиялық ақпаратты қысқаша әрі ғылыми түрде қорытады.

Зерттеу екі кезеңде жүргізілді. Бірінші кезеңде бақылау және эксперименттік топтарда бастапқы диагностикалық бағалау ұйымдастырылып, білімгерлердің зерттеу тақырыбы бойынша бастапқы дайындық деңгейі анықталды. Екінші кезеңде эксперименттік топта арнайы зерттеушілік тапсырмалар, далалық бақылау элементтері, микромицеттердің зақымдау белгілерін сипаттау және фитосанитарлық жағдайды бағалау жұмыстары жүргізілді. Бақылау тобы дәстүрлі оқу тапсырмаларын орындады. Қорытынды кезеңде екі топта қайта диагностикалық бағалау өткізіліп, бастапқы және соңғы нәтижелер салыстырылды.

Зерттеу нәтижелерін өңдеу барысында әр критерий бойынша білімгерлердің деңгейлік көрсеткіштері пайыздық үлеспен есептелді. Бұл бақылау және эксперименттік топтардағы өзгерістерді салыстыруға, қолданылған әдістің тиімділігін анықтауға және *Juniperus virginiana* L. ағашындағы микромицеттердің фитосанитарлық жағдайға әсерін зерттеу арқылы білімгерлердің зерттеушілік құзыреттілігінің қалыптасу деңгейін бағалауға мүмкіндік берді.



Сурет 2. *Juniperus virginiana* L. ағашындағы микромицеттерді зерттеу бойынша қорытынды нәтижелер

Жүргізілген зерттеу нәтижелері *Juniperus virginiana* L. ағашындағы микромицеттердің фитосанитарлық жағдайға әсерін кешенді бағалауға бағытталған зерттеушілік оқыту тәсілдерінің білімгерлердің теориялық, практикалық және аналитикалық құзыреттіліктерін қалыптастыруда жоғары тиімділік көрсеткенін дәлелдеді. Бастапқы және қорытынды диагностикалық нәтижелерді салыстырмалы талдау эксперименттік топта барлық критерийлер бойынша айқын оң динамиканың қалыптасқанын көрсетті. Бұл өзгерістер микромицеттерді зерттеуге негізделген тәжірибелік-аналитикалық тапсырмалардың білімгерлердің танымдық белсенділігі мен ғылыми интерпретациялық қабілеттерін дамытуда маңызды рөл атқарғанын айғақтайды.

Теориялық-танымдық критерий бойынша алынған нәтижелер эксперименттік топта білімгерлердің фитопатология, микология және фитосанитарлық диагностика саласындағы білім деңгейінің едәуір артқанын көрсетті. Экспериментке дейін жоғары деңгей көрсеткіші 21,7% болса, зерттеу соңында бұл көрсеткіш 69,6%-ға дейін өсті. Ал бақылау тобында өсім небәрі 17,4%-дан 26,1%-ға дейін ғана байқалды. Бұл айырмашылық дәстүрлі теориялық түсіндірумен салыстырғанда зерттеушілік сипаттағы тапсырмалардың анағұрлым тиімді екенін көрсетеді. Эксперименттік топтағы білімгерлер *Juniperus virginiana* L. ағашында кездесетін микромицеттердің түрлік ерекшеліктерін, фитопатогендік белсенділігін және

фитосанитарлық белгілерін ғылыми негізде түсіндіре бастады. Сонымен қатар олар фитосанитарлық жағдай ұғымын тек теориялық анықтама ретінде емес, ағаштың экологиялық тұрақтылығымен, физиологиялық жағдайымен және микобиоталық өзгерістерімен байланысты кешенді жүйе ретінде қабылдай алды.

Зерттеу барысында байқалған маңызды ерекшеліктердің бірі – білімгерлердің микромицеттерді тек ауру қоздырғыштары ретінде емес, ағаш микробиомының құрамдас бөлігі ретінде қарастыра бастауы болды. Бұл жағдай олардың ғылыми дүниетанымының кеңейгенін және биологиялық жүйелерді көпфакторлы байланыста түсіну қабілетінің қалыптасқанын көрсетеді. Әсіресе эксперименттік топта микромицеттердің эндофитті, сапрофитті және патогенді формаларын ажырату барысында жүйелі талдау дағдылары қалыптасқаны анықталды. Мұндай нәтижелер зерттеу үдерісінде нақты биологиялық объектімен жұмыс жасаудың когнитивтік белсенділікті арттыратынын дәлелдейді.

Практикалық-зерттеушілік критерий бойынша эксперименттік топтағы нәтижелер ең жоғары динамиканы көрсетті. Бастапқы кезеңде жоғары деңгей 17,4% болса, қорытынды кезеңде бұл көрсеткіш 73,9%-ға жетті. Бақылау тобында көрсеткіш тек 13,0%-дан 21,7%-ға дейін өзгерді. Бұл айырмашылық эксперименттік топта қолданылған фитосанитарлық бақылау, микромицеттердің зақымдау белгілерін анықтау, үлгілерді сипаттау және визуалды диагностика элементтерінің білімгерлердің тәжірибелік дағдыларын қалыптастыруда ерекше тиімді болғанын көрсетеді.

Зерттеу барысында эксперименттік топ білімгерлері қылқан жапырақтардың сарғаюы, некроздық аймақтардың түзілуі, өркендердің құрауы және тәж құрылымының өзгеруі сияқты фитосанитарлық белгілерді нақты анықтап, оларды микромицеттердің патогендік әсерімен байланыстыра алды. Сонымен қатар білімгерлер зерттеу объектісінің морфологиялық ерекшеліктерін микологиялық зақымдану деңгейімен салыстыру арқылы биологиялық интерпретация жасауға дағдыланды. Бұл олардың тек дайын ақпаратты қабылдаушы емес, ғылыми деректерді талдай алатын зерттеуші субъект ретінде қалыптасуына ықпал етті.

Практикалық жұмыстар барысында білімгерлердің бақылау жүргізу дәлдігі, салыстырмалы талдау қабілеті және фитопатологиялық терминдерді қолдану деңгейі де айтарлықтай жақсарды. Әсіресе микромицеттердің таралу қарқындылығын бағалау кезінде білімгерлердің объектіні кешенді бақылау дағдылары дамыды. Мұндай нәтижелер далалық және зертханалық элементтерді біріктіретін оқыту тәсілдерінің биологиялық білім беруде жоғары педагогикалық әлеуетке ие екенін көрсетеді.

Аналитикалық-интерпретациялық критерий нәтижелері де зерттеу жұмысының тиімділігін айқын дәлелдеді. Эксперименттік топта жоғары деңгей көрсеткіші 13,0%-дан 65,2%-ға дейін өсті, ал бақылау тобында тек 17,4%-дан 26,1%-ға дейін ғана өзгеріс байқалды. Бұл білімгерлердің ғылыми қорытынды жасау, микромицеттердің фитосанитарлық жағдайға әсерін түсіндіру және зерттеу нәтижелерін экологиялық тұрғыдан интерпретациялау қабілеттерінің айтарлықтай артқанын көрсетеді.

Эксперименттік топтағы білімгерлер микромицеттердің таралуы мен ағаштың фитосанитарлық жағдайы арасындағы себеп-салдарлық байланыстарды нақты түсіндіре алды. Олар микромицеттердің белсенділігі қоршаған орта жағдайларымен, ылғалдылық деңгейімен, өсімдіктің физиологиялық әлсіреуімен және экологиялық стресс факторларымен байланысты екенін ғылыми тұрғыдан негіздей бастады. Сонымен қатар зерттеу нәтижелерін салыстыру барысында білімгерлер статистикалық және сипаттамалық талдау элементтерін қолдануға бейімделді.

Зерттеу нәтижелері биология бағытындағы білімгерлерді даярлауда фитопатологиялық зерттеу элементтерін қолданудың педагогикалық тиімділігін дәлелдейді. *Juniperus virginiana* L. ағашындағы микромицеттердің фитосанитарлық жағдайға әсерін кешенді бағалау білімгерлердің теориялық білімін тәжірибемен ұштастырып қана қоймай,

олардың зерттеушілік ойлауын, аналитикалық қабілетін және ғылыми интерпретациялық мәдениетін қалыптастыруға мүмкіндік берді.

Жалпы алғанда алынған нәтижелер зерттеушілік бағыттағы биологиялық тапсырмалардың білімгерлердің кәсіби құзыреттілігін қалыптастыруда маңызды орын алатынын көрсетті. Әсіресе нақты фитопатологиялық объектілермен жұмыс жасау, микромицеттердің әсерін тәжірибелік тұрғыдан бағалау және фитосанитарлық талдау жүргізу білімгерлердің танымдық белсенділігін арттырып, олардың ғылыми-зерттеу әрекетіне қызығушылығын күшейтті. Бұл өз кезегінде жоғары оқу орындарындағы биологиялық білім беру жүйесінде фитопатология, микология және экологиялық мониторинг бағыттарын тәжірибелік зерттеулермен интеграциялау қажеттігін негіздейді.

Жүргізілген зерттеу жұмысы *Juniperus virginiana* L. ағашындағы микромицеттердің фитосанитарлық жағдайға әсерін кешенді бағалау негізінде білімгерлердің зерттеушілік құзыреттілігін қалыптастырудың ғылыми-педагогикалық тиімділігін айқындауға мүмкіндік берді. Зерттеу барысында микромицеттердің фитопатогендік белсенділігі, олардың ағаштың морфологиялық және физиологиялық жағдайына ықпалы, сондай-ақ фитосанитарлық белгілердің қалыптасу ерекшеліктері талданды. Алынған нәтижелер микромицеттердің қылқан жапырақты интродуцент ағаштардың санитарлық тұрақтылығына елеулі әсер ететінін көрсетті.

Эксперименттік оқыту нәтижелері зерттеушілік бағыттағы тапсырмаларды жүйелі қолдану білімгерлердің теориялық білімін тереңдетіп қана қоймай, олардың практикалық бақылау, фитосанитарлық диагностика, салыстырмалы талдау және ғылыми интерпретация жасау дағдыларын айтарлықтай дамытқанын дәлелдеді. Әсіресе эксперименттік топта теориялық-танымдық, практикалық-зерттеушілік және аналитикалық-интерпретациялық критерийлер бойынша жоғары деңгей көрсеткіштерінің айқын өсуі биологиялық білім беруде микологиялық және фитопатологиялық зерттеу элементтерін қолданудың жоғары тиімділігін көрсетті.

Зерттеу нәтижелері *Juniperus virginiana* L. ағашындағы микромицеттерді зерттеу білімгерлердің ғылыми дүниетанымын қалыптастыруға, экологиялық және фитопатологиялық үдерістерді кешенді түсінуге, сондай-ақ биологиялық объектілерді зерттеудің заманауи тәсілдерін меңгеруіне мүмкіндік беретінін дәлелдейді. Сонымен қатар фитосанитарлық бақылау элементтерін оқу үдерісіне енгізу білімгерлердің танымдық белсенділігін арттырып, олардың ғылыми-зерттеу әрекетіне қызығушылығын күшейтетіні анықталды.

Жалпы алғанда, *Juniperus virginiana* L. ағашындағы микромицеттердің фитосанитарлық жағдайға әсерін кешенді бағалау биология бағытындағы білімгерлерді даярлауда тәжірибелік-зерттеушілік оқытудың тиімді ғылыми-әдістемелік негіздерінің бірі болып табылатыны анықталды.

Бұл мақала AP26101971 «PISA зерттеулерінің негізінде оқушылардың жаратылыстану бағытындағы функционалдық сауаттылығын қалыптастырудың әдістемелік негіздерін даярлау (Түркістан облысы мысалында)» атты гранттық жоба есебінен жарияланды.

ӘДЕБИЕТТЕР ТІЗІМІ

1. Otta J.D., Fiedler D.J., Lengkeek V.H. Effect of Benomyl on *Phomopsis juniperovora* Infection of *Juniperus virginiana* // Phytopathology. – 1980. – Vol. 70, № 1. – P. 46-50.
2. Peterson G.W. Infection of *Juniperus virginiana* and *J. scopulorum* by *Phomopsis juniperovora* // Phytopathology. – 1973. – Vol. 63, № 2. – P. 246-249.
3. Otta J.D. Alpha and beta spore occurrence in *Phomopsis juniperovora* pycnidia on *Juniperus virginiana* and in culture // Canadian Journal of Botany. – 1978. – Vol. 56, № 7. – P. 727-728.
4. Susceptibility and Response of *Juniperus* Species to Kabatina Tip Blight // Plant Disease. – 1982. – Vol. 66, № 12. – P. 1189-1191.
5. Pataky N.R. Cedar-Apple Rusts // University of Illinois Extension. – Urbana, 2000. – P. 1-6.
6. Hoffman M.T., Arnold A.E. Geographic locality and host identity shape fungal endophyte communities in cupressaceous trees // Mycological Research. – 2008. – Vol. 112, № 3. – P. 331-344.
7. Hoffman M.T., Gunatilaka M.K., Wijeratne K. et al. Diverse bacteria inhabit living hyphae of phylogenetically diverse fungal endophytes // Applied and Environmental Microbiology. – 2010. – Vol. 76, № 12. – P. 4063-4075.
8. Arnold A.E., Iturriaga T., Rojas E.I. et al. Two new endophytic species enrich the *Coniochaeta endophytica* – *C. prunicola* clade // Plant and Fungal Systematics. – 2021. – Vol. 66, № 1. – P. 66-78.
9. Crous P.W., Wingfield M.J., Burgess T.I. et al. Genera of phytopathogenic fungi known from culture // Studies in Mycology. – 2025. – Vol. 100. – P. 53-161.
10. Рахимова Е.В., Огарь Н.П., Сагындык Н.А. К разнообразию микромицетов Жонгар-Алатауского национального парка // Природа Внутренней Азии. – 2016. – № 3. – С. 56-63.
11. Рахимова Е.В., Асылбек А.М., Куштарова А.М. Находки новых и редких видов для микобиоты юго-востока Казахстана // Turczaninowia. – 2023. – Т. 26, № 4. – С. 95-106.
12. Ospanova A., Yermagambetova M., Akhmetova G. et al. Fungal pathogens found in tissues of herbaceous plants growing in Yereymentau District, Akmola Region // Eurasian Journal of Biosciences. – 2020. – Vol. 14, № 2. – P. 3921-3928.
13. Ignatova L.V., Brazhnikova Y.V., Berzhanova R.Z. Prevalence and fungicidal activity of endophytic micromycetes of plants in Kazakhstan // International Journal of Biology and Chemistry. – 2014. – Vol. 7, № 2. – P. 18-24.
14. Yermagambetova M., Kushunova M., Orazbekov Y. et al. Genetic diversity and population structure of *Juniperus seravschanica* Kom. collected in Central Asia // Plants. – 2023. – Vol. 12, № 16. – P. 2961-2975.
15. Abdikarimova P.U., Tleukenova S.K., Isakova A.B. The morphological features of above-ground parts of *Juniperus sabina* // Bulletin of Karaganda University. Biology. Medicine. Geography Series. – 2024. – № 1. – P. 45-53.
16. Айымбетова И.О., Нуртаева А.С., Жумабекова Г.Т. Ботаникалық бақ өсімдіктеріндегі фитопатогенді және сапрофитті микромицеттердің таралу ерекшеліктері // Ғылым және білім. – 2025. – № 2. – Б. 112-119.

ЦИФРЛЫҚ ОРТАДАҒЫ ОҚУ-ДАЛА ПРАКТИКАСЫ: КӘСІБИ ДАЯРЛЫҚТЫ ҚАЛЫПТАСТЫРУДЫҢ ИННОВАЦИЯЛЫҚ ӘДІСТЕМЕСІ

Исаев Ғани Исаұлы

техн.ғ.к., профессор м.а., Қожа Ахмет Ясауи атындағы Халықаралық қазақ-түрік университеті, Түркістан, Қазақстан Республикасы

Нұғман Роза Мейрамқызы

Қожа Ахмет Ясауи атындағы Халықаралық қазақ-түрік университетінің магистранты, Түркістан қ., Қазақстан Республикасы

Аннотация. Мақалада цифрлық орта жағдайында оқу-дала практикасын ұйымдастырудың білімгерлердің кәсіби даярлығын қалыптастырудағы педагогикалық мүмкіндіктері қарастырылды. Зерттеу барысында оқу-дала практикасын электрондық оқулық негізінде ұйымдастырудың әдістемелік ерекшеліктері талданып, оның білімгерлердің теориялық білімін, практикалық-зерттеушілік дағдыларын, цифрлық сауаттылығын және кәсіби рефлексиясын дамытуға әсері анықталды. Тәжірибелік-эксперименттік жұмыс Қожа Ахмет Ясауи атындағы Халықаралық қазақ-түрік университетінің Ботаникалық бағында жүргізілді. Зерттеуге биология бағыты бойынша білім алатын 1-2 курс білімгерлері қатысты. Эксперименттік топта электрондық оқулық қолданылып, бақылау тобында дәстүрлі оқыту тәсілдері пайдаланылды. Зерттеу нәтижелері цифрлық технологияларды оқу-дала практикасына кіріктіру білімгерлердің кәсіби даярлығын арттыруда тиімді педагогикалық құрал екенін көрсетті.

Кілт сөздер: оқу-дала практикасы, цифрлық орта, электрондық оқулық, кәсіби даярлық, биология білімі, цифрлық технологиялар, зерттеушілік дағдылар, практикалық оқыту, білімгер, педагогикалық эксперимент.

Қазіргі жоғары білім беру жүйесіндегі жаңғырту үдерістері болашақ мамандардың кәсіби даярлығына қойылатын талаптардың мазмұнын түбегейлі өзгертуде. Әсіресе жаратылыстану-биологиялық бағыттағы білім беру саласында теориялық білімді тәжірибелік әрекетпен ұштастыру, білімгерлердің зерттеушілік, аналитикалық және кәсіби-практикалық құзыреттіліктерін қалыптастыру негізгі басымдықтардың біріне айналып отыр. Осы тұрғыдан алғанда оқу-дала практикасы білімгерлердің кәсіби қалыптасуындағы маңызды педагогикалық орта ретінде қарастырылады. Себебі оқу-дала практикасы барысында білімгер табиғи нысандарды тікелей бақылау, биологиялық құбылыстарды талдау, экожүйелік байланыстарды анықтау, морфологиялық және фенологиялық зерттеулер жүргізу арқылы теориялық білімін тәжірибелік деңгейде бекітеді. Сонымен қатар мұндай практикалар білімгердің кәсіби ойлауын, дербес шешім қабылдауын және ғылыми-зерттеу мәдениетін дамытуға ықпал етеді.

Соңғы жылдары цифрлық технологиялардың қарқынды дамуы білім беру кеңістігінің құрылымы мен мазмұнына елеулі өзгерістер енгізді. Цифрлық орта тек ақпараттық-коммуникациялық құралдардың жиынтығы ғана емес, сонымен қатар білім алушылардың кәсіби әрекетін ұйымдастырудың жаңа педагогикалық моделі ретінде сипатталады. Бүгінгі

таңда мобильді қосымшалар, геоақпараттық жүйелер, виртуалды зертханалар, мультимедиялық платформалар, интерактивті карталар, сандық деректер базасы және онлайн бақылау құралдары оқу-дала практикасының мазмұнын жаңаша ұйымдастыруға мүмкіндік беруде. Мұндай цифрлық шешімдер білімгерлердің табиғи ортадағы зерттеу әрекеттерін жүйелеуге, алынған мәліметтерді жедел өңдеуге, биологиялық деректерді визуализациялауға және далалық бақылау нәтижелерін ғылыми тұрғыдан интерпретациялауға жағдай жасайды.

Цифрлық ортадағы оқу-дала практикасының ерекшелігі білімгердің пассивті бақылаушы емес, белсенді зерттеуші субъект ретіндегі рөлін күшейтуімен сипатталады. Дәстүрлі оқу-дала практикасында бақылау мен тіркеу әрекеттері көбінесе қағаз форматында жүзеге асырылса, цифрлық ортада бұл үдерістер автоматтандырылған және интерактивті сипат алады. Мысалы, GPS-навигация, геолокациялық белгілеу, электрондық далалық күнделік, фотомониторинг, QR-код негізіндегі тапсырмалар және бұлттық сервистер білімгерлердің зерттеу әрекеттерін неғұрлым нақты әрі тиімді ұйымдастыруға мүмкіндік береді. Сонымен қатар цифрлық технологияларды қолдану далалық практика барысында білімгерлердің ақпараттық сауаттылығын, цифрлық құзыреттілігін және кәсіби мобильділігін дамытуға ықпал етеді.

Білім беру тәжірибесінде оқу-дала практикасын ұйымдастырудың дәстүрлі әдістері көбіне репродуктивті сипатта қалып, білімгердің зерттеушілік белсенділігін толық деңгейде қамтамасыз ете алмайтындығы байқалады. Мұндай жағдайда цифрлық ортаға негізделген инновациялық әдістемелерді енгізу қажеттілігі туындайды. Инновациялық әдістеме оқу-дала практикасының құрылымын жаңғыртып қана қоймай, білімгерлердің кәсіби әрекетке бейімделуін, ғылыми деректермен жұмыс істеу қабілетін және тәжірибелік мәселелерді шешу дағдыларын кешенді түрде қалыптастыруға бағытталады. Әсіресе биология саласында экологиялық мониторинг, өсімдік жамылғысын зерттеу, биоалуантүрлілікті талдау, фенологиялық бақылаулар жүргізу сияқты практикалық жұмыстарды цифрлық құралдар арқылы ұйымдастыру кәсіби даярлық сапасын арттырудың тиімді жолдарының бірі болып табылады.

Зерттеу тақырыбының өзектілігі оқу-дала практикасын цифрлық ортада ұйымдастырудың педагогикалық мүмкіндіктерін ғылыми тұрғыдан негіздеу қажеттілігімен айқындалады. Қазіргі кезеңде білімгерлердің кәсіби даярлығын қалыптастыруда цифрлық технологиялардың ықпалын қарастыратын зерттеулер саны артқанымен, оқу-дала практикасын инновациялық әдістемелік тұрғыдан ұйымдастыру мәселесі жеткілікті деңгейде жүйеленбеген. Әсіресе болашақ биология мамандарының кәсіби құзыреттіліктерін қалыптастыруда цифрлық орта мүмкіндіктерін кешенді қолданудың ғылыми-әдістемелік негіздері терең зерттеуді талап етеді. Осыған байланысты цифрлық ортадағы оқу-дала практикасының мазмұнын жаңарту, заманауи цифрлық құралдарды кәсіби даярлық үдерісіне енгізу және олардың педагогикалық тиімділігін анықтау ғылыми және практикалық тұрғыдан маңызды мәселе болып табылады.

Осы зерттеудің мақсаты – цифрлық орта жағдайында оқу-дала практикасын ұйымдастырудың инновациялық әдістемесін ғылыми-теориялық тұрғыдан негіздеу және оның білімгерлердің кәсіби даярлығын қалыптастырудағы тиімділігін анықтау. Зерттеу барысында оқу-дала практикасын цифрлық технологиялар арқылы ұйымдастырудың педагогикалық мүмкіндіктері талданып, білімгерлердің кәсіби құзыреттіліктерін дамытуға бағытталған әдістемелік жүйе қарастырылады.

Қазіргі жоғары білім беру жүйесіндегі цифрландыру үдерісі болашақ мамандардың кәсіби даярлығын ұйымдастырудың мазмұны мен құрылымына елеулі өзгерістер енгізуде. Әсіресе биология бағытындағы оқу-дала практикасы білімгерлердің теориялық білімін табиғи орта жағдайында тәжірибемен ұштастыратын, кәсіби құзыреттіліктерін

қалыптастыратын маңызды педагогикалық алаң болып табылады. Осыған байланысты оқу-дала практикасын цифрлық орта негізінде ұйымдастыру мәселесі ғылыми-педагогикалық зерттеулерде өзекті бағыттардың біріне айналып отыр.

Шетелдік зерттеулерде оқу-дала практикасының білімгерлердің кәсіби даярлығына әсері кеңінен қарастырылған. Maw, Mauchline және Park өз зерттеулерінде биологиялық бағыттағы далалық жұмыстардың білімгерлердің экологиялық түсінігін, ғылыми бақылау жүргізу қабілетін және зерттеушілік мәдениетін қалыптастырудағы маңызын негіздейді [1]. Авторлардың пікірінше, табиғи ортадағы тәжірибелік жұмыстар білімгердің тек пәндік білімін ғана емес, сонымен қатар кәсіби жауапкершілігін, талдау қабілетін және дербес шешім қабылдау дағдыларын жетілдіреді. Бұл тұжырым оқу-дала практикасын цифрлық ортада ұйымдастырудың қажеттілігін дәлелдеуде маңызды орын алады, өйткені заманауи цифрлық құралдар далалық зерттеу әрекеттерін жүйелі әрі тиімді ұйымдастыруға мүмкіндік береді.

Shinbrot және әріптестері жүргізген зерттеуде далалық курстардың жаратылыстану бағытындағы білімгерлердің кәсіби тұрақтылығына, пәнге қызығушылығына және ғылыми-зерттеу әрекетіне оң ықпал ететіні көрсетілген [2]. Зерттеу нәтижелері оқу-дала практикасының білімгердің академиялық белсенділігін арттырып қана қоймай, оның кәсіби бағыттылығын қалыптастыруда маңызды рөл атқаратынын дәлелдейді. Бұл еңбекте далалық тәжірибенің практикалық мазмұны білімгердің кәсіби өзіндік сенімін күшейтетіні ерекше атап көрсетілген.

Nicotra және әріптестері табиғи орта жағдайында ұйымдастырылған қарқынды далалық курстардың білімгерлердің экологиялық және биологиялық ұғымдарды терең меңгеруіне ықпал ететінін көрсетеді [3]. Авторлар оқу-дала жұмыстары барысында білімгерлердің табиғи құбылыстарды бақылау, салыстыру, интерпретациялау және қорытынды жасау дағдылары дамитынын атап өтеді. Сонымен қатар зерттеу барысында білімгерлердің дербес зерттеу әрекетіне тартылуы олардың ғылыми ойлауын қалыптастырудың тиімді шарты ретінде қарастырылған.

Соңғы жылдары цифрлық технологияларды оқу-дала практикасына енгізу мәселесіне арналған зерттеулер саны артып келеді. Maddison және әріптестері электрондық далалық күнделіктерді қолдану арқылы далалық тәжірибені ұйымдастырудың тиімділігін зерттеген [4]. Авторлардың пікірінше, электрондық тіркеу жүйелері білімгерлердің деректерді жинау, сақтау, өңдеу және визуализациялау әрекеттерін жеңілдетеді. Сонымен қатар цифрлық жазба құралдары бақылау нәтижелерінің дәлдігін арттырып, білімгерлердің зерттеу әрекеттерін жүйелі түрде ұйымдастыруға мүмкіндік береді.

Evelpidou және әріптестері виртуалды далалық экскурсиялардың білімгерлерді нақты табиғи ортадағы зерттеу жұмыстарына алдын ала дайындаудағы мүмкіндіктерін қарастырған [5]. Авторлар цифрлық карталар, кеңістіктік модельдер және интерактивті визуализациялар арқылы білімгерлердің табиғи нысандар туралы бастапқы түсінігі қалыптасатынын көрсетеді. Мұндай тәсілдер білімгердің оқу-дала практикасына бейімделуін жеңілдетіп, оның кеңістіктік және аналитикалық ойлауын дамытуға ықпал етеді.

Kearney және әріптестері мобильді технологияларды далалық оқытуда қолданудың педагогикалық мүмкіндіктерін талдай отырып, олардың білімгерлердің белсенді танымдық әрекетін ұйымдастырудағы рөлін атап көрсетеді [6]. Авторлардың пікірінше, мобильді құрылғылар білімгерлерге табиғи ортада фотобақылау жүргізуге, деректерді жедел тіркеуге және нәтижелерді цифрлық форматта өңдеуге мүмкіндік береді. Бұл оқу-дала практикасының дәстүрлі репродуктивті сипаттан зерттеушілік әрекетке көшуіне жағдай жасайды.

Favier және әріптестері геокеңістіктік технологиялар негізінде ұйымдастырылған экскурсиялардың білімгерлердің кеңістіктік ойлауын және зерттеу қабілеттерін дамытудағы тиімділігін дәлелдейді [7]. Авторлар цифрлық карта, географиялық белгілеу және кеңістіктік

талдау құралдары табиғи нысандарды зерттеу үдерісін анағұрлым нақты әрі жүйелі ұйымдастыруға мүмкіндік беретінін атап көрсетеді. Мұндай технологиялар биологиядағы оқу-дала практикасын жүргізуде өсімдіктердің таралу аймағын белгілеу, фенологиялық өзгерістерді бақылау және экологиялық мониторинг жүргізу жұмыстарында ерекше маңызға ие.

Holloway зерттеуінде смартфондық геоақпараттық құралдардың білімгерлердің кәсіби құзыреттілігін дамытудағы рөлі қарастырылған [8]. Автор цифрлық кеңістіктегі далалық зерттеулер білімгердің тек ақпарат жинаушы емес, деректерді талдаушы және ғылыми интерпретация жасаушы субъект ретінде қалыптасуына ықпал ететінін көрсетеді. Бұл тұжырым цифрлық ортадағы оқу-дала практикасының инновациялық сипатын айқындайды.

Қазақстандық зерттеулерде де болашақ биология мамандарының кәсіби даярлығын жетілдіру мәселесі өзекті ғылыми бағыт ретінде қарастырылып келеді. Abdildauly, Mukasheva және әріптестері оқу-дала практикасы негізінде болашақ биология мұғалімдерінің зерттеушілік құзыреттілігін қалыптастыру мәселесін зерттеген [9]. Авторлар далалық тәжірибе барысында білімгерлердің биологиялық нысандарды бақылау, салыстырмалы талдау жүргізу, тәжірибелік қорытынды жасау және ғылыми деректерді интерпретациялау дағдылары қалыптасатынын атап көрсетеді. Сонымен қатар зерттеушілер оқу-дала практикасын кәсіби даярлықтың негізгі компоненттерінің бірі ретінде сипаттайды.

Abiltayeva және әріптестері болашақ биология мұғалімдерінің технологиялық және педагогикалық даярлығын зерттей отырып, цифрлық құралдарды пәндік мазмұнмен кіріктірудің маңызын көрсетеді [10]. Авторлардың пікірінше, қазіргі биология мұғалімі тек теориялық біліммен шектелмей, цифрлық ресурстарды кәсіби мақсатта тиімді пайдалана алуы қажет. Бұл тұжырым цифрлық ортадағы оқу-дала практикасының әдістемелік негіздерін қалыптастыруда маңызды теориялық бағыт болып табылады.

Kurakbayeva және Xembayeva зерттеулерінде цифрлық білім беру интервенцияларының студенттердің кәсіби белсенділігіне әсері қарастырылған [11]. Авторлар цифрлық технологиялар білімгерлердің дербес әрекетін, ақпараттық сауаттылығын және тәжірибелік дайындық деңгейін арттыратынын көрсетеді. Әсіресе практикалық бағыттағы пәндерде цифрлық құралдарды қолдану білімгерлердің оқу әрекетін ұйымдастырудың тиімді жолы ретінде сипатталған.

Abdygani еңбегінде болашақ мұғалімдердің цифрлық құзыреттілігін қалыптастыру мәселесі жан-жақты қарастырылған [12]. Автор цифрлық құзыреттілікті ақпараттық сауаттылықпен, технологиялық бейімделумен және кәсіби әрекетпен байланысты кешенді құрылым ретінде сипаттайды. Бұл оқу-дала практикасын цифрлық ортада ұйымдастыру кезінде ерекше маңызға ие, өйткені білімгер табиғи ортада алынған мәліметтерді өңдеу, сақтау және ұсыну барысында цифрлық мәдениетті меңгереді.

Tolegen, Erten және Zhanbekov зерттеулерінде болашақ биология мұғалімдерінің практикалық құзыреттілігін дамытудағы инновациялық тәсілдер талданған [13]. Авторлар кәсіби даярлықты жетілдіруде жобалық, тәжірибелік және зерттеушілік тапсырмалардың рөлін ерекше атап көрсетеді. Бұл зерттеу оқу-дала практикасының инновациялық әдістемесін құруда маңызды, себебі білімгердің белсенді әрекеті кәсіби құзыреттілікті қалыптастырудың негізгі шарты ретінде қарастырылады.

Shakenova, Khamzina және Sergazina болашақ биология мұғалімдерінің экологиялық-педагогикалық құзыреттілігін қалыптастыру мәселесін зерттеген [14]. Авторлар табиғи орта жағдайындағы тәжірибелік жұмыстар білімгерлердің экологиялық жауапкершілігін, табиғатқа құндылықтық көзқарасын және кәсіби мәдениетін дамытуға ықпал ететінін дәлелдейді. Бұл оқу-дала практикасының тек практикалық емес, тәрбиелік және құндылықтық маңызын да көрсетеді.

Mukasheva және әріптестері биология білімгерлерінің ғылыми-зерттеушілік құзыреттілігін қалыптастыруға арналған зерттеулерінде практикалық және зертханалық жұмыстардың кәсіби даярлықтағы рөлін негіздейді [15]. Авторлар ғылыми-зерттеу әрекеті арқылы білімгерлердің талдау, дәлелдеу, жүйелеу және қорытынды жасау қабілеттері қалыптасатынын атап көрсетеді. Бұл цифрлық ортадағы оқу-дала практикасының мазмұнын ғылыми-зерттеушілік бағытта ұйымдастырудың қажеттілігін дәлелдейді.

Жалпы алғанда, ғылыми әдебиеттерді талдау оқу-дала практикасының болашақ биология мамандарының кәсіби даярлығын қалыптастырудағы маңызды педагогикалық құрал екенін көрсетті. Сонымен қатар цифрлық технологияларды оқу-дала практикасына енгізу білімгерлердің зерттеушілік әрекетін жетілдіруге, деректерді өңдеу сапасын арттыруға және кәсіби құзыреттілігін кешенді дамытуға мүмкіндік беретіні анықталды. Алайда отандық зерттеулерде цифрлық ортадағы оқу-дала практикасының инновациялық әдістемесін жүйелі түрде қарастыратын еңбектердің жеткіліксіздігі байқалады. Осыған байланысты цифрлық технологияларды табиғи ортадағы тәжірибелік жұмыстармен кіріктіре отырып, білімгерлердің кәсіби даярлығын қалыптастырудың ғылыми-әдістемелік негіздерін терең зерттеу қажеттілігі туындайды.

Зерттеу жұмысының тәжірибелік-эксперименттік базасы ретінде Қожа Ахмет Ясауи атындағы Халықаралық қазақ-түрік университетінің Ботаникалық бағы алынды. Ботаникалық бақтың табиғи және интродукциялық өсімдік қорлары оқу-дала практикасын ұйымдастыруға, биологиялық нысандарды бақылауға, морфологиялық және экологиялық зерттеулер жүргізуге, сондай-ақ білімгерлердің практикалық және зерттеушілік дағдыларын дамытуға қолайлы орта ретінде пайдаланылды. Зерттеу барысында білімгерлер табиғи және мәдени өсімдік түрлерін бақылау, фенологиялық ерекшеліктерін сипаттау, экологиялық жағдайларын талдау және биологиялық деректерді тіркеу жұмыстарын орындады.

Зерттеуге биология бағыты бойынша білім алатын 1–2 курс білімгерлері қатысты. Жалпы респонденттер саны – 44. Зерттеу қатысушылары бақылау және эксперименттік топтарға бөлінді. Әр топта 22 білімгерден қамтылды. Бақылау тобында оқу-дала практикасы дәстүрлі әдістемелік нұсқаулықтар мен қағаз форматындағы тапсырмалар негізінде ұйымдастырылды. Ал эксперименттік топта оқу-дала практикасы электрондық оқулық арқылы жүргізілді.

Эксперименттік топта қолданылған электрондық оқулық оқу-дала практикасының мазмұнына сәйкес арнайы құрылымдалды. Оның құрамына теориялық материалдар, өсімдіктерді анықтауға арналған сипаттамалық кестелер, морфологиялық талдау алгоритмдері, бақылау парақтары, фотоматериалдар, интерактивті тапсырмалар, QR-код арқылы берілген қосымша ресурстар, өзіндік бақылау сұрақтары және рефлексиялық тапсырмалар енгізілді. Сонымен қатар электрондық оқулықта өсімдіктердің биологиялық ерекшеліктерін, экологиялық жағдайларын және фенологиялық кезеңдерін бақылауға арналған цифрлық тіркеу үлгілері пайдаланылды.

Зерттеу педагогикалық эксперимент негізінде ұйымдастырылып, үш кезеңде жүргізілді: анықтау кезеңі, қалыптастыру кезеңі және қорытынды кезең. Анықтау кезеңінде білімгерлердің оқу-дала практикасына қатысты бастапқы кәсіби даярлық деңгейі анықталды. Бұл кезеңде олардың биологиялық нысандарды тану, табиғи ортада бақылау жүргізу, зерттеу тапсырмаларын орындау, кәсіби терминдерді қолдану және цифрлық құралдармен жұмыс істеу деңгейлері бағаланды. Сонымен қатар білімгерлердің оқу-дала практикасына қызығушылығы мен зерттеушілік белсенділігі бақылау және сауалнама әдістері арқылы анықталды.

Қалыптастыру кезеңінде эксперименттік топ білімгерлері оқу-дала практикасын электрондық оқулық негізінде орындады. Практика барысында білімгерлер өсімдіктердің морфологиялық құрылысын зерттеу, тіршілік ету ортасын бақылау, фенологиялық өзгерістерді тіркеу, фотоматериалдар жинақтау және алынған мәліметтерді электрондық форматта өңдеу жұмыстарын жүргізді. Электрондық оқулық білімгерлердің оқу әрекетін кезең-кезеңімен ұйымдастыруға бағытталды: дайындық бөлімі, далалық бақылау бөлімі, мәліметтерді өңдеу бөлімі және қорытынды-рефлексиялық бөлім. Әрбір кезеңде білімгерлерге цифрлық тапсырмалар, бақылау сұрақтары және өзіндік талдау жұмыстары

8-тапсырма. Интерактивті тест (QR-код арқылы)

Мақсаты: өзін-өзі бақылау және цифрлық дағдыларды дамыту
Тапсырма: QR-код арқылы тестке өтіңіз.



Орынданыз:

1. 10 сұраққа жауап беріңіз
2. Қате жауаптарды талдаңыз
3. Қорытынды жасаңыз

9-кейс. Қайталанатын өлшеулердің келісімділігі: зерттеушіаралық айырмашылық

Жағдаят: Екі зерттеуші бір параметрді өлшеді. Зерттеуші 1: 14.2 мм, зерттеуші 2: 15.0 мм (бір объект, бір уақытта). Мұндай айырмашылық бірнеше объектіге қайталанған.

Тапсырма:

1. Бұл құбылысты "inter-observer variability" ретінде ғылыми түсіндіріңіз.
2. Өлшеу хаттамасын стандарттау үшін нақты ережелер ұсыныңыз (өлшеу нүктесі, қысым күші, құрал калибрлеуі).
3. Калибрлеу сеансын ұйымдастыру жоспарын жазыңыз (5 объекті, ортақ тренинг).
4. Деректерді өңдеу кезінде зерттеуші факторын ескерудің жолын ұсыныңыз (орташа алу, бір зерттеуші, түзету коэффициенті).
5. Ғылыми есепте бұл шектеуді қалай көрсетесіз (әдістер бөліміндегі жазылым үлгісі).

ұсынылды (1-сурет).

Сурет 1. Электронды оқулықтағы тапсырмалар үлгісі

Бақылау тобында оқу-дала практикасы дәстүрлі форматта ұйымдастырылды. Білімгерлер оқытушы түсіндірмесі негізінде тапсырмаларды орындап, бақылау нәтижелерін қағаз түріндегі далалық күнделікке тіркеді (1-сурет). Бұл топта цифрлық ресурстар жүйелі түрде қолданылмады және тапсырмалар негізінен репродуктивті сипатта жүргізілді.



Сурет 2. Бақылау тобымен жұмыс барысы

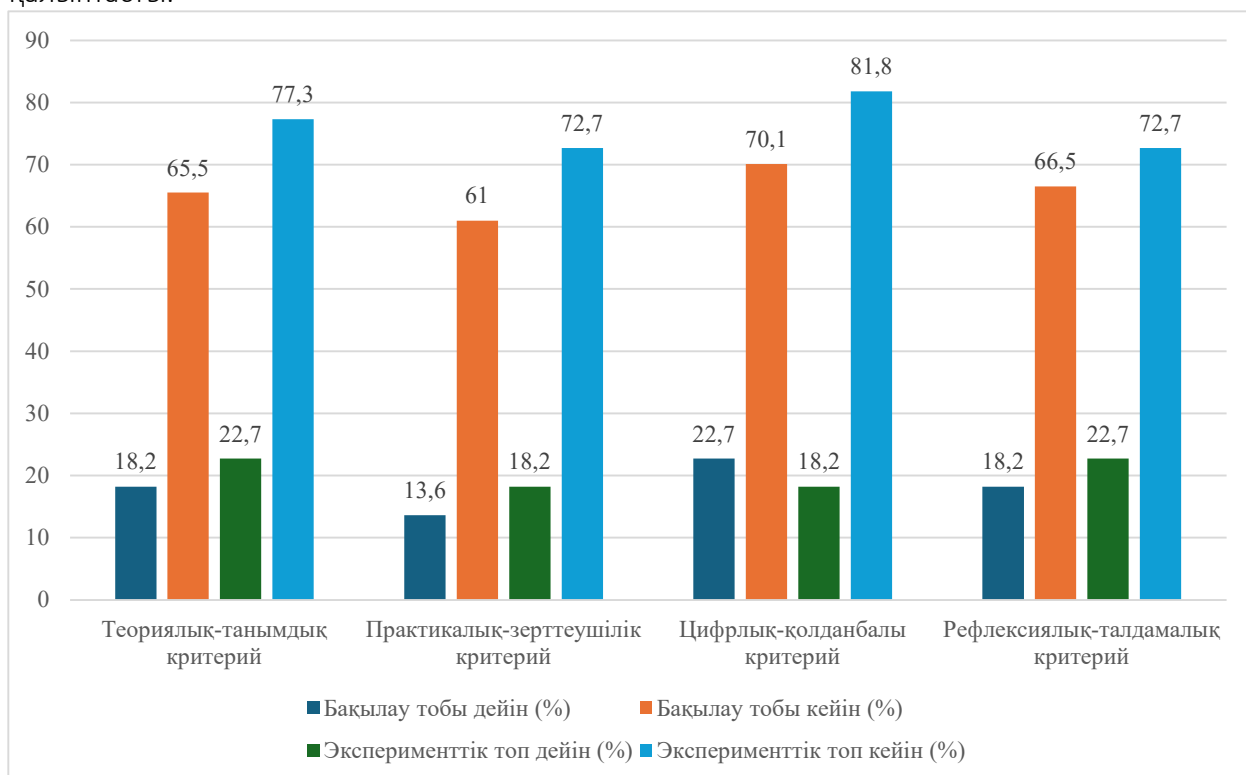
Зерттеуде негізгі ғылыми-әдістемелік тәсіл ретінде Д. Колбтың тәжірибелік оқыту моделі қолданылды. Бұл модель білімгердің нақты тәжірибе арқылы білім алуын, алынған тәжірибені талдауын, қорытынды жасауын және оны жаңа жағдайда қолдануын қарастырады. Д. Колб моделінің құрылымы оқу-дала практикасының мазмұнымен өзара тығыз байланысты болғандықтан, зерттеу барысында оның кезеңдері электрондық оқулық мазмұнына кіріктірілді.

Модельдің бірінші кезеңінде білімгерлер нақты тәжірибе негізінде табиғи ортада биологиялық нысандарды бақылап, практикалық тапсырмалар орындады. Екінші кезеңде олар электрондық оқулықтағы рефлексиялық тапсырмалар арқылы өз бақылауларына талдау жасады. Үшінші кезеңде алынған мәліметтерді салыстырып, экологиялық және биологиялық заңдылықтарға байланысты қорытынды тұжырымдар қалыптастырды. Төртінші кезеңде меңгерілген білімдері мен тәжірибелерін жаңа практикалық тапсырмаларда

қолдануға бағытталған жұмыстар орындалды. Осылайша электрондық оқулық Д. Колбтың тәжірибелік оқыту моделін жүзеге асырудың цифрлық педагогикалық құралы ретінде пайдаланылды.

Зерттеу барысында білімгерлердің кәсіби даярлығы төрт критерий бойынша бағаланды: теориялық-танымдық критерий, практикалық-зерттеушілік критерий, цифрлық-қолданбалы критерий және рефлексиялық-талдамалық критерий. Теориялық-танымдық критерий оқу-дала практикасына қатысты биологиялық білімдердің меңгерілу деңгейін анықтауға бағытталды. Практикалық-зерттеушілік критерий білімгерлердің табиғи ортада бақылау жүргізу, өсімдіктерге морфологиялық сипаттама беру, зерттеу нәтижелерін тіркеу және тәжірибелік тапсырмаларды орындау қабілеттерін бағалады. Цифрлық-қолданбалы критерий электрондық оқулықпен жұмыс істеу, цифрлық ресурстарды пайдалану және ақпаратты электрондық форматта өңдеу дағдыларын анықтады. Рефлексиялық-талдамалық критерий білімгерлердің өз әрекетіне талдау жасау, тәжірибелік нәтижелерді бағалау және кәсіби қорытынды шығару қабілеттерін бағалауға негізделді.

Оқу-дала практикасын цифрлық орта негізінде ұйымдастыру барысында білімгерлердің кәсіби даярлығында айтарлықтай өзгерістер байқалды. Эксперименттік топта электрондық оқулықты жүйелі қолдану білімгерлердің биологиялық нысандарды тану, зерттеу тапсырмаларын орындау, цифрлық ресурстармен жұмыс істеу және тәжірибелік қорытынды жасау қабілеттерінің артуына ықпал етті. Әсіресе оқу-дала практикасы кезінде деректерді тіркеу, морфологиялық сипаттама беру, бақылау нәтижелерін талдау және цифрлық форматта ұсыну көрсеткіштері жоғарылады. Ал бақылау тобында өзгерістер болғанымен, олардың динамикасы эксперименттік топпен салыстырғанда төмен деңгейде қалыптасты.



Сурет 3. Цифрлық ортадағы оқу-дала практикасының білімгерлердің кәсіби даярлығына әсер ету көрсеткіштері

Зерттеу нәтижелерін талдау цифрлық ортада ұйымдастырылған оқу-дала практикасының білімгерлердің кәсіби даярлығын қалыптастыруға оң ықпал еткенін көрсетті. Әсіресе эксперименттік топтағы көрсеткіштердің айқын өсуі электрондық оқулықты оқу-дала

практикасына кіріктірудің педагогикалық тиімділігін дәлелдейді. Эксперименттік топта теориялық-танымдық критерий бойынша нәтижелер 22,7%-дан 77,3%-ға дейін өсті. Бұл білімгерлердің биологиялық ұғымдарды, табиғи нысандардың ерекшеліктерін және оқу-дала практикасының мазмұнын тереңірек меңгергенін көрсетеді. Электрондық оқулықтағы теориялық материалдардың жүйелі құрылымы, визуалды материалдар мен интерактивті тапсырмалар білімгерлердің ақпаратты қабылдауын жеңілдетіп, теориялық білімді практикалық әрекетпен байланыстыруға мүмкіндік берді. Ал бақылау тобында бұл көрсеткіш 18,2%-дан 65,5%-ға дейін жоғарылағанымен, нәтижелердің динамикасы эксперименттік топпен салыстырғанда төмен деңгейде қалыптасты. Бұл дәстүрлі әдістердің теориялық білімді меңгертудегі мүмкіндіктері шектеулі екенін көрсетеді.

Практикалық-зерттеушілік критерий нәтижелері де оқу-дала практикасын цифрлық ортада ұйымдастырудың тиімділігін айқындады. Эксперименттік топта көрсеткіш 18,2%-дан 72,7%-ға дейін өсті. Бұл білімгерлердің табиғи ортада бақылау жүргізу, биологиялық нысандарды сипаттау, зерттеу әрекеттерін жүйелі орындау және далалық тапсырмаларды кәсіби деңгейде жүзеге асыру қабілеттерінің қалыптасқанын дәлелдейді. Электрондық оқулықта берілген алгоритмдік нұсқаулар, бақылау парақтары және практикалық тапсырмалар білімгерлердің зерттеу әрекетін құрылымдауға ықпал етті. Сонымен қатар цифрлық тіркеу формалары білімгерлердің бақылау нәтижелерін нақты әрі жүйелі рәсімдеуіне мүмкіндік берді. Бақылау тобында да көрсеткіштердің өсуі байқалғанымен, олардың нәтижелері көбіне оқытушының тікелей түсіндіруіне тәуелді болды. Бұл білімгерлердің дербес зерттеу әрекетінің эксперименттік топпен салыстырғанда әлсіздеу қалыптасқанын көрсетті.

Цифрлық-қолданбалы критерий бойынша ең жоғары нәтижелер эксперименттік топта анықталды. Көрсеткіштің 18,2%-дан 81,8%-ға дейін жоғарылауы электрондық оқулықтың цифрлық сауаттылықты және ақпараттық-коммуникациялық әрекеттерді дамытудағы маңызын дәлелдейді. Білімгерлер электрондық ресурстармен жұмыс істеу, фотоматериалдарды тіркеу, цифрлық форматтағы бақылау парақтарын пайдалану және алынған нәтижелерді электрондық түрде өңдеу дағдыларын меңгерді. Цифрлық ортадағы тапсырмалар білімгерлердің ақпаратты тек қабылдаушы емес, оны өңдеуші және талдаушы субъект ретінде қалыптасуына ықпал етті. Бақылау тобында бұл көрсеткіштің өсуі дәстүрлі оқу үдерісінде де белгілі бір деңгейде цифрлық құралдардың қолданылуымен түсіндірілгенімен, олардың нәтижелері эксперименттік топ деңгейіне жеткен жоқ.

Рефлексиялық-талдамалық критерий нәтижелері эксперименттік топтағы білімгерлердің өз әрекеттеріне сыни талдау жасау, тәжірибелік нәтижелерді бағалау және кәсіби қорытынды шығару қабілеттерінің дамығанын көрсетті. Көрсеткіштің 22,7%-дан 72,7%-ға дейін жоғарылауы электрондық оқулықтағы рефлексиялық тапсырмалар мен өзіндік бағалау элементтерінің тиімділігін дәлелдейді. Білімгерлер оқу-дала практикасы барысында тек бақылау жүргізіп қана қоймай, алынған мәліметтердің биологиялық және экологиялық маңызын түсіндіруге ұмтылды. Сонымен қатар олар тәжірибелік әрекеттердің кәсіби болашақпен байланысын саналы түрде бағалай бастады. Бақылау тобында да оң өзгерістер байқалды, алайда рефлексиялық әрекеттер көбіне сипаттамалық деңгейде қалыптасты.

Жалпы алғанда, зерттеу нәтижелері цифрлық ортадағы оқу-дала практикасының білімгерлердің кәсіби даярлығын қалыптастыруда жоғары педагогикалық тиімділікке ие екенін көрсетті. Электрондық оқулықты қолдану білімгерлердің теориялық білімін тереңдетіп қана қоймай, олардың зерттеушілік белсенділігін, цифрлық сауаттылығын және кәсіби рефлексиясын дамытуға мүмкіндік берді. Сонымен қатар оқу-дала практикасын цифрлық форматта ұйымдастыру білімгерлердің дербес әрекетін күшейтіп, олардың табиғи ортадағы зерттеу жұмыстарын жүйелі әрі ғылыми негізде орындауына жағдай жасады. Бұл

оқу-дала практикасын ұйымдастырудың дәстүрлі тәсілдерін жаңғыртып, кәсіби даярлықты қалыптастырудың инновациялық әдістемесін тиімді жүзеге асыруға мүмкіндік беретінін дәлелдейді.

Зерттеу нәтижелері цифрлық орта жағдайында ұйымдастырылған оқу-дала практикасының білімгерлердің кәсіби даярлығын қалыптастыруда жоғары педагогикалық тиімділікке ие екенін көрсетті. Электрондық оқулықты оқу-дала практикасына кіріктіру білімгерлердің теориялық білімді тәжірибемен ұштастыруына, табиғи ортада зерттеу әрекеттерін жүйелі ұйымдастыруына және биологиялық нысандарды ғылыми тұрғыдан талдауына мүмкіндік берді. Эксперименттік топтағы көрсеткіштердің айқын жоғарылауы цифрлық технологияларды қолданудың білімгерлердің танымдық белсенділігіне, практикалық-зерттеушілік әрекетіне және кәсіби құзыреттіліктерінің қалыптасуына оң ықпал еткенін дәлелдейді. Әсіресе электрондық оқулықтағы интерактивті тапсырмалар, цифрлық бақылау парақтары, визуалды материалдар және рефлексиялық бөлімдер білімгерлердің оқу-дала практикасына қызығушылығын арттырып, олардың дербес жұмыс істеу дағдыларын дамытуға ықпал етті.

Сонымен қатар зерттеу барысында цифрлық ортадағы оқу-дала практикасы білімгерлердің цифрлық сауаттылығын, ақпаратты өңдеу қабілетін және кәсіби рефлексиясын дамытуда маңызды құрал екені анықталды. Электрондық оқулық негізінде ұйымдастырылған оқу әрекеті білімгерлердің табиғи ортадағы бақылау нәтижелерін нақты тіркеуіне, алынған мәліметтерді жүйелеуіне және ғылыми қорытынды жасауына жағдай жасады. Зерттеу нәтижелері оқу-дала практикасын ұйымдастырудың дәстүрлі тәсілдерін жаңғырту қажеттігін және цифрлық технологияларды кәсіби даярлық үдерісіне кіріктірудің маңызын көрсетті. Осыған байланысты цифрлық білім беру ресурстарын пайдалану арқылы оқу-дала практикасын жетілдіру болашақ биология мамандарының кәсіби даярлығын қалыптастырудың тиімді инновациялық бағыты ретінде қарастырылуы мүмкін.

Бұл мақала AP26101971 «PISA зерттеулерінің негізінде оқушылардың жаратылыстану бағытындағы функционалдық сауаттылығын қалыптастырудың әдістемелік негіздерін даярлау (Түркістан облысы мысалында)» атты гранттық жоба есебінен жарияланды.

Пайдаланылған әдебиеттер тізімі:

1. Maw S. J., Mauchline A. L., Park J. Biological fieldwork provision in higher education // Bioscience Education. – 2011. – Vol. 17. – № 1. – P. 1-14.
2. Shinbrot X. A., Graham M. J., Shortlidge E. E. The benefits of field courses for undergraduate STEM persistence: a systematic review // BioScience. – 2022. – Vol. 72. – № 10. – P. 1007-1022.
3. Nicotra A. B., van Dijk K., Gardner J. et al. Field-based education for environmental and ecological learning // Ecology and Evolution. – 2022. – Vol. 12. – № 10. – P. 1-15.
4. Maddison J., Haughton J., Waller R. Co-designing a digital field notebook for bioscience fieldwork // Frontiers in Education. – 2023. – Vol. 8. – P. 1-12.
5. Evelpidou N., Karkani A., Saitis G. Virtual field trips as a tool for geoscience education // Geosciences. – 2022. – Vol. 12. – № 9. – P. 327-341.
6. Kearney M., Schuck S., Burden K., Aubusson P. Viewing mobile learning from a pedagogical perspective // Research in Learning Technology. – 2012. – Vol. 20. – P. 1-17.
7. Favier T. T., van der Schee J. A. The effects of geography fieldwork supported by mobile technologies // International Research in Geographical and Environmental Education. – 2014. – Vol. 23. – № 2. – P. 165-178.

8. Holloway P. Smartphone geographical information systems and field-based learning in higher education // Journal of Geography in Higher Education. – 2024. – Vol. 48. – № 1. – P. 55-71.
9. Abdildauly A., Mukasheva D., Bakhtaulova A. Formation of research competencies of future biology teachers through field training practice // Вестник КазНПУ. Серия «Педагогические науки». – 2024. – № 2. – P. 112-124.
10. Abiltayeva A., Zhumagulova K., Satayev M. et al. Technological and pedagogical competencies of future biology teachers in Kazakhstan // Frontiers in Education. – 2025. – Vol. 10. – P. 1-13.
11. Kurakbayeva A., Xembayeva S. Digital educational interventions and professional development of university students // Торайғыров университетінің хабаршысы. – 2023. – № 4. – P. 85-97.
12. Abdygani L. Development of digital competence of future teachers in modern education // Qazaq Journal of Educational Research. – 2023. – № 3. – P. 44-56.
13. Tolegen A., Erten S., Zhanbekov K. Innovative approaches to the development of practical competencies of future biology teachers // International Journal of Education and Practice. – 2024. – Vol. 12. – № 2. – P. 214-228.
14. Shakenova T. Zh., Khamzina Sh. Sh., Sergazina Zh. Zh. Formation of ecological and pedagogical competence of future biology teachers // Вестник КазНПУ. Серия «Педагогические науки». – 2023. – № 1. – P. 73-84.
15. Mukasheva D. M., Zholdasbekova S., Tleubayeva A. Formation of research competence in biology students through practical training // Вестник КазНПУ. Серия «Педагогические науки». – 2022. – № 4. – P. 98-109.

ҚАРА ЖАҢҒАҚТЫҢ (*JUGLANS NIGRA L.*) ЭКО-БИОЛОГИЯЛЫҚ ЗЕРТТЕУЛЕРІН ОҚУ ҮДЕРІСІНЕ ЕНГІЗУДІҢ ӘДІСТЕМЕЛІК НЕГІЗДЕРІ

Исаев Ғани Исаұлы

техн.ғ.к., профессор м.а., Қожа Ахмет Ясауи атындағы Халықаралық қазақ-түрік университеті, Түркістан, Қазақстан Республикасы

Маулен Биганым Қожахметқызы

Қожа Ахмет Ясауи атындағы Халықаралық қазақ-түрік университетінің магистранты, Түркістан, Қазақстан Республикасы

Аннотация. Мақалада қара жаңғақтың (*Juglans nigra L.*) эко-биологиялық зерттеулерін оқу үдерісіне енгізудің әдістемелік негіздері қарастырылған. Зерттеу жұмысы Қожа Ахмет Ясауи атындағы Халықаралық қазақ-түрік университетінің биология бағыты бойынша 3-курс білімгерлері арасында жүргізілді. Зерттеуге 38 білімгер қатысты. Зерттеу барысында «Дендрология: интродукциялық ағаш өсімдіктерінің морфо-биологиялық және экологиялық ерекшеліктерін зерттеу әдістемесі» атты электронды оқу құралы қолданылды. Негізгі зерттеу әдісі ретінде педагогикалық эксперимент пайдаланылды. Эксперимент нәтижелері электронды оқу құралын қолдану білімгерлердің теориялық білімін, дендрологиялық талдау дағдыларын, экологиялық интерпретациясын, фенологиялық бақылау жүргізу қабілетін және зерттеушілік белсенділігін арттырғанын көрсетті. Зерттеу нәтижесінде қара жаңғақ негізіндегі эко-биологиялық зерттеулерді оқу үдерісіне енгізудің білімгерлердің ғылыми-зерттеу құзыреттіліктерін қалыптастырудағы тиімділігі анықталды.

Кілт сөздер: қара жаңғақ, *Juglans nigra L.*, эко-биологиялық зерттеу, дендрология, электронды оқу құралы, зерттеушілік құзыреттілік, педагогикалық эксперимент, биологиялық білім беру, фенологиялық бақылау, интродукциялық өсімдіктер

Қазіргі кезеңде жоғары білім беру жүйесінде білімгерлердің зерттеушілік құзыреттіліктерін қалыптастыру, оқу үдерісінің тәжірибелік бағыттылығын күшейту және кәсіби даярлық сапасын арттыру маңызды педагогикалық міндеттердің біріне айналып отыр. Әсіресе биологиялық білім беру саласында білімгерлердің ғылыми-зерттеу әрекетін нақты табиғи нысандар негізінде ұйымдастыруға бағытталған әдістемелік тәсілдерге сұраныс артуда. Бұл жағдай оқу үдерісінде экологиялық және биологиялық зерттеулерді тиімді кіріктірудің ғылыми-әдістемелік негіздерін жетілдіру қажеттілігін көрсетеді.

Соңғы жылдары биология пәндерін оқыту барысында тәжірибелік және далалық зерттеу жұмыстарының мазмұнын кеңейтуге ерекше назар аударылуда. Алайда жоғары оқу орындарының тәжірибесінде көптеген зерттеу жұмыстары теориялық сипатта қалып, білімгерлердің нақты зерттеу жүргізу, бақылау жасау, алынған нәтижелерді талдау және ғылыми қорытынды қалыптастыру дағдылары жеткілікті деңгейде дамымай отыр. Сонымен қатар оқу процесінде табиғи объектілер негізінде ұйымдастырылатын эко-биологиялық зерттеулердің әдістемелік жүйесі толық қалыптаспаған. Бұл білімгерлердің ғылыми-зерттеу әрекетіне қызығушылығының төмендеуіне және кәсіби даярлықтың практикалық компонентінің әлсіреуіне әсер етеді.

Осы тұрғыдан алғанда қара жаңғақтың (*Juglans nigra* L.) эко-биологиялық зерттеулерін оқу үдерісіне енгізу өзекті ғылыми-педагогикалық бағыттардың бірі болып табылады. Қара жаңғақ негізінде ұйымдастырылатын зерттеу жұмыстары білімгерлердің бақылау, салыстыру, талдау, жүйелеу және ғылыми интерпретация жасау дағдыларын қалыптастыруға мүмкіндік береді. Сонымен қатар мұндай зерттеулер оқу үдерісінің тәжірибелік мазмұнын күшейтіп, білімгерлердің танымдық белсенділігі мен зерттеушілік әрекетін арттыруға ықпал етеді.

Зерттеу тақырыбының өзектілігі жоғары оқу орындарында биологиялық пәндерді оқытуда табиғи нысандарға негізделген зерттеушілік оқытудың әдістемелік жүйесін жетілдіру қажеттілігімен, оқу процесінде эко-биологиялық зерттеулерді ұйымдастырудың тиімді жолдарының жеткілікті деңгейде қарастырылмауымен және білімгерлердің зерттеушілік құзыреттіліктерін қалыптастыруға бағытталған тәжірибелік әдістердің жүйеленбеуімен анықталады.

Зерттеу мәселесі – қара жаңғақтың (*Juglans nigra* L.) эко-биологиялық зерттеулерін оқу үдерісінде тиімді ұйымдастырудың әдістемелік негіздерінің жеткілікті деңгейде айқындалмауы және олардың білімгерлердің зерттеушілік әрекетін қалыптастырудағы педагогикалық мүмкіндіктерінің толық жүйеленбеуі.

Зерттеу мақсаты – қара жаңғақтың (*Juglans nigra* L.) эко-биологиялық зерттеулерін оқу үдерісіне енгізудің әдістемелік негіздерін анықтау және оны білімгерлердің зерттеушілік, экологиялық және кәсіби құзыреттіліктерін қалыптастыруда тиімді қолдану жолдарын негіздеу.

Зерттеудің ғылыми жаңалығы қара жаңғақ негізіндегі эко-биологиялық зерттеулерді оқу үдерісімен ықпалдастырудың әдістемелік жүйесінің ұсынылуымен, білімгерлердің зерттеушілік әрекетін қалыптастыруға бағытталған тәжірибелік тапсырмалар құрылымының жүйеленуімен және табиғи нысандарға негізделген зерттеушілік оқытудың педагогикалық мүмкіндіктерінің нақтылануымен сипатталады.

Қазіргі кезеңде биологиялық білім беру жүйесінде оқу үдерісін ғылыми-зерттеу қызметімен ықпалдастыру, білімгерлердің зерттеушілік құзыреттіліктерін қалыптастыру және экологиялық бағыттағы практикалық даярлықты жетілдіру маңызды педагогикалық бағыттардың біріне айналып отыр. Осыған байланысты интродуцент өсімдіктердің эко-биологиялық ерекшеліктерін зерттеу және оларды оқу үдерісінде пайдалану мәселесі ғылыми қауымдастықтың ерекше назарын аударуда. Әсіресе қара жаңғақ (*Juglans nigra* L.) секілді экологиялық бейімделу қабілеті жоғары ағаш түрлерін зерттеу білімгерлердің ғылыми дүниетанымын қалыптастыруда, тәжірибелік дағдыларын дамытуда және биологиялық білімді нақты табиғи нысандар негізінде меңгертуде маңызды орын алады.

Шетелдік зерттеулерде қара жаңғақтың экологиялық тұрақтылығы, морфобиологиялық ерекшеліктері, интродукциялық әлеуеті және әртүрлі климаттық жағдайларға бейімделуі кеңінен қарастырылған. Nicolescu және әріптестері қара жаңғақтың Еуропа елдеріндегі таралуы мен интродукциясын зерттей отырып, бұл өсімдіктің экологиялық икемділігі жоғары екенін атап көрсетеді [1]. Авторлардың пікірінше, *Juglans nigra* L. әртүрлі климаттық аймақтарда өсіп, жоғары өнімділік пен тұрақты биологиялық көрсеткіштер көрсете алады. Сонымен қатар зерттеуде қара жаңғақтың урбандалған орта жағдайында, орман шаруашылығында және деградацияланған экожүйелерді қалпына келтіруде кеңінен қолданылатыны баяндалған. Авторлар қара жаңғақтың топырақ құнарлылығына, ылғалдылыққа және жарық мөлшеріне жоғары талап қоятынын, бірақ қолайлы жағдайда тез өсетін интродуцент ағаш түрлерінің бірі екенін көрсетеді. Бұл зерттеу қара жаңғақтың эко-биологиялық көрсеткіштерін бақылау арқылы білімгерлерге өсімдіктің қоршаған ортамен байланысын тәжірибелік түрде түсіндіруге мүмкіндік беретінін дәлелдейді.

Rédei және әріптестері Венгрия жағдайындағы қара жаңғақ плантацияларын зерттеу барысында ағаштың өсу қарқыны мен өнімділігі топырақтың физикалық-химиялық қасиеттеріне, агротехникалық күтімге және ылғалдылық деңгейіне тәуелді екенін анықтаған [2]. Зерттеу нәтижелері қара жаңғақтың ұзақ мерзімді фенологиялық және биометриялық мониторинг жүргізуге қолайлы өсімдік екенін көрсетеді. Авторлар өсімдіктің диаметрлік өсімі, биіктігі және тәж қалыптасуы экологиялық факторлар әсерінен өзгеретінін дәлелдейді. Бұл мәліметтер оқу үдерісінде білімгерлерге экологиялық мониторинг, биометриялық өлшеу және деректерді статистикалық талдау әдістерін үйретуде маңызды ғылыми негіз болып табылады.

Williams еңбегінде қара жаңғақтың Солтүстік Америкадағы табиғи таралу аймақтары, өсу ерекшеліктері және қоршаған орта факторларына реакциясы жан-жақты сипатталған [3]. Автор қара жаңғақтың құнарлы, терең және жақсы дренаждалған топырақта жоғары өсім көрсеткіштерін беретінін, ал қолайсыз жағдайда өсім қарқыны бәсеңдейтінін атап көрсетеді. Сонымен қатар зерттеуде өсімдіктің температуралық өзгерістерге, ылғал тапшылығына және жарық деңгейіне реакциясы қарастырылған. Бұл ғылыми деректер қара жаңғақ негізіндегі эко-биологиялық зерттеулерді оқу үдерісінде пайдалану барысында білімгерлердің өсімдік пен орта арасындағы байланысты тәжірибе арқылы түсінуіне мүмкіндік береді.

Victory және әріптестері қара жаңғақтың генетикалық әртүрлілігін зерттеу барысында оның популяциялық құрылымы қоршаған орта жағдайларымен тікелей байланысты екенін анықтаған [4]. Авторлар қара жаңғақ популяцияларындағы фенотиптік өзгергіштік климаттық жағдайлар мен экологиялық факторлардың әсерінен қалыптасатынын көрсетеді. Зерттеу барысында әртүрлі географиялық аймақтардағы популяциялар салыстырылып, олардың бейімделу ерекшеліктері талданған. Бұл зерттеу қара жаңғақтың экологиялық бейімделу механизмдерін түсіндіруде және білімгерлердің аналитикалық ойлауын дамытуда маңызды рөл атқарады.

Onofrio және әріптестері қара жаңғақтың ерте өсу кезеңдерін зерттей отырып, әртүрлі популяциялардың биометриялық көрсеткіштері арасында айтарлықтай айырмашылықтар бар екенін анықтаған [5]. Авторлар өсімдіктің биіктік өсімі, жапырақ ауданы, сабақ диаметрі және фотосинтетикалық белсенділігі бойынша салыстырмалы талдау жүргізген. Зерттеу нәтижелері қара жаңғақтың қоршаған орта жағдайына бейімделу деңгейін бағалауда биометриялық әдістердің жоғары тиімділігін көрсетеді. Бұл тәсілдер оқу үдерісінде білімгерлердің ғылыми-зерттеу дағдыларын қалыптастыруға және тәжірибелік тапсырмалар жүйесін жетілдіруге мүмкіндік береді.

Sobocká және әріптестері қара жаңғақтың педоклиматтық жағдайларға тәуелділігін зерттей отырып, топырақтың химиялық құрамы мен климаттық факторлардың өсімдік тұрақтылығына әсерін талдаған [6]. Авторлар топырақтағы ылғал мөлшері, органикалық заттар құрамы және температуралық режим қара жаңғақтың физиологиялық тұрақтылығына тікелей әсер ететінін дәлелдейді. Бұл зерттеу экологиялық мониторинг пен топырақтық талдау әдістерін оқу процесіне енгізудің ғылыми негізін қалыптастырады.

Michler және Woeste қара жаңғақтың генетикалық ресурстарын сақтау мәселесіне назар аударып, бұл өсімдіктің ұзақ мерзімді экологиялық зерттеулер үшін маңызды нысан екенін көрсеткен [7]. Авторлар қара жаңғақтың бейімделу әлеуеті жоғары болғандықтан, оны әртүрлі климаттық аймақтарда зерттеу болашақта экологиялық тұрақты жасыл аймақтар қалыптастыру үшін маңызды екенін атап өтеді.

Қазақстандық зерттеулерде интродуцент ағаш өсімдіктерінің экологиялық бейімделуі мен биологиялық тұрақтылығын зерттеу мәселесі кеңінен қарастырылған. Байтулин, Проскуряков және Чекалин Қазақстандағы интродукциялық зерттеулердің ғылыми негіздерін талдай отырып, ағаш өсімдіктерінің жаңа орта жағдайына бейімделуін кешенді түрде зерттеу қажеттігін көрсетеді [8]. Авторлардың пікірінше, интродуцент өсімдіктерді

зерттеу барысында фенологиялық бақылау, биометриялық талдау және экологиялық мониторинг әдістерін қатар қолдану қажет.

Қазақстан Республикасының Ботаника және фитоинтродукция институты жүргізген зерттеулерде интродуцент ағаш түрлерінің Қазақстан жағдайындағы өсіп-даму ерекшеліктері жүйелі түрде қарастырылған [9]. Институт мамандары ағаш өсімдіктерінің экологиялық тұрақтылығын бағалау үшін көпжылдық бақылау нәтижелерін пайдаланған. Бұл зерттеулер ботаникалық бақтардың оқу-зерттеу жұмыстары үшін маңызды ғылыми алаң екенін дәлелдейді.

Айдарханова Солтүстік Қазақстан жағдайындағы интродуцент ағаш өсімдіктерінің физиологиялық бейімделуін зерттей отырып, олардың өсу белсенділігі қоршаған орта факторларымен тікелей байланысты екенін көрсеткен [10]. Автор өсімдіктердің фотосинтетикалық белсенділігі мен тіршілік тұрақтылығын бағалау арқылы экологиялық мониторингтің маңызын негіздейді.

Калдыбаева және әріптестері интродуцент өсімдіктердің температуралық және ылғалдық факторларға реакциясын зерттеу барысында олардың экологиялық тұрақтылығы әртүрлі орта жағдайында өзгеретінін анықтаған [11]. Бұл зерттеу табиғи нысандар негізіндегі зерттеу жұмыстарын ұйымдастыруда кешенді бақылау жүргізудің маңызын дәлелдейді.

Крекова мен Залесов Батыс Сібір және Солтүстік Қазақстан аумағындағы ағаш өсімдіктер интродукциясының тарихын зерттей отырып, ботаникалық бақтардың ғылыми және білім беру қызметіндегі рөлін ерекше атап өтеді [12]. Авторлар интродукциялық зерттеулердің болашақ биолог мамандарды даярлауда маңызды құрал екенін көрсетеді.

Исаұлы қара жаңғақтың Қазақстан жағдайындағы дендрологиялық ерекшеліктерін зерттеу барысында өсімдіктің жергілікті климатқа жақсы бейімделетінін және тұрақты өсім көрсеткіштерін сақтайтынын анықтаған [13]. Автор қара жаңғақтың ғылыми-зерттеу және көгалдандыру мақсатында перспективалы өсімдік екенін атап өтеді.

Унгарбаева биология мамандығы білімгерлерінің зерттеушілік құзыреттілігін қалыптастыруда зертханалық және тәжірибелік жұмыстардың маңызын талдай отырып, тәжірибелік бағыттағы тапсырмалар білімгерлердің ғылыми ойлауын дамытатынын көрсетеді [14]. Автордың пікірінше, зерттеушілік әрекетке негізделген оқыту білімгердің кәсіби даярлығының сапасын арттырады.

Пейсенгүл зерттеушілік әдістерді биологияны оқытуда қолдану білім алушылардың танымдық белсенділігін күшейтіп, олардың дербес ізденіс дағдыларын қалыптастыратынын көрсеткен [15]. Автор зерттеуге негізделген оқыту жүйесінің білім сапасын арттырудағы тиімділігін дәлелдейді.

Осылайша, талданған ғылыми еңбектер қара жаңғақтың (*Juglans nigra* L.) эко-биологиялық зерттеулерін оқу үдерісіне енгізудің ғылыми және әдістемелік тұрғыдан маңызды екенін көрсетеді. Шетелдік зерттеулер қара жаңғақтың экологиялық бейімделу әлеуетінің жоғары екенін дәлелдесе, қазақстандық зерттеулер интродуцент өсімдіктерді зерттеудің өңірлік тәжірибесін және оларды білім беру процесімен ықпалдастыру мүмкіндіктерін айқындайды. Сонымен қатар қара жаңғақ негізіндегі зерттеу жұмыстары білімгерлердің зерттеушілік құзыреттіліктерін, аналитикалық ойлауын және тәжірибелік дағдыларын дамытуға тиімді жағдай жасайтыны анықталды.

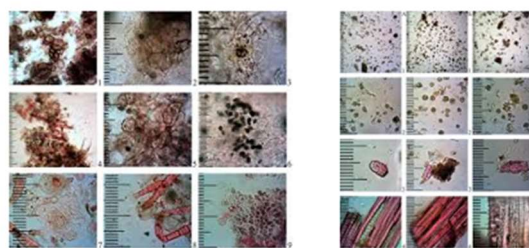
Зерттеу жұмысы Қожа Ахмет Ясауи атындағы Халықаралық қазақ-түрік университетінің базасында жүргізілді. Зерттеуге биология бағыты бойынша білім алатын 3-курс білімгерлері қатысты. Жалпы респонденттер саны – 38 білімгер. Зерттеу жұмысының мазмұны қара жаңғақтың (*Juglans nigra* L.) эко-биологиялық ерекшеліктерін оқу үдерісіне енгізу және осы бағытта әзірленген электронды оқу құралын қолдану арқылы білімгерлердің зерттеушілік құзыреттілігін, практикалық дағдыларын және экологиялық-биологиялық талдау қабілетін дамытуға бағытталды.

Зерттеу материалы ретінде «Дендрология: интродукциялық ағаш өсімдіктерінің морфо-биологиялық және экологиялық ерекшеліктерін зерттеу әдістемесі» атты электронды оқу-әдістемелік құрал пайдаланылды. Аталған электронды құрал жоғары білім беру жүйесіндегі биология бағыты бойынша білім беру бағдарламасына және «Дендрология» пәнінің оқу бағдарламасына сәйкес әзірленген. Оның мазмұнында ағаш өсімдіктерінің морфологиялық, анатомиялық, экологиялық және биологиялық ерекшеліктері, интродукция теориясы, өсімдіктердің жаңа ортаға бейімделу заңдылықтары, сондай-ақ *Juglans nigra* L. түрінің дендрологиялық сипаттамасы, фенологиялық даму динамикасы, морфометриялық көрсеткіштері мен экологиялық тұрақтылығы қарастырылған.

Электронды оқу құралы зерттеудің негізгі дидактикалық материалы ретінде қолданылды. Оның құрылымы теориялық ақпарат, анықтамалық мәліметтер, талдау



Juglans nigra L. жапырағы анатомиялық тұрғыдан екіжақты (дорзивентральды) типке жатады, бұл оның жарық режиміне жоғары бейімделгенін көрсетеді. Мұндай құрылымда жапырақтың үстінгі және астыңғы беттері морфологиялық және физиологиялық тұрғыдан айқын дифференциаланған.



Сурет 19. Жапырақтың микроскопиялық құрылысы

Жапырақтың жоғарғы эпидермисі біржабақты жасушалардан тұрады және қалың кутикуламен қапталған. Кутикула – липидтік сипаттағы гидрофобты қабақ, ол судың булануын шектеп, ультракүлгін сәулеленуден қорғайды. Қалалық немесе құрғақ орта жағдайында кутикула қалыңдығының артуы транспирациялық реттелудің маңызды морфологиялық көрсеткіші болып саналады.

тапсырмалары, бейнематериалдар, аудиоматериалдар, интерактивті тапсырмалар, өзін-өзі тексеру сұрақтары, бақылау тапсырмалары, топтық жұмыс және білімді бекіту бөлімдерінен тұрды. Мұндай құрылым білімгерлердің оқу материалын тек қабылдау деңгейінде емес, оны талдау, салыстыру, тәжірибеде қолдану және ғылыми қорытынды жасау деңгейінде меңгеруіне мүмкіндік берді. Электронды құралдағы шартты белгілер жүйесі оқу әрекетін кезең-кезеңімен ұйымдастыруға, тапсырмалардың мақсатын нақтылауға және білімгерлердің өзіндік жұмысын жүйелеуге бағытталды.

Сурет 1. Электронды оқу құралының мазмұны

Зерттеу барысында негізгі әдіс ретінде педагогикалық эксперимент әдісі қолданылды. Педагогикалық эксперимент білімгерлердің қара жаңғақтың эко-биологиялық ерекшеліктерін меңгеру деңгейін және электронды оқу құралының зерттеушілік құзыреттілікті қалыптастырудағы тиімділігін анықтауға бағытталды. Эксперимент оқу үдерісінде электронды оқу құралын жүйелі пайдалану арқылы жүзеге асырылды.

Эксперимент үш кезең бойынша ұйымдастырылды: бастапқы анықтау кезеңі, қалыптастыру кезеңі және қорытынды бақылау кезеңі. Бастапқы кезеңде білімгерлердің дендрология, интродукция, ағаш өсімдіктерінің экологиялық бейімделуі және қара жаңғақтың морфо-биологиялық ерекшеліктері туралы бастапқы білім деңгейі анықталды. Бұл кезеңде білімгерлердің ғылыми ұғымдарды түсінуі, морфологиялық белгілерді ажыратуы, экологиялық факторларды сипаттауы және зерттеу элементтерін қолдану қабілеті бағаланды.

Қалыптастыру кезеңінде электронды оқу құралы оқу процесіне енгізілді. Білімгерлер электронды құралдағы теориялық ақпаратпен, интерактивті тапсырмалармен, талдау жұмыстары және зерттеушілік сипаттағы практикалық тапсырмалармен жұмыс жасады. Оқу

құралының құрылымында теориялық материалдармен қатар бейнематериалдар, өзін-өзі тексеру сұрақтары, талдау тапсырмалары, QR-код негізіндегі интерактивті жұмыстар және зерттеу бағытындағы тапсырмалар берілген. Бұл тапсырмалар білімгерлердің қара жаңғақтың экологиялық ерекшеліктерін салыстырмалы түрде талдауына, фенологиялық өзгерістерді бақылауына және ғылыми қорытынды жасауына мүмкіндік берді.

Эксперимент барысында білімгерлер *Juglans nigra* L. өсімдігінің морфологиялық құрылысын, бейімделу ерекшеліктерін, фенологиялық даму кезеңдерін және экологиялық тұрақтылығын электронды материалдар негізінде зерттеді. Сонымен қатар білімгерлер электронды құралдағы талдау тапсырмаларын орындау арқылы зерттеу нәтижелерін жүйелеу, салыстыру және ғылыми интерпретациялау дағдыларын қалыптастырды. Оқу материалының мазмұны дендрологиялық зерттеулердің теориялық және әдіснамалық негіздерін қамтып, білімгерлердің ғылыми-зерттеу әрекетін дамытуға бағытталды.

Қорытынды бақылау кезеңінде білімгерлердің эксперимент соңындағы білім деңгейі мен зерттеушілік дағдылары бағаланды. Бағалау барысында олардың қара жаңғақтың эко-



биологиялық ерекшеліктерін ғылыми тұрғыдан түсіндіруі, морфологиялық және экологиялық белгілерді талдауы, зерттеу нәтижелерін жүйелеуі және тәжірибелік тапсырмаларды орындау сапасы ескерілді. Алынған нәтижелер электронды оқу құралының білімгерлердің зерттеушілік белсенділігін арттыруда және оқу үдерісінің тәжірибелік бағытын күшейтуде тиімді екенін анықтауға мүмкіндік берді.

Сурет 2. Қара жаңғақтың (*Juglans nigra* L.) эко-биологиялық зерттеулерін оқу үдерісіне енгізу нәтижелері

Зерттеу нәтижелерін талдау қара жаңғақтың (*Juglans nigra* L.) эко-биологиялық зерттеулерін оқу үдерісіне енгізу және электронды оқу құралын пайдалану білімгерлердің теориялық дайындығына, зерттеушілік белсенділігіне және практикалық-аналитикалық дағдыларына айтарлықтай оң әсер еткенін көрсетті. Эксперимент барысында барлық көрсеткіштер бойынша нәтижелердің жоғарылауы электронды оқу құралын дендрологиялық және экологиялық бағыттағы пәндерді оқытуда тиімді педагогикалық құрал ретінде қарастыруға мүмкіндік береді.

Теориялық білімді меңгеру көрсеткішінің 31,6%-дан 84,2%-ға дейін өсуі білімгерлердің қара жаңғақтың морфо-биологиялық және экологиялық ерекшеліктерін жүйелі түрде меңгергенін дәлелдейді. Бұл өзгеріс электронды оқу құралындағы құрылымдалған теориялық материалдардың, визуалды ақпараттардың және интерактивті тапсырмалардың оқу материалын қабылдау тиімділігін арттырғанын көрсетеді. Сонымен қатар электронды форматтағы материалдардың қолжетімділігі білімгерлердің оқу ақпаратын бірнеше рет қайталап қарауына мүмкіндік беріп, күрделі ғылыми ұғымдарды тереңірек түсінуіне жағдай жасады. Нәтижелер дендрологиялық білім беруде цифрлық ресурстарды қолдану когнитивтік белсенділікті күшейтетінін дәлелдейді.

Дендрологиялық талдау дағдылары көрсеткішінің 26,3%-дан 76,3%-ға дейін жоғарылауы білімгерлердің морфологиялық сипаттама жасау, өсімдіктердің құрылымдық ерекшеліктерін анықтау және дендрологиялық белгілерді салыстыру қабілеттерінің қалыптасқанын көрсетеді. Эксперимент барысында білімгерлер қара жаңғақтың жапырақ, сабақ, жеміс және фенологиялық белгілерін талдау арқылы ғылыми бақылау жүргізу тәжірибесін меңгерді. Бұл көрсеткіштің жоғарылауы электронды оқу құралындағы практикалық тапсырмалар мен визуалды материалдардың зерттеушілік әрекетті ұйымдастырудағы тиімділігін дәлелдейді.

Экологиялық интерпретация көрсеткішінің 23,7%-дан 73,7%-ға дейін өсуі білімгерлердің экологиялық факторлар мен өсімдік дамуы арасындағы байланысты ғылыми тұрғыдан түсіндіру деңгейінің артқанын көрсетеді. Зерттеу барысында білімгерлер температура, ылғалдылық, жарық және топырақ факторларының *Juglans nigra* L. өсімдігінің өсуіне әсерін талдады. Мұндай тапсырмалар білімгерлердің экологиялық ойлауын қалыптастырып, табиғи құбылыстарды кешенді бағалау қабілетін дамытуға ықпал етті. Бұл нәтижелер оқу процесінде нақты табиғи нысандарға негізделген зерттеулерді қолдану білімгерлердің аналитикалық ойлауын күшейтетінін дәлелдейді.

Морфометриялық бағалау көрсеткішінің 21,1%-дан 68,4%-ға дейін жоғарылауы білімгерлердің ғылыми өлшеу, салыстыру және сандық талдау жүргізу дағдыларының дамығанын көрсетеді. Эксперимент барысында білімгерлер қара жаңғақтың биіктік өсімі, жапырақ көлемі және басқа морфометриялық көрсеткіштері бойынша салыстырмалы талдау жүргізді. Сандық көрсеткіштермен жұмыс жасау зерттеу нәтижелерін жүйелеуге және ғылыми қорытынды шығаруға мүмкіндік берді. Бұл өз кезегінде білімгерлердің тәжірибелік даярлығының нығайғанын айқындайды.

Фенологиялық бақылау көрсеткішінің 28,9%-дан 78,9%-ға дейін өсуі білімгерлердің өсімдіктің даму кезеңдерін жүйелі бақылау және оларды ғылыми тұрғыдан тіркеу қабілетінің қалыптасқанын дәлелдейді. Фенологиялық бақылау тапсырмалары білімгерлердің ұзақ мерзімді ғылыми бақылау жүргізу тәжірибесін меңгеруіне мүмкіндік берді. Сонымен қатар мұндай жұмыстар зерттеушілік тәртіпті, бақылау дәлдігін және алынған нәтижелерді салыстыру қабілетін дамытуда маңызды рөл атқарды.

Зерттеушілік белсенділік көрсеткішінің 34,2%-дан 86,8%-ға дейін айтарлықтай жоғарылауы электронды оқу құралының білімгерлердің оқу мотивациясына және ғылыми қызығушылығына оң әсер еткенін көрсетеді. Эксперимент барысында білімгерлер интерактивті тапсырмаларға, зерттеу элементтеріне және талдау жұмыстарына белсенді қатысып, дербес ізденіс жүргізуге ұмтылды. Бұл нәтижелер электронды ресурстарды қолдану білімгерлердің пассивті қабылдаушы емес, белсенді зерттеуші субъект ретінде қалыптасуына ықпал ететінін дәлелдейді.

Аналитикалық қорытынды жасау көрсеткішінің 18,4%-дан 65,8%-ға дейін өсуі білімгерлердің ғылыми деректерді интерпретациялау, салыстыру және қорытындылау қабілеттерінің дамығанын көрсетеді. Экспериментке дейін көптеген білімгерлер зерттеу нәтижелерін тек сипаттау деңгейінде шектелсе, қалыптастыру кезеңінен кейін олар алынған

деректердің себеп-салдарлық байланыстарын түсіндіруге және ғылыми тұжырым жасауға қабілетті болды. Бұл электронды оқу құралындағы талдау және интерпретацияға бағытталған тапсырмалардың тиімділігін көрсетеді.

Электронды оқу құралын тиімді пайдалану көрсеткішінің 36,8%-дан 92,1%-ға дейін жоғарылауы білімгерлердің цифрлық оқу ресурстарымен жұмыс жасау дағдыларының қалыптасқанын дәлелдейді. Білімгерлер электронды материалдарды пайдалану арқылы қажетті ақпаратты жүйелі іздеу, интерактивті тапсырмаларды орындау және ғылыми материалдарды визуалды түрде қабылдау дағдыларын меңгерді. Бұл қазіргі цифрлық білім беру жағдайында электронды ресурстардың кәсіби даярлықты жетілдірудегі маңызын көрсетеді.

Жалпы алғанда, зерттеу нәтижелері қара жаңғақтың (*Juglans nigra* L.) эко-биологиялық зерттеулерін оқу үдерісіне енгізу білімгерлердің теориялық білімін тереңдетіп қана қоймай, олардың зерттеушілік, аналитикалық және тәжірибелік құзыреттіліктерін дамытуда жоғары тиімділік көрсеткенін дәлелдейді. Электронды оқу құралы оқу үдерісінің тәжірибелік бағытын күшейтіп, білімгерлердің ғылыми-зерттеу әрекетіне қызығушылығын арттыруға мүмкіндік берді.

Жүргізілген зерттеу жұмысы қара жаңғақтың (*Juglans nigra* L.) эко-биологиялық зерттеулерін оқу үдерісіне енгізу білімгерлердің теориялық даярлығын, зерттеушілік белсенділігін және практикалық-аналитикалық құзыреттіліктерін дамытуда жоғары тиімділік көрсететінін дәлелдеді. Зерттеу барысында әзірленген электронды оқу құралы дендрологиялық және экологиялық бағыттағы білімді жүйелі меңгеруге, табиғи нысандар негізінде ғылыми бақылау жүргізуге және зерттеу нәтижелерін талдауға мүмкіндік берді. Эксперимент нәтижелері теориялық білімді меңгеру, дендрологиялық талдау, экологиялық интерпретация, фенологиялық бақылау және аналитикалық қорытынды жасау көрсеткіштерінің айтарлықтай жоғарылағанын көрсетті. Бұл электронды ресурстарды оқу процесінде мақсатты түрде қолдану білімгерлердің ғылыми-зерттеу әрекетін белсендіретінін және олардың кәсіби даярлығын жетілдіретінін айқындайды.

Сонымен қатар зерттеу нәтижелері табиғи нысандарға негізделген зерттеушілік оқыту жүйесінің биологиялық білім берудің тәжірибелік бағытын күшейтуде маңызды педагогикалық мүмкіндікке ие екенін көрсетті. Қара жаңғақтың эко-биологиялық ерекшеліктерін зерттеу барысында білімгерлер ғылыми бақылау жүргізу, морфологиялық және экологиялық талдау жасау, зерттеу нәтижелерін жүйелеу және ғылыми интерпретациялау дағдыларын меңгерді. Электронды оқу құралы білімгерлердің оқу мотивациясын арттырып, цифрлық ресурстармен жұмыс жасау қабілеттерін қалыптастыруға ықпал етті. Осыған байланысты *Juglans nigra* L. негізіндегі эко-биологиялық зерттеулерді оқу үдерісіне енгізу биология мамандарын даярлаудың ғылыми-әдістемелік жүйесін жетілдірудің тиімді бағыттарының бірі ретінде қарастырылуы мүмкін.

Бұл мақала AP26101971 «PISA зерттеулерінің негізінде оқушылардың жаратылыстану бағытындағы функционалдық сауаттылығын қалыптастырудың әдістемелік негіздерін даярлау (Түркістан облысы мысалында)» атты гранттық жоба есебінен жарияланды.

ПАЙДАЛАНЫЛҒАН ӘДЕБИЕТТЕР ТІЗІМІ

- 1 Nicolescu V. N. et al. Ecology and management of northern red oak (*Quercus rubra* L. syn. *Q. borealis* F. Michx.) in Europe: a review //Forestry: An International Journal of Forest Research. – 2020. – Т. 93. – №. 4. – С. 481-494.
- 2 Rédei K. et al. Ecology and management of black walnut (*Juglans nigra* L.) in Hungary //South-east European forestry: SEEFOR. – 2019. – Т. 10. – №. 2. – С. 187-191.
- 3 Williams R.D. Black Walnut (*Juglans nigra* L.) // Silvics of North America. Vol. 2: Hardwoods. – Washington: USDA Forest Service, 1990. – P. 391-399.
- 4 Victory E. R. et al. Genetic homogeneity in *Juglans nigra* (Juglandaceae) at nuclear microsatellites //American journal of botany. – 2006. – Т. 93. – №. 1. – С. 118-126.
- 5 Xu W., Jin J., Cheng J. Predicting the potential geographic distribution and habitat suitability of two economic forest trees on the Loess Plateau, China //Forests. – 2021. – Т. 12. – №. 6. – С. 747.
- 6 Sobocká J. et al. Pedoclimatic conditions of black walnut (*Juglans nigra* L.) used for agroforestry systems in Slovakia //Pedosphere Research. – 2022. – Т. 2. – №. 2. – С. 74-85.
- 7 Michler C. H., Woeste K. E., Pijut P. M. Black walnut //Forest trees. – Berlin, Heidelberg : Springer Berlin Heidelberg, 2007. – С. 189-198.
- 8 Байтулин И.О., Проскуряков М.А., Чекалин С.В. Сис темно-экологический подход к интродукции растений в Казахстане. В двух частях. Часть 2.- Алма-Ата: Гылым, 1992.- 100 с.
- 9 Ботаника және фитоинтродукция институты. Дендрология зертханасының ғылыми бағыттары [Электронды ресурс]. – URL: https://www.botsad.kz/ru/labs/view/laboratoriya_dendrologii (қаралған күні: 09.05.2026).
- 10 Aidarkhanova G. Интродукция древесных растений в питомниках Северного Казахстана, завезенных из Китая //Eurasian Journal of Ecology. – 2023. – Т. 74. – №. 1. – С. 78-88.
- 11 Калдыбаева Ж., Нұрғалиева А., Сапаров Қ. Интродуцент өсімдіктердің абиотикалық факторларға төзімділігі // ҚазҰУ хабаршысы. Биология сериясы. – 2022. – №1(90). – Б. 72-80.
- 12 Крекова Я. А., Залесов С. В. История интродукции древесных растений на территории Западной Сибири и Северного Казахстана //Леса России и хозяйство в них. – 2019. – №. 2 (69). – С. 4-14.
- 13 Исаұлы И. Ғ., Қожахметқызы М. Б. *Juglans nigra* L. Өсімдігінің дендрологиялық сипаттамасы және интродукциялық мүмкіндіктері //Research Reviews. – 2026. – №. 12. – Б. 305-314.
- 14 Унгарбаева Г. Р. Білім алушылардың зерттеушілік құзыреттілігін лабораториялық практикумдарда қалыптастыру әдістемесінің мазмұны //Bulletin of the Karaganda University Pedagogy series. – 2020. – Т. 98. – №. 2. – С. 96-103.
- 15 Пейсенгүл Н. Ж. Биологияны оқытуда оқушылардың зерттеу дағдыларын қалыптастырудың теориялық негіздері //«Qazaq Journal of Young Scientist» халықаралық ғылыми журналы. – 2025. – Т. 3. – №. 12S. – С. 166-173.

ВОЗМОЖНОСТИ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА В ПРЕПОДАВАНИИ ТУРЕЦКОГО ЯЗЫКА

Омирзак Эльмира Кауышкызы

старший преподаватель, Международный университет туризма и гостеприимства,
Казахстан, г. Туркестан

Аблаева Райхан Бабайбековна

старший преподаватель, Международный университет туризма и гостеприимства,
Казахстан, г. Туркестан

Аннотация

В этой статье будут рассматриваться научно-теоретические основы и практические возможности применения технологий искусственного интеллекта (ИИ) в процессе преподавания турецкого языка в качестве иностранного языка. Данное исследование направлена на выявление влияния ИИ на методику преподавания языка в условиях цифрового образования.

В статье анализируется роль систем ИИ в реализации персонализированной модели обучения, и описываются возможности предлагать упражнения, адаптированные к уровню и темпу обучения обучающегося. Кроме того, рассматриваются пути развития навыков автономного обучения студента путем предоставления обратной связи (проверка письма, анализ говорения, выявление грамматических ошибок). В работе с научной точки зрения изучаются вопросы относительно развития языковых навыков, анализа достижений в обучении на основе данных, а также преимуществ применения ИИ и ограничений. В качестве преимуществ выделяются персонализация обучения и быстрая обратная связь, когда как в качестве ограничений приводятся неспособность полностью охватить культурно-прагматические свойства и технологическая зависимость. Следовательно, в статье будут выявлены основные направления по эффективному внедрению искусственного интеллекта в практику преподавания турецкого языка.

Ключевые слова: искусственный интеллект, преподавание турецкого языка, цифровая технология, адаптивное обучение, языковые навыки.

Введение

Современная система образования претерпевает цифровую трансформацию, и содержание и методы обучения дополняются технологическими новизнами, включая искусственный интеллект, который стал важным инструментом повышения качества образования. По мнению исследователей, ИИ предоставляет возможность персонализировать обучение путем анализа индивидуальных познавательных особенностей обучаемого, его темп обучения и характер его ошибок, то есть, формирует траекторию обучения, адаптированную к каждому студенту [1]. Данный метод считается более гибким и действенным по сравнению с традиционной последовательной моделью обучения.

Цифровые технологии применяются в сфере обучения иностранным языкам давно. Компьютерные программы и онлайн-платформы предлагают разного рода упражнения, направленные на развитие языковых навыков. Однако, системы, основанные на ИИ отличаются тем, что они не ограничиваются предоставлением только готовых заданий, но и

могут анализировать действия обучаемого, прогнозировать и автоматически адаптировать содержание обучения. Такие системы собирают данные, проводят анализ результатов и непрерывно совершенствуют процесс обучения [2]. Соответственно, искусственный интеллект усиливает интерактивное и адаптивное качества обучения.

Эти технологии имеют особую важность в обучении турецкому языку. Турецкий язык основан на агглюнативной конструкции, со сложной системой суффиксов и с многогранными морфологическими формами. Правильное использование категорий падежа, притяжения, времени глаголов представляют определенные сложности для студентов. Поэтому, необходимость персонализации обучения, быстрого анализа ошибок и систематической обратной связи растет. Искусственный интеллект должным образом выполняет данную задачу, и дает возможность вывести процесс овладения турецким языком на новый качественный уровень.

1. Искусственный интеллект и теория преподавания языка

В методологии преподавания иностранных языков, в настоящее время, преобладают коммуникативные и когнитивные направления. Коммуникативный метод больше ориентирован на использование языковых единиц в конкретных релевантных ситуациях, чем на механическое выучивание. Richards и Rodgers отмечают в своих трудах, что в процессе обучения языком ключевую роль играют интерактивность, содержательная коммуникация и активные действия обучающегося [3]. С этой точки зрения, технологии искусственного интеллекта создают условия аналогичные языковой среде, и дают возможность развивать коммуникативную компетентность с помощью интерактивных упражнений.

Овладение языком по когнитивному направлению – это сложный процесс, связанный с осознанной познавательной деятельностью обучающегося. Chapelle анализируя теоретические основы компьютеризированного языкового обучения отмечает, что необходимо рассматривать технологии не только как технический инструмент, а как компонент целой методической системы [4]. Стало быть, искусственный интеллект не должен ограничиваться функцией автоматизации, и должен быть направлен на педагогические цели. То есть, инструменты ИИ должны использоваться в процессе отбора содержания обучения, адаптирования заданий и предоставления обратной связи в соответствии с методическими установками.

В исследованиях Heift и Schulze подробно описывается наличие возможности выявления и анализа лингвистических ошибок компьютерными системами [5]. Авторы аргументируют, что интеллектуальные системы не только фиксируют ошибки обучаемого, но и выявляют их типологию и предлагают соответствующие стратегии исправления. Это особенно важно в обучении агглюнативной структуре и системе суффиксов в турецком языке. Автоматический морфологический разбор показывает конкретные ошибки, совершенные студентом при использовании падежных окончаний, притяжательных окончаний и окончаний времен глаголов, и целенаправленно создает условия для исправления. Таким образом, технологии искусственного интеллекта могут стать эффективным инструментом осуществления коммуникативных и когнитивных методических принципов.

2. Векторы применения ИИ в преподавании турецкого языка

2.1 Адаптивные системы обучения

Holmes и его коллеги отмечают искусственный интеллект как основной инструмент персонализации образования [1]. Такие системы могут анализировать ответы и темп обучения каждого студента, и предлагать последующие упражнения в соответствии с личными потребностями. Это особенно важно в преподавании турецкого языка, поскольку

студенты часто совершают ошибки при освоении падежных, притяжательных окончаний, окончаний множественного числа и времен глагола.

Например, в случае если студент неправильно применил слово “evlerim” (мои дома), система ИИ фиксирует эту ошибку, и предлагает специальные упражнения для ее устранения:

-Демонстрация правил правильного применения суффиксов посредством морфологического разбора;

-Генерация интерактивного упражнения касательно ошибки;

-Адаптация этапов повторения и оценки в отдельную траекторию.

Такая адаптивная система оказывает поддержку студенту в учебном процессе, и дает возможность освоить материал в соответствии со своим темпом. Помимо этого, есть возможность снизить нагрузку преподавателя и оценить динамику развития каждого студента исходя из конкретных данных.

2.2 Развитие навыка говорения

Luskin подчеркивает роль искусственного интеллекта в дополнение к человеческому интеллекту [2]. Технологии распознавания говорения могут ясно выявлять фонетические ошибки, анализируя говорение студента. Это крайне важно для освоения закона сингармонизма, созвучности гласных в турецком языке и особенностей ударения.

Практический пример:

- Если студент произнес слово «güzel» не как «güzel», а как «guzel», ИИ показывает ударения и интонирование в визуальной и звуковой форме.

- В результате анализа говорения, студенту предлагаются упражнения для правильного произношения каждого звука, например, интерактивные карты произношения или аудио-визуальные упражнения.

С помощью таких технологий, студент своевременно видит свои ошибки, и осваивает правильное произношение, исправляя их. Помимо того, виртуальные ассистенты и интерактивные диалоги обеспечивают погружение студента в языковую среду, и положительно влияет на развитие им навыка говорения.

2.3 Навык письма и анализ ошибок

В трудах Heift и Schulze подробно описывается наличие возможности анализа лингвистических ошибок компьютерными системами [5]. Предоставление автоматической обратной связи дает возможность студенту сразу видеть свои ошибки.

Например, если студент неправильно написал предложение «kitaplarım var» (у меня есть книги) как «kitaplarim var», система ИИ:

- Выявляет морфологические ошибки;
- Указывает на суффиксы, написанные неправильно;
- Предлагает студенту исправленный вариант, и дает на выполнение упражнение для закрепления, с несколькими примерами.

Данный подход не только облегчает работу преподавателя, но и развивает в студенте способность автономного изучения. Помимо того, результаты анализа ошибок помогает педагогу оценить слабые стороны студента, и оказать дополнительную методическую поддержку.

2.4 Мобильные технологии

Godwin-Jones подчеркивает роль мобильных технологий в развитии языковых навыков [7]. Через смарт-приложения и мобильные платформы, студенты могут систематически поддерживать словарный запас путем повторения, и улучшать память. С учетом большого количества производных слов в турецком языке, алгоритмы повторения помогают эффективно запоминать новые слова.

Примеры практического применения:

- *Словари-приложения*: ИИ учитывает слова, часто забываемые каждым студентом и предоставляет данные слова в виде «списка для повторения».
- *Интерактивные тесты*: если студент ответил неправильно, иллюстрируются дополнительное разъяснение, аудио материалы или примеры.
- *Элементы геймификации*: повышение мотивации посредством организации процесса освоения слов в виде игры.

Мобильные технологии делают учебный процесс гибким: студент может обучаться в любое время, в любом месте, при этом система анализирует результаты обучения на основании полученных данных. Данный подход делает изучение языков эффективным и увлекательным.

Таким образом, адаптивные системы обучения, технологии развития говорения, автоматический разбор ошибок и мобильные платформы дают возможность комплексно развивать языковые навыки студента. ИИ адаптирует обучение к индивидуальным потребностям, а также поддерживает автономную работу студента, тем самым облегчая нагрузку педагога. Учитывая сложность турецкого языка, такие технологии значительно повышают эффективность обучения.

3. Психологические аспекты и мотивация для изучения

Изучение языков представляет собой не только освоение грамматики и лексики, но и является сложным процессом, зависящим от психологической мотивации и эмоционального состояния учащегося. В своих исследованиях, Dörnyei показывает, что эффективность обучения зависит непосредственно от желания и заинтересованности обучаемого [8]. Повышение мотивации позволяет быстро и устойчиво приобретать языковые навыки.

Технологии искусственного интеллекта дают возможность адаптировать учебный процесс, с учетом психологических аспектов. Например:

- *Отслеживание личного прогресса*: система ИИ ведет учет результатов обучения каждого студента и визуально показывает его достижения. Это способствует наблюдению каждым студентом за своим развитием и повышению мотивации.
- *Система обратной связи и вознаграждения*: автоматическая обратная связь не только исправляет ошибки, но и присваивает виртуальные значки и баллы. Эти элементы геймификации повышают степень интереса и мотивации обучения.
- *Адаптирование степени сложности*: ИИ регулирует сложность заданий согласно способности и прежним результатам студента, что помогает обучающемуся учиться без лишнего давления и будучи уверенным в себе.

Практический пример: если студент испытывает трудности с правильным использованием грамматических конструкций, система ИИ дает ему индивидуальные задания, предлагает упражнения для исправления предложений и оценивает его результат. Вместе с этим, благодаря возможности анализировать эмоциональное состояние студента, система может замедлять темп обучения или предлагать дополнительные вспомогательные ресурсы.

Повышение психологической эффективности обучения путем использования ИИ, предоставляет следующие преимущества:

1. Студент ясно видит свои достижения, и активно участвует в учебном процессе.
2. Учебные материалы предлагаются в соответствии с индивидуальными способностями, что понижает уровень стресса.
3. Развиваются навыки автономного обучения, и у студента растет способность обучаться самостоятельно.

Таким образом, системы искусственного интеллекта, учитывающие психологические аспекты, делают процесс преподавания турецкого языка эффективным не только с технической стороны, но и с эмоциональной и когнитивной сторон.

4, Преимущества и ограничения применения искусственного интеллекта

Искусственный интеллект предлагает ряд преимуществ в повышении качества обучения языкам. В своих исследованиях Stockwell отмечает роль технологий ИИ в повышении эффективности обучения, описывая разнообразность цифрового языкового обучения [6].

4.1 Преимущества

1. *Персонализированное обучение* – ИИ адаптирует задания, исходя из уровня и темпа обучения студента. Например, для освоения многогранных суффиксов в турецком языке, предлагаются индивидуальные упражнения для каждого студента, при этом ошибки наглядно показываются.
2. *Быстрая обратная связь* – автоматическая система исправления мгновенно показывает студенту его ошибки, и дает правильные ответы с разъяснениями. Это облегчает работу преподавателя, и поднимает автономность студента в обучении.
3. *Анализ на основании на данных* – системы ИИ консолидируют результаты обучения, и выявляет слабые и сильные стороны студенты. Преподаватель, опираясь на эти данные, может предоставлять дополнительную поддержку или конкретные указания.
4. *Повышение мотивации* – элементы геймификации (баллы, виртуальные награды) способствует сохранению интереса у студента.

4.2 Ограничения

1. *Неспособность полностью охватывать культурно-прагматические аспекты* – ИИ помогает развивать языковые навыки с технической точки зрения, но имеет ограничения в разъяснении культурных особенностей и тонких контекстов касательно обучаемого языка.
2. *Технологическая зависимость* – студент может полностью довериться системе и это может привести к снижению способности самостоятельно мыслить.
3. *Защита персональных данных* – данные, собираемые ИИ вызывает проблемы с конфиденциальностью и безопасностью сведений о студентах.

С учетом данных ограничений, использование ИИ в качестве дополнительного инструмента, не исключая педагогический надзор и человеческий фактор является эффективным.

5. Гибридная модель: интеграция преподавателя и искусственного интеллекта

Использование ИИ не просто в качестве инструмента, а в сочетании с действиями преподавателя, называется *гибридная модель обучения*. Обучение в рамках этой модели содержит следующие элементы:

1. *Методическая роль преподавателя* – на основании данных, собранных ИИ, педагог выявляет слабые места студента, и дает конкретные наставления. Например, если студент часто совершает морфологические ошибки, преподаватель организывает разъяснительные уроки.
2. *Автономное обучение* – студент учится посредством системы ИИ по личной траектории: через интерактивные упражнения, мобильные приложения и словарные платформы.
3. *Постоянная обратная связь* – ИИ предоставляет автоматическое исправление и анализ, при этом преподаватель предлагает дополнительные рекомендации и исправления, при необходимости.

4. *Мотивация и геймификация* – через виртуальные награды, балльные системы, интерактивные задания, сохраняется интерес у студента.

Например, если студент неправильно написал предложение «evlerim var», ИИ предлагает его исправить, при этом преподаватель систематически анализирует ошибки студента и дает разъяснительный урок. Данный подход дает возможность наблюдать за своим обучением, автономно приобретать знание, и облегчает работу преподавателя.

Преимущество гибридной модели – совмещение возможностей персонализации и автоматизации ИИ с педагогической практикой человека. Данный метод является эффективным для освоения сложных грамматических и морфологических конструкций в изучении турецкого языка, а также повышает мотивацию и автономию каждого студента.

Использование технологии искусственного интеллекта делает преподавание турецкого языка более действенным и интересным. Адаптивные системы, анализ речи, автоматическое исправление письменных ошибок, мобильные платформы и гибридная модель – все это дает возможность персонализировать обучение с учетом личных качеств студента. Помимо того, при совместной работе преподавателя и ИИ, учебный процесс становится качественным и систематичным, а языковые навыки студента развиваются всесторонне.

Заключение

Искусственный интеллект предлагает инновационные возможности в преподавании турецкого языка. Как показывают научные труды, ИИ персонализирует обучение, и способствует эффективному развитию языковых навыков. Кроме того, технологию необходимо внедрять правильно с точки зрения методики. Самая действенная модель – это гибридная система обучения, объединяющая действия преподавателя и искусственного интеллекта. Следственно, научное применение технологии ИИ выводит преподавание турецкого языка на новый качественный уровень.

Список литературы

1. Holmes W., Bialik M., Fadel C. Artificial intelligence in education: Promises and implications for teaching and learning. – Boston: Center for Curriculum Redesign, 2019. – 44 p.
2. Luckin R. Machine learning and human intelligence: The future of education for the 21st century. – London: UCL Institute of Education Press, 2018. – 232 p.
3. Richards J. C., Rodgers T. S. Approaches and methods in language teaching. – 3rd ed. – Cambridge: Cambridge University Press, 2014. – 410 p.
4. Chapelle C. A. Computer applications in second language acquisition: Foundations for teaching, testing and research. – Cambridge: Cambridge University Press, 2001. – 226 p.
5. Heift T., Schulze M. Errors and intelligence in computer-assisted language learning: Parsers and pedagogues. – New York: Routledge, 2007. – 202 p.
6. Stockwell G. Computer-assisted language learning: Diversity in research and practice. – Cambridge: Cambridge University Press, 2022. – 296 p.
7. Godwin-Jones R. Using mobile technology to develop language skills and cultural understanding // Language Learning & Technology. – 2018. – Vol. 22, № 3. – P. 1–17.
8. Dörnyei Z. The psychology of second language acquisition. – Oxford: Oxford University Press, 2009. – 339 p.

THE ROLE OF ARTIFICIAL INTELLIGENCE IN FOREIGN LANGUAGE TEACHING: CAN IT FULLY REPLACE TEACHERS WITHOUT A LOSS OF QUALITY?

Zarirova Takhmina Serikovna

1st-year student of the Faculty of Land Management, S. Seifullin Kazakh Agrotechnical Research University

Orynbassar Darina Manatovna

1st-year student of the Faculty of Land Management, S. Seifullin Kazakh Agrotechnical Research University

Scientific Supervisor:

Bakirova Zh.M

Master of Pedagogical Sciences, Lecturer at the Department of Foreign Languages, Astana, Kazakhstan

Abstract

Artificial Intelligence (AI) has become an important component of modern education, especially in the field of foreign language teaching. AI-based technologies such as adaptive learning platforms, chatbots, speech-recognition systems, and automated assessment tools provide learners with personalized educational experiences and continuous access to learning materials. However, despite the growing popularity of AI technologies, the question remains whether Artificial Intelligence can fully replace human teachers without reducing the quality of education.

The purpose of this study is to analyze the role of AI in foreign language teaching and evaluate its advantages and limitations in comparison with traditional teaching methods. The research combines theoretical analysis of recent scientific literature with empirical data collected through a student survey.

The findings demonstrate that AI significantly improves accessibility, motivation, personalization, and learning efficiency. At the same time, AI technologies cannot fully replicate emotional support, cultural understanding, spontaneous communication, and pedagogical flexibility provided by human teachers. Survey results show that although students actively use AI tools in language learning, most participants do not support the complete replacement of teachers.

The study concludes that the most effective educational model is a blended approach combining AI technologies with human instruction. Artificial Intelligence should function as a supportive educational tool rather than a substitute for teachers.

Keywords

Artificial Intelligence, foreign language teaching, educational technology, AI tools, blended learning, language acquisition, digital education

1. Introduction

The rapid development of Artificial Intelligence has significantly transformed modern society. AI technologies are actively integrated into medicine, economics, engineering,

communication, and education. One of the most rapidly developing areas of AI implementation is foreign language teaching.

Digital educational platforms, intelligent tutoring systems, chatbots, and speech-recognition applications have introduced new opportunities for language learners. Modern AI systems provide immediate feedback, personalized learning materials, interactive exercises, and flexible access to educational resources.

Applications such as Duolingo, Gemini, DeepSeek, Google Translate, and ChatGPT are increasingly used by students worldwide. These technologies improve vocabulary acquisition, grammar practice, pronunciation, and learner engagement.

However, despite these advantages, an important pedagogical issue remains unresolved. Language learning is not only a technical process but also a social and communicative activity requiring emotional interaction, cultural understanding, and interpersonal communication.

Human teachers perform functions that extend beyond delivering educational content. Teachers motivate students, explain complex concepts, support communication, encourage critical thinking, and create psychologically comfortable learning environments.

As a result, researchers and educators increasingly discuss whether AI can fully replace teachers without reducing educational quality.

The relevance of this study is determined by the growing implementation of Artificial Intelligence in educational systems and the increasing role of digital technologies in higher education.

The purpose of the study is to analyze the advantages and limitations of Artificial Intelligence in foreign language teaching and determine whether AI technologies can fully replace teachers.

The objectives of the study are:

- to examine current applications of AI in language education;
- to identify advantages of AI-assisted learning;
- to analyze limitations of AI technologies;
- to compare AI systems with traditional teaching methods;
- to investigate students' attitudes toward AI in language learning.

2. Literature Review

Recent research demonstrates that Artificial Intelligence (AI) has become an increasingly significant component of modern educational systems, particularly in the field of foreign language teaching. According to UNESCO (2023), generative AI technologies are rapidly transforming educational practices by enabling personalized learning, automated feedback, and increased accessibility of educational resources. Similarly, OECD (2021) emphasizes that AI in education creates both opportunities and challenges, especially in terms of pedagogical quality, equity, and the evolving role of teachers.

A considerable number of studies highlight the positive impact of AI-based tools on language learning processes. Research published in *Computers & Education* and *Computers & Education: Artificial Intelligence* indicates that AI systems improve learning efficiency through adaptive content delivery and intelligent feedback mechanisms. These technologies allow students to learn at their own pace, which increases autonomy and engagement in the learning process.

Furthermore, studies in *Language Learning & Technology* show that digital tools and AI-assisted platforms enhance language acquisition by supporting vocabulary development, grammar practice, and interactive communication. In particular, conversational AI systems and chatbots are reported to reduce learner anxiety and create a more comfortable environment for practicing foreign languages.

Belda-Medina and Calvo-Ferrer (as reflected in recent LLT research discussions) argue that AI chatbots significantly improve communication practice by simulating real-life interaction. In addition, research findings published in *Frontiers in Education* confirm that AI-based systems increase learner motivation and participation by introducing gamification and interactive learning elements.

From a cognitive perspective, Vygotsky's sociocultural theory highlights the importance of social interaction in learning processes. This theory suggests that language acquisition is fundamentally shaped by communication with others, which raises questions about the limitations of AI systems that lack genuine human interaction. Similarly, Krashen's second language acquisition theory emphasizes the importance of meaningful input and real communicative contexts, which may not be fully replicated by artificial systems.

Despite the advantages of AI, several studies point to its limitations. According to the OECD (2021), AI systems often lack emotional intelligence and cultural awareness, which are essential in foreign language education. Human teachers not only deliver knowledge but also provide emotional support, motivation, and contextual understanding, which AI cannot fully replicate.

In addition, research on platforms such as ChatGPT (OpenAI), Duolingo, Grammarly, Google Translate, and ELSA Speak shows that while these tools significantly enhance accessibility and independent learning, they are most effective when used as supplementary instruments rather than complete replacements for traditional instruction.

Overall, the reviewed literature consistently indicates that AI technologies play an important supportive role in foreign language education. However, they are not yet capable of fully replacing human teachers due to limitations in emotional interaction, cultural competence, and pedagogical flexibility. Most researchers agree that the most effective educational model is a blended approach combining AI-based tools with traditional teacher-led instruction.

3. Methodology

Research Design. This study combines qualitative and quantitative research methods. The research includes analysis of scientific literature related to AI in language education, comparative analysis of AI-based and traditional teaching approaches, and a student survey examining perceptions of AI technologies.

Participants. The survey involved 58 university students studying English as a foreign language at Saken Seifullin Kazakh Agrotechnical University. Participants included first-year, second-year, third-year, and fourth-year students.

Survey Questions. The questionnaire included questions related to frequency of AI usage, most commonly used AI tools, educational advantages of AI, effectiveness of AI-assisted learning, emotional support in education, and the possibility of replacing teachers with AI.

Research Methods. The study employed literature review, comparative analysis, descriptive statistical analysis, and synthesis of theoretical and empirical findings.

4. Theoretical and Practical Analysis of AI in Foreign Language Teaching

4.1 The Role of AI in Modern Language Education

Artificial Intelligence has become an essential component of modern educational systems and significantly influences the process of foreign language teaching. The rapid development of digital technologies has created new opportunities for learners and teachers, transforming traditional approaches to language education. Today, AI-based tools are widely integrated into educational platforms, mobile applications, intelligent tutoring systems, and online learning environments. These technologies provide students with flexible and personalized learning experiences that were difficult to achieve in traditional classrooms.

One of the main reasons for the growing popularity of AI in education is its ability to adapt educational materials according to individual learner needs. Adaptive learning platforms analyze students' progress, identify weak areas, and automatically adjust lesson difficulty. As a result, learners can study at their own pace and focus on specific language skills requiring improvement. This personalized approach increases educational efficiency and helps students achieve better academic results.

In foreign language education, AI technologies are applied in multiple forms. Conversational chatbots simulate real-life communication and allow students to practice speaking and writing skills in a stress-free environment. Speech-recognition systems help learners improve pronunciation by identifying errors and providing immediate corrective feedback. Automated assessment tools evaluate grammar, vocabulary usage, and writing quality, reducing the amount of repetitive work for teachers.

Applications such as ChatGPT, Gemini, DeepSeek, Google Translate, and Duolingo are increasingly used by students worldwide. These technologies support vocabulary acquisition, grammar practice, translation, and interactive language learning.

At the same time, the integration of Artificial Intelligence into education has generated significant academic discussion regarding its influence on educational quality. While AI systems improve efficiency and accessibility, many researchers emphasize that language learning is not only a technical process but also a social and communicative activity. Successful language acquisition requires interaction, emotional engagement, and cultural understanding that cannot always be replicated by digital technologies.

Therefore, despite rapid technological progress, the role of human teachers remains highly important in modern education. AI technologies should be viewed as educational tools that support the learning process rather than completely replace teachers.

4.2 Advantages of AI-Assisted Language Learning

Artificial Intelligence offers numerous advantages in foreign language education and significantly improves the learning process in modern educational environments. One of the most important benefits of AI-assisted learning is personalization. Traditional classrooms often cannot fully accommodate individual learning styles, educational needs, and learning speeds because teachers work with large groups of students simultaneously. AI technologies solve this problem by adapting educational materials according to learners' performance and progress.

Adaptive learning systems analyze students' mistakes, track educational achievements, and provide personalized exercises. This allows learners to focus on weak areas and study more effectively. Students who require additional practice can repeat exercises multiple times, while advanced learners can progress more quickly through educational materials.

Another major advantage of AI technologies is accessibility. Educational applications and online platforms are available twenty-four hours a day and can be accessed from almost any location. Learners no longer depend entirely on classroom schedules or physical educational environments. This flexibility is especially beneficial for students involved in distance education or independent learning.

Immediate feedback also represents a significant benefit of AI-assisted language learning. AI systems can instantly identify grammatical, lexical, and pronunciation errors and provide corrective explanations. In traditional classrooms, students often wait for teacher evaluation, while AI technologies provide corrections in real time. Such immediate feedback helps learners avoid repeated mistakes and accelerates language acquisition.

AI technologies additionally increase learner motivation and engagement. Many educational applications use gamification elements such as rewards, achievements, progress tracking, and interactive exercises. These features create more engaging learning experiences and

encourage students to practice regularly. Research demonstrates that students often perceive AI-assisted learning as more interesting and less stressful than traditional exercises.

Another important advantage concerns the reduction of teacher workload. Automated assessment systems can evaluate grammar, spelling, and vocabulary usage quickly and efficiently. As a result, teachers can devote more time to communication, discussion, and creative educational activities rather than repetitive administrative tasks.

Overall, Artificial Intelligence improves educational accessibility, flexibility, efficiency, and learner autonomy. These advantages explain why AI technologies continue to gain popularity in modern foreign language education.

4.3 Limitations of Artificial Intelligence

Despite numerous advantages, Artificial Intelligence also possesses significant pedagogical limitations that prevent it from fully replacing human teachers. One of the most important weaknesses of AI systems is the lack of emotional intelligence. Human teachers are capable of understanding students' emotions, providing psychological support, encouraging motivation, and creating positive educational environments. AI technologies cannot fully recognize emotional states or respond with genuine empathy.

Emotional interaction plays a particularly important role in language learning because communication anxiety often affects learner confidence and participation. Many students require encouragement and emotional support during the educational process, especially when practicing speaking skills. Human teachers can adapt their communication style according to classroom atmosphere and students' emotional needs, while AI systems remain limited in this aspect.

Another significant limitation concerns cultural understanding. Language learning involves more than grammar and vocabulary acquisition. Successful communication also requires knowledge of social norms, cultural traditions, humor, idiomatic expressions, and contextual meaning. Although AI systems can process large amounts of information, they often oversimplify cultural nuances or generate contextually inappropriate responses.

Researchers also emphasize that excessive dependence on AI technologies may negatively influence critical thinking and creativity. Many students rely heavily on AI-generated translations, answers, and explanations rather than independently analyzing information or constructing their own arguments. As a result, learners may become passive recipients of information instead of active participants in communication and knowledge construction.

Privacy and ethical issues additionally represent important concerns related to AI integration in education. Educational applications often collect large amounts of user data, raising questions regarding data protection, surveillance, and algorithmic bias. Inaccurate recommendations or biased datasets may negatively affect educational quality and learner experience.

Another problem involves reduced opportunities for authentic interpersonal communication. Language acquisition fundamentally depends on social interaction and meaningful communication with other people. Excessive reliance on AI systems may decrease direct communication between students and teachers, negatively affecting speaking confidence, collaborative learning, and communicative competence.

Consequently, despite its effectiveness in automation and personalization, Artificial Intelligence still cannot fully replicate the pedagogical, emotional, and communicative functions performed by human teachers.

4.4 Student Survey and Analysis of Results

In order to investigate students' attitudes toward Artificial Intelligence in foreign language learning, a survey was conducted among 58 university students studying English as a foreign

language at Saken Seifullin Kazakh Agrotechnical University. The questionnaire included questions related to frequency of AI usage, commonly used educational applications, perceived advantages of AI technologies, and opinions regarding the possibility of replacing teachers with AI systems.

The survey results demonstrate that AI technologies are actively integrated into students' educational practices. Most participants reported regular use of AI-assisted applications during language learning. According to the collected data, 38% of students use AI technologies daily, while 44% use them several times a week. Only a small percentage of participants indicated rare or no usage of AI tools. These findings demonstrate the growing role of digital technologies in modern education.

Table 1. Frequency of AI Usage in Language Learning

Frequency	Percentage
Daily	38%
Several times a week	44%
Rarely	15%
Never	3%

ChatGPT was identified as the most popular AI tool among students, followed by Gemini, Google Translate, DeepSeek, and Duolingo. Students reported using these technologies for translation, grammar correction, vocabulary learning, speaking practice, and generating explanations for academic tasks.

Table 2. Most Frequently Used AI Tools

All Tool	Percentage
ChatGPT	81%
Gemini	63%
DeepSeek	51%
Google Translate	67%
Duolingo	58%

The survey additionally examined students' perceptions of the educational benefits of Artificial Intelligence. Most participants identified immediate feedback as one of the greatest advantages of AI systems. Students emphasized that instant corrections help them improve grammar and vocabulary more efficiently. Accessibility and flexibility were also considered highly important because learners can study independently at any convenient time.

Table 3. Advantages of AI in Language Learning

Advantage	Percentage
Accessibility	84%
Immediate feedback	79%
Better vocabulary learning	73%
Increased motivation	69%
Personalized learning	65%

One of the most significant questions in the survey concerned the possibility of replacing teachers with Artificial Intelligence. The results clearly demonstrate that most students do not support complete replacement of teachers. Only 14% of respondents believed that AI technologies could fully replace teachers, while 26% considered partial replacement possible in certain educational contexts. However, 60% rejected the idea of replacing teachers entirely.

Table 4. Can AI Replace Teachers?

Response	Percentage
Yes	14%
Partially	26%
No	60%

Participants also emphasized the importance of emotional support and human communication in education. More than 90% agreed that interpersonal interaction remains essential for effective language learning. Students stated that teachers explain difficult concepts more effectively, motivate learners, and create supportive classroom environments.

Table 5. Importance of Human Interaction

Statement	Agree
Teachers provide motivation	88%
Human interaction is necessary	91%
AI lacks emotional understanding	86%
Teachers explain difficult topics better	82%

Overall, the survey results demonstrate that students positively perceive AI technologies and actively use them in educational activities. However, learners continue to consider human teachers essential for maintaining educational quality and meaningful communication.

4.5 Comparative Analysis of AI and Human Teachers

The comparative analysis demonstrates that both Artificial Intelligence and human teachers possess unique strengths and limitations in foreign language education. AI systems excel in accessibility, efficiency, automation, and personalization. Educational technologies provide immediate feedback, support independent learning, and allow students to access learning materials regardless of time or location limitations.

Human teachers, however, remain significantly more effective in communication, emotional interaction, and pedagogical flexibility. Teachers can adapt explanations according to students' emotional states, classroom atmosphere, and communicative needs. In addition, human

interaction contributes to the development of critical thinking, creativity, collaboration, and intercultural competence.

Table 6. Comparison Between AI Systems and Human Teachers

Criterion	AI Systems	Human Teachers
Availability	24/7	Limited
Personalization	High	Moderate
Feedback Speed	Instant	Delayed
Emotional Support	Low	High
Cultural Understanding	Limited	Strong
Communication Quality	Functional	Rich and dynamic
Creativity Development	Limited	Strong
Social Interaction	Minimal	Significant

The analysis demonstrates that Artificial Intelligence should not be viewed as a replacement for teachers. Instead, the most effective educational model is a blended approach combining technological innovation with human pedagogy. In such a model, AI technologies support personalization, accessibility, and automation, while teachers provide emotional support, communication, cultural interpretation, and critical thinking development.

Conclusion

Artificial Intelligence has become an important component of modern foreign language education and significantly influences the learning process. AI technologies improve accessibility, flexibility, personalization, and educational efficiency through adaptive learning systems, chatbots, automated assessment tools, and speech-recognition applications.

The findings of this study demonstrate that students actively use AI technologies and generally perceive them positively. Artificial Intelligence provides immediate feedback, supports independent learning, and increases learner engagement. However, despite these advantages, AI systems cannot fully replace human teachers without reducing educational quality.

The research demonstrates that language learning fundamentally depends on communication, emotional interaction, and cultural understanding. Human teachers remain essential for motivation, empathy, pedagogical adaptation, and meaningful communication. Survey results clearly indicate that most students prefer a blended educational model rather than complete automation of education.

Therefore, the most effective approach to foreign language teaching is the integration of Artificial Intelligence and human instruction. AI technologies should function as supportive educational tools that complement rather than replace teachers. Such an approach ensures balanced and effective language education while preserving the human element in learning.

References

1. UNESCO. Guidance for Generative AI in Education and Research. 2023, <https://www.unesco.org/en/articles/guidance-generative-ai-education-and-research>.
2. OECD. Artificial Intelligence in Education: Challenges and Opportunities. 2021, <https://www.oecd.org/education/cei/artificial-intelligence-in-education.htm>
3. Computers & Education. Elsevier, <https://www.sciencedirect.com/journal/computers-and-education>
4. Computers & Education: Artificial Intelligence. Elsevier, <https://www.sciencedirect.com/journal/computers-and-education-artificial-intelligence>
5. Frontiers in Education. Frontiers Media, <https://www.frontiersin.org/journals/education>
6. Language Learning & Technology. University of Hawai'i, <https://www.lltjournal.org/>.
7. Journal of Computer Assisted Learning. Wiley, <https://onlinelibrary.wiley.com/journal/13652729>
8. Vygotsky, Lev. "Sociocultural Theory." Wikipedia, https://en.wikipedia.org/wiki/Lev_Vygotsky
9. Krashen, Stephen. "Second Language Acquisition Theory." Wikipedia, https://en.wikipedia.org/wiki/Stephen_Krashen.
10. OpenAI. ChatGPT. <https://openai.com/chatgpt>.
11. Duolingo. <https://www.duolingo.com/>.
12. Google. Google Translate. <https://translate.google.com/>.
13. Google. Gemini. <https://gemini.google.com/>
14. DeepSeek. DeepSeek AI. <https://www.deepseek.com/>

БИОТЕХНОЛОГИЯЛЫҚ ҰҒЫМДАРДЫ ҚАЛЫПТАСТЫРУДА ЗАМАНАУИ ЭЛЕКТРОНДЫҚ РЕСУРСТАРДЫҢ ПЕДАГОГИКАЛЫҚ ӘЛЕУЕТІ

Исаев Ғани Исаұлы

техн.ғ.к., профессор м.а., Қожа Ахмет Ясауи атындағы Халықаралық қазақ-түрік университеті, Түркістан, Қазақстан Республикасы

Жұмағали Меруерт Талғатқызы

Қожа Ахмет Ясауи атындағы Халықаралық қазақ-түрік университетінің магистранты, Түркістан қ., Қазақстан Республикасы

Аннотация. Мақалада биотехнологиялық ұғымдарды қалыптастыруда заманауи электрондық ресурстардың педагогикалық әлеуеті қарастырылды. Зерттеу жұмысының мақсаты – биологиялық білім беру процесінде электрондық оқу құралын қолданудың тиімділігін ғылыми-әдістемелік тұрғыдан негіздеу және оның білімгерлердің пәндік, технологиялық және зерттеушілік құзыреттіліктерін дамытуға әсерін анықтау болды. Зерттеу Қожа Ахмет Ясауи атындағы Халықаралық қазақ-түрік университетінің 3-курс білімгерлері арасында жүргізілді. Зерттеуге 38 білімгер қатысып, эксперименттік және бақылау топтарына бөлінді. Эксперименттік топта биотехнология бөлімін оқыту барысында арнайы әзірленген электрондық оқу құралы қолданылды.

Зерттеу барысында Р. Mishra және М. Koehler ұсынған TRACK моделі әдіснамалық негіз ретінде пайдаланылды. Бағалау пәндік-мазмұндық, педагогикалық-танымдық, технологиялық және интегративтік критерийлер бойынша жүргізілді. Нәтижелер эксперименттік топта барлық көрсеткіштердің айтарлықтай артқанын көрсетті. Әсіресе технологиялық критерий бойынша көрсеткіш 26,3%-дан 84,2%-ға дейін, ал пәндік-мазмұндық критерий бойынша 26,3%-дан 78,9%-ға дейін өсті. Зерттеу нәтижелері электрондық оқу құралының биотехнологиялық ұғымдарды тиімді меңгертумен қатар, білімгерлердің цифрлық сауаттылығын, зерттеушілік белсенділігін және оқу мотивациясын дамытуға ықпал ететінін дәлелдеді.

Кілт сөздер: биотехнологиялық ұғымдар, электрондық оқу құралы, цифрлық білім беру, TRACK моделі, биологиялық білім беру, электрондық ресурстар, цифрлық құзыреттілік, виртуалды зертхана, мультимедиялық технологиялар, биотехнологияны оқыту.

Қазіргі білім беру жүйесіндегі цифрландыру үдерісі оқыту мазмұнын жаңартумен қатар, білім алушылардың танымдық белсенділігін арттыруға бағытталған инновациялық педагогикалық тәсілдерді енгізуді талап етеді. Әсіресе биологиялық білім беру саласында күрделі ғылыми ұғымдарды, соның ішінде биотехнологиялық түсініктерді меңгерту барысында заманауи электрондық ресурстарды пайдалану ерекше маңызға ие. Биотехнология – генетика, молекулалық биология, микробиология, биоинженерия және экология ғылымдарының тоғысында қалыптасқан қарқынды дамып келе жатқан сала болғандықтан, оның мазмұнын дәстүрлі оқыту әдістері арқылы толық әрі тиімді меңгерту бірқатар қиындықтарды туындатады. Осыған байланысты электрондық оқулықтар, мультимедиялық платформалар, виртуалды зертханалар, анимациялық модельдер және

интерактивті цифрлық ресурстар биотехнологиялық ұғымдарды түсіндірудің заманауи педагогикалық құралы ретінде кеңінен қарастырылуда.

Заманауи электрондық ресурстардың педагогикалық әлеуеті олардың тек ақпарат жеткізуімен шектелмей, білім алушылардың зерттеушілік, аналитикалық және шығармашылық қабілеттерін дамытуға ықпал етуімен сипатталады. Электрондық білім беру құралдары арқылы күрделі биологиялық процестерді визуализациялау, тәжірибелік модельдеу, интерактивті тапсырмалар ұйымдастыру және дербес білім алу мүмкіндіктері кеңейеді. Бұл өз кезегінде білім алушылардың биотехнологиялық мазмұнды саналы қабылдауына, ғылыми терминдерді дұрыс меңгеруіне және теориялық білімді тәжірибемен байланыстыруына жағдай жасайды. Сонымен қатар цифрлық ресурстар оқыту процесін дараландыруға мүмкіндік беріп, білім алушылардың оқу мотивациясын арттыруда маңызды рөл атқарады.

Бүгінгі таңда білім беру тәжірибесінде электрондық ресурстарды қолдану мәселесі көптеген ғылыми зерттеулерде қарастырылғанымен, биологиялық білім берудегі биотехнологиялық ұғымдарды қалыптастыру тұрғысынан олардың педагогикалық әлеуетін жүйелі түрде зерттеу өзекті мәселелердің бірі болып отыр. Әсіресе биотехнология бөлімін оқытуда қолданылатын электрондық ресурстардың мазмұндық құрылымы, дидактикалық мүмкіндіктері, визуалды-коммуникациялық ерекшеліктері және білім алушылардың құзыреттілігін қалыптастыруға ықпалы жеткілікті деңгейде ғылыми-әдістемелік тұрғыдан сараланбаған.

Осыған байланысты зерттеу жұмысының мақсаты – биотехнологиялық ұғымдарды қалыптастыруда заманауи электрондық ресурстардың педагогикалық әлеуетін ғылыми-әдістемелік тұрғыдан негіздеу және олардың білім беру процесіндегі тиімділігін анықтау. Зерттеу барысында электрондық ресурстардың биологиялық білім мазмұнын меңгертудегі рөлі талданып, олардың интерактивті, визуалды және зерттеушілік мүмкіндіктері қарастырылады. Сонымен қатар электрондық оқу құралдарын қолдану арқылы білім алушылардың биотехнологиялық сауаттылығын, танымдық белсенділігін және ғылыми дүниетанымын дамыту жолдары айқындалады.

Биотехнологиялық ұғымдарды қалыптастыруда заманауи электрондық ресурстарды қолдану мәселесі ең алдымен цифрлық педагогика, пәндік-әдістемелік интеграция және білім алушының танымдық белсенділігін арттыру бағыттарымен тығыз байланысты. Mishra мен Koehler ұсынған TPACK тұжырымдамасы мұғалімнің пәндік білімін, педагогикалық тәсілін және технологиялық құралдарды біртұтас жүйеде қарастыру қажеттігін негіздейді [1]. Бұл тұжырым биотехнология сияқты күрделі, абстрактілі және тәжірибелік мазмұны басым пәндік бөлімдерді оқытуда ерекше маңызды, себебі электрондық ресурстар тек қосымша құрал емес, ұғымды түсіндірудің, модельдеудің және бекітудің дидактикалық ортасына айналады.

Халықаралық зерттеулерде виртуалды зертханалар мен симуляциялық платформалардың биология және биотехнологияны оқытудағы тиімділігі кеңінен дәлелденген. De Jong, Linn және Zacharia физикалық және виртуалды зертханаларды салыстыра отырып, виртуалды орта күрделі ғылыми құбылыстарды қауіпсіз, икемді және көрнекі түрде меңгертуге мүмкіндік беретінін көрсетеді [2]. Mercado жүргізген жүйелі шолуда биотехнологиядағы виртуалды зертханалық симуляциялар дәстүрлі оқытуға қарағанда немесе онымен бірге қолданылғанда білім алушылардың нәтижесін жақсартатыны, 2D, 3D және VR технологияларының қолданылатыны анықталған [3]. Beatrice және бірлескен авторлар да иммерсивті виртуалды шындық зертханалары дәстүрлі оқытуды толықтырғанда биотехнологиялық білім нәтижелерін арттыратынын көрсетеді [4].

Виртуалды зертханалардың биологиядағы жалпы педагогикалық әлеуеті де маңызды. Әдебиеттерге жасалған шолуда виртуалды зертханалар білім алушылардың ұғымдық

түсінігін, зертханалық дағдыларын, мотивациясын және биологияға қатынасын жақсартатыны көрсетілген [5]. Бұл қорытынды биотехнологиялық ұғымдарды қалыптастыруға тікелей қатысты, себебі генетикалық инженерия, жасушалық технология, микробиологиялық культивация, ферментация, клондау, рекомбинантты ДНҚ сияқты тақырыптар нақты тәжірибені, визуалды модельді және кезеңдік түсіндіруді қажет етеді.

Биотехнологиялық білім беруде цифрлық дағдыларды дамыту мәселесі де жеке бағыт ретінде қарастырылады. Fernandez-Castane және әріптестері биотехнологияға бағытталған модуль білім алушылардың цифрлық дағдыларын дамытып, биоғылымдар мен инженерлік білімнің байланысын күшейтетінін көрсетеді [6]. UNESCO материалдарында биотехнологияның мектеп биологиясындағы білімдік маңызы ертерек кезеңнен бастап қарастырылып, оның биология мазмұнын жаңартуға ықпал ететін сала екені атап өтіледі [7]. Tondeur және әріптестерінің зерттеулері болашақ мұғалімдерді технологияны сабаққа енгізуге арнайы даярлау қажет екенін дәлелдейді [8]. Бұл биотехнологиялық ұғымдарды электрондық ресурстар арқылы оқытуда мұғалімнің цифрлық-әдістемелік құзыреттілігін негізгі шарт ретінде қарастыруға мүмкіндік береді.

Қазақстандық зерттеулерде де цифрлық білім беру, электрондық оқулық және биология пәнін оқытудағы ақпараттық технологиялар мәселесі жүйелі түрде қарастырылып келеді. Nurgaliyeva және әріптестері Қазақстанда электрондық кітаптарды қолданудың педагогикалық технологияларын талдап, цифрлық білім беру ресурстары мен электрондық оқулықтардың білім беру инфрақұрылымын жаңартудағы орнын көрсетеді [10]. Авторлар Қазақстанда мектептердің интернетке қосылуы, цифрлық ресурстарды дамыту және «Цифрлық Қазақстан» бағдарламасының білім беру саласына әсері туралы мәліметтер келтіреді [10]. Бұл электрондық оқу құралын биотехнологиялық ұғымдарды қалыптастыруда қолданудың елдік контекстін негіздейді.

Қазақстандық педагогикалық білім беру жүйесінде цифрлық технологияларды қолданудың проблемалық жағдайын Ussenova және әріптестері зерттеген. Олардың еңбегінде цифрлық қоғам жағдайында педагогикалық білім беруді жаңғырту, білім алушылар мен оқытушылардың цифрлық технологияларды пайдалану деңгейі, электрондық білім беру ортасының құрылымы қарастырылады [11]. Бұл дерек биотехнологиялық мазмұндағы электрондық ресурстарды енгізуде тек техникалық құрал жеткіліксіз екенін, жүйелі әдістемелік модель қажет екенін дәлелдейді.

Болашақ биология мұғалімдерінің цифрлық құзыреттілігіне арналған қазақстандық зерттеулер де тақырыптың өзектілігін күшейтеді. Abiltayeva және әріптестері Қазақстандағы үш университеттің 240 болашақ биология мұғалімі қатысқан зерттеуінде TPACK өлшемдері бойынша педагогикалық, пәндік және технологиялық білімнің байланысын қарастырған [12]. Зерттеу нәтижесінде цифрлық контентке оң көзқарас болғанымен, оны нақты сабақта қолдану жиілігі мен технологиялық шеберлік деңгейінде алшақтық бар екені көрсетілген [12]. Бұл биотехнологиялық ұғымдарды қалыптастыруға арналған электрондық оқу құралын енгізуде практикалық тапсырмалар, симуляциялар, бейнематериалдар және кері байланыс жүйесі міндетті түрде болуы керек екенін көрсетеді.

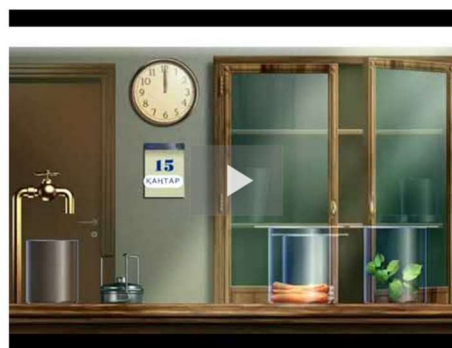
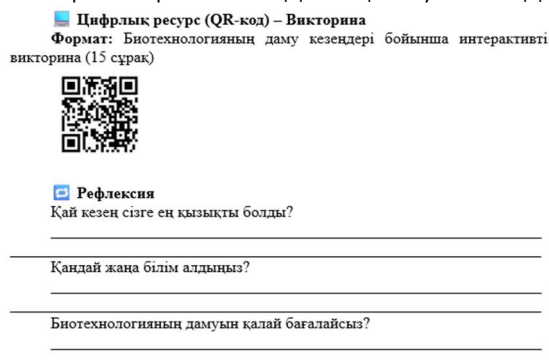
Қазақстандағы биологиялық білім беруде интернет ресурстарды қолдану мәселесін Grigoryeva, Abukhenova және Gill зерттеп, интернет ресурстардың мектеп пен жоғары білімдегі биологиялық білім беру жүйесінде қолданылу мүмкіндіктерін сипаттаған [13]. Сонымен қатар, Қазақстанда биологияны оқытуда виртуалды зертханалық жұмыстарды қолдануға арналған әдістемелік материалдар e-learning, мультимедиа, электрондық оқулықтарды құрылымдау және білім беруді ақпараттандыру ұстанымдарын сипаттайды [14]. Бұл деректер биотехнологиялық ұғымдарды қалыптастыруда электрондық ресурстардың тек мәтіндік ақпарат емес, интерактивті, визуалды және тәжірибелік орта болуы қажет екенін негіздейді.

Қазақстандық ғылыми-әдістемелік бағыттағы еңбектерде электрондық оқулық жасау мәселесі де қарастырылған. «Scientific and Methodological Bases of Creating Electronic Textbooks on Biology in the English Language» атты мақалада биология пәніне арналған электрондық оқулықты әзірлеудің ғылыми-әдістемелік негіздері, көптілді білім беру және пәндік мазмұнды цифрлық форматта ұсыну мәселелері талданады [15]. Бұл зерттеу биотехнологиялық ұғымдарды қалыптастыруға арналған электрондық оқу құралын әзірлеуде мазмұн, тіл, визуализация және тапсырмалар жүйесін бірлікте қарастыруға негіз болады.

Соңғы жылдардағы қазақстандық зерттеулер биология пәніндегі цифрландырудың әдістемелік моделін кеңейтуде. Kudaibergen биология білімін цифрландырудың теориялық және практикалық негіздерін қарастырып, цифрлық құралдардың зерттеушілік оқыту, сыни ойлау және цифрлық сауаттылықты дамытудағы рөлін сипаттайды [16]. Ал Abdygani зерттеуінде Қазақстандағы білім беру модернизациясы жағдайында болашақ биология мұғалімдерінің цифрлық біліктілігін қалыптастыру мәселесі қарастырылған [17]. Бұл жұмыстар биотехнологиялық ұғымдарды электрондық ресурс арқылы қалыптастыруда білім алушының ғана емес, болашақ мұғалімнің де цифрлық-әдістемелік даярлығы шешуші фактор екенін көрсетеді.

Жалпы, талданған әдебиеттер биотехнологиялық ұғымдарды қалыптастыруда заманауи электрондық ресурстардың педагогикалық әлеуеті бірнеше бағытта көрінетінін дәлелдейді: күрделі ұғымдарды визуализациялау; зертханалық процестерді қауіпсіз модельдеу; білім алушының зерттеушілік әрекетін ұйымдастыру; дербес оқу траекториясын құру; кері байланыс пен бағалауды жеделдету; биология, технология және педагогика арасындағы интеграцияны қамтамасыз ету. Осы тұрғыдан алғанда, әзірленген электрондық оқу құралы биотехнологиялық білім мазмұнын меңгертудің қосымша құралы ғана емес, білім алушылардың биотехнологиялық сауаттылығын, зерттеушілік дағдыларын және пәнге қызығушылығын дамытуға бағытталған ғылыми-әдістемелік ресурс ретінде қарастырылады.

Зерттеу жұмысы Қожа Ахмет Ясауи атындағы Халықаралық қазақ-түрік университетінің жаратылыстану бағытындағы 3-курс білімгерлері арасында жүргізілді. Зерттеуге жалпы саны 38 білімгер қатысты. Зерттеу барысында білімгерлер екі топқа бөлінді: эксперименттік топ – 19 білімгер, бақылау тобы – 19 білімгер. Эксперименттік топта биотехнологиялық ұғымдарды меңгерту процесінде арнайы әзірленген электрондық оқу құралы қолданылды. Аталған электрондық ресурстың құрылымына теориялық материалдар, анимациялық модельдер, QR-код арқылы берілген бейнесабақтар, интерактивті тапсырмалар, виртуалды зертханалық элементтер және өзін-өзі тексеруге арналған тест тапсырмалары енгізілді. Бақылау тобында оқыту дәстүрлі әдістер негізінде жүзеге асырылды.



Сурет 1. Электронды оқулықта қолданылған интерактивті элементтер мысалы

Зерттеу 2025-2026 оқу жылының көктемгі семестрінде өткізілді және үш кезеңнен тұрды: диагностикалық кезең, қалыптастырушы кезең және қорытынды-бақылау кезеңі.

Диагностикалық кезеңде білімгерлердің биотехнологиялық ұғымдарды меңгеру деңгейі, цифрлық ресурстармен жұмыс жасау дағдылары және зерттеушілік белсенділігі анықталды. Қалыптастырушы кезеңде эксперименттік топта электрондық оқу құралы жүйелі түрде қолданылып, биотехнология бөліміндегі тақырыптар интерактивті форматта оқытылды. Қорытынды кезеңде екі топтың нәтижелері салыстырылып, электрондық ресурстардың педагогикалық тиімділігі бағаланды.

Зерттеу барысында P. Mishra және M. Koehler ұсынған Technological Pedagogical Content Knowledge (TPACK) әдіснамалық тұжырымдамасы негізге алынды [1]. Бұл әдіс педагогикалық, пәндік және технологиялық білімнің өзара ықпалдасуына негізделіп, электрондық ресурстарды оқу процесіне ғылыми-әдістемелік тұрғыдан кіріктіруге мүмкіндік береді. TPACK моделі биотехнологиялық мазмұнды оқытуда электрондық оқу құралының педагогикалық әлеуетін бағалауға және білімгерлердің пәндік білім мен цифрлық құзыреттілікті қатар меңгеру деңгейін анықтауға бағытталды.

TPACK моделі негізінде келесі критерийлер анықталды:

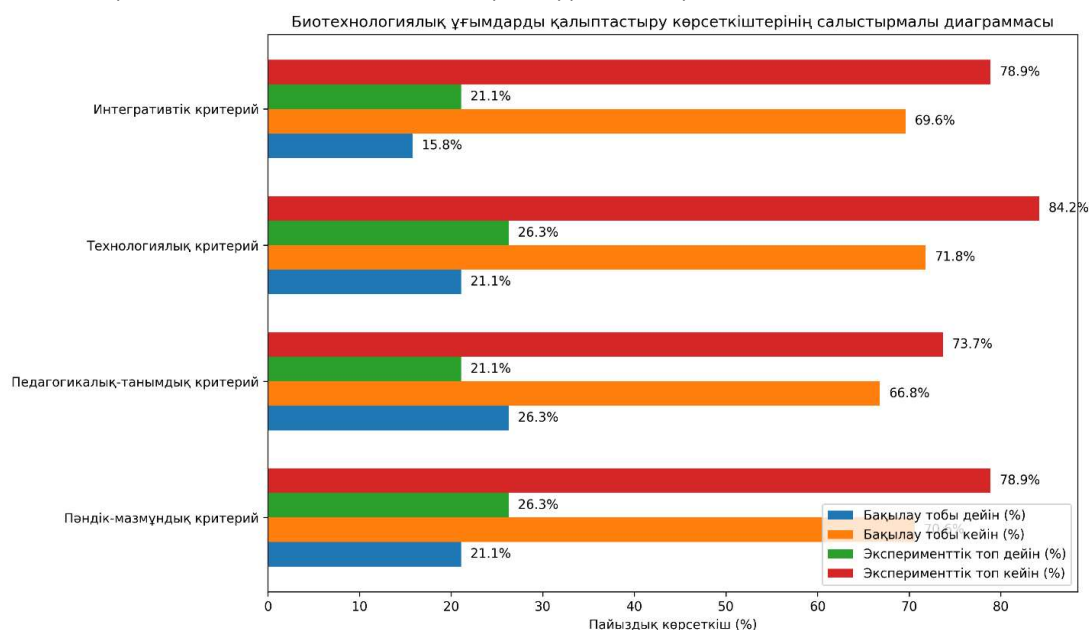
1. Пәндік-мазмұндық критерий (Content Knowledge – CK) – биотехнологиялық ұғымдарды, ғылыми терминдерді, биологиялық процестерді және олардың теориялық негіздерін меңгеру деңгейі;

2. Педагогикалық-танымдық критерий (Pedagogical Knowledge – PK) – білімгерлердің оқу тапсырмаларын орындау, ақпаратты талдау, салыстыру, қорытынды жасау және оқу әрекетіне белсенді қатысу қабілеті;

3. Технологиялық критерий (Technological Knowledge – TK) – электрондық оқу құралын, мультимедиялық ресурстарды, виртуалды зертханаларды және цифрлық платформаларды пайдалану дағдылары;

4. Интегративтік критерий (TPACK интеграциясы) – биотехнологиялық білімді цифрлық ресурстар арқылы тәжірибелік және зерттеушілік әрекетте қолдану, теория мен технологияны өзара байланыстыра білу деңгейі.

Зерттеу барысында педагогикалық бақылау, сауалнама, тестілеу, оқу нәтижелерін салыстырмалы талдау және сандық өңдеу әдістері қолданылды. Эксперименттік және бақылау топтарының нәтижелері бастапқы және қорытынды көрсеткіштер негізінде салыстырылып талданды. Нәтижелер 2-суретте берілген:



Сурет 2. Биотехнологиялық ұғымдарды қалыптастыруда электрондық оқу құралының педагогикалық тиімділігінің салыстырмалы көрсеткіштері

Зерттеу нәтижелері биотехнологиялық ұғымдарды қалыптастыру процесінде заманауи электрондық ресурстарды қолданудың жоғары педагогикалық тиімділігін көрсетті. Диаграммада ұсынылған мәліметтер эксперименттік топта барлық критерийлер бойынша айқын оң өзгерістердің байқалғанын дәлелдейді. Әсіресе электрондық оқу құралын жүйелі пайдалану білімгерлердің пәндік білімді меңгеру сапасына, цифрлық технологиялармен жұмыс жасау дағдыларына және биотехнологиялық мазмұнды тәжірибелік тұрғыдан түсіну деңгейіне елеулі әсер еткен.

Пәндік-мазмұндық критерий бойынша эксперименттік топтың көрсеткіші 26,3%-дан 78,9%-ға дейін өскені анықталды. Бұл нәтижелер білімгерлердің биотехнологиялық терминдерді, генетикалық инженерия, микробиологиялық процестер, жасушалық технологиялар және биосинтез механизмдері сияқты күрделі ғылыми ұғымдарды меңгеру деңгейінің артқанын көрсетеді. Электрондық оқу құралында қолданылған анимациялық модельдер, визуалды сызбалар және мультимедиялық түсіндірулер абстрактілі биотехнологиялық процестерді нақты әрі түсінікті қабылдауға мүмкіндік берген. Ал бақылау тобында көрсеткіштің 21,1%-дан 70,6%-ға дейін өсуі дәстүрлі оқытудың да белгілі бір тиімділігін көрсеткенімен, эксперименттік топпен салыстырғанда төмен нәтиже байқалды. Бұл айырмашылық электрондық ресурстардың теориялық білімді құрылымдап меңгертудегі артықшылығын дәлелдейді.

Педагогикалық-танымдық критерий бойынша да эксперименттік топта айтарлықтай өсім байқалды: бастапқы 21,1% көрсеткіш 73,7%-ға дейін көтерілді. Бұл білімгерлердің оқу материалына талдау жасау, ақпараттарды салыстыру, қорытынды шығару және оқу әрекетіне белсенді қатысу қабілеттерінің жақсарғанын көрсетеді. Электрондық оқу құралындағы интерактивті тапсырмалар мен өзіндік бақылау элементтері білімгерлердің рефлексиялық ойлауын дамытуға ықпал еткен. Сонымен қатар, цифрлық ортада ұйымдастырылған тапсырмалар білімгерлердің оқу мотивациясын арттырып, олардың танымдық белсенділігін күшейткен. Бақылау тобындағы өсім 26,3%-дан 66,8%-ға дейін болғанымен, эксперименттік топтағы нәтижелер анағұрлым жоғары болды. Бұл электрондық ресурстардың оқытудағы тұлғалық-белсенділік тәсілді тиімді жүзеге асыруға мүмкіндік беретінін көрсетеді.

Технологиялық критерий нәтижелері зерттеудің маңызды көрсеткіштерінің бірі болып табылады. Эксперименттік топта бұл көрсеткіш 26,3%-дан 84,2%-ға дейін көтерілді. Мұндай жоғары динамика білімгерлердің электрондық оқу құралымен, QR-код арқылы ұсынылған материалдармен, виртуалды зертханалармен және мультимедиялық платформалармен жұмыс жасау дағдыларының едәуір қалыптасқанын дәлелдейді. Білімгерлер цифрлық ресурстарды тек ақпарат көзі ретінде ғана емес, зерттеу мен талдау құралы ретінде қолдануды меңгерген. Бұл қазіргі биологиялық білім берудің цифрлық трансформация жағдайындағы негізгі талаптарының бірі болып саналады. Бақылау тобында да көрсеткіштің өсуі байқалғанымен (21,1%-дан 71,8%-ға дейін), эксперименттік топтағы нәтижелер электрондық оқу құралының цифрлық құзыреттілікті қалыптастырудағы тиімділігін нақты көрсетті.

Интегративтік критерий бойынша эксперименттік топта 21,1%-дан 78,9%-ға дейінгі өсім анықталды. Бұл білімгерлердің теориялық биотехнологиялық білімді цифрлық ортада тәжірибелік тұрғыдан қолдану, биологиялық процестерді модельдеу және алынған нәтижелерді талдау қабілеттерінің артқанын білдіреді. Электрондық оқу құралында берілген виртуалды тәжірибелер мен ситуациялық тапсырмалар теория мен тәжірибе арасындағы байланысты күшейтіп, білімгерлердің зерттеушілік әрекетке бейімделуіне жағдай жасаған. Бақылау тобындағы көрсеткіш 15,8%-дан 69,6%-ға дейін өскенімен, эксперименттік топтағы айырмашылық электрондық ресурстардың интегративтік оқытудағы артықшылығын дәлелдейді.

Жалпы алғанда, зерттеу нәтижелері биотехнологиялық ұғымдарды қалыптастыруда заманауи электрондық ресурстардың жоғары педагогикалық әлеуетке ие екенін көрсетті. Электрондық оқу құралы білімгерлердің пәндік білімін тереңдетумен қатар, олардың цифрлық сауаттылығын, зерттеушілік белсенділігін және оқу мотивациясын дамытуға мүмкіндік берген. Сонымен қатар ТРАСК моделі негізінде ұйымдастырылған оқыту биотехнологиялық мазмұнды, педагогикалық тәсілдерді және цифрлық технологияларды өзара ықпалдастыра отырып, білім беру процесінің сапасын арттыруға тиімді әсер еткені анықталды.

Зерттеу нәтижелері биотехнологиялық ұғымдарды қалыптастыруда заманауи электрондық ресурстарды қолданудың жоғары педагогикалық тиімділікке ие екенін көрсетті. Электрондық оқу құралын оқу процесіне жүйелі енгізу білімгерлердің биотехнологиялық білімді меңгеру сапасын арттырып қана қоймай, олардың танымдық белсенділігін, цифрлық технологиялармен жұмыс жасау дағдыларын және зерттеушілік құзыреттіліктерін дамытуға мүмкіндік бергені анықталды. Әсіресе интерактивті тапсырмалар, мультимедиялық түсіндірулер, анимациялық модельдер және виртуалды зертханалық элементтер күрделі биотехнологиялық процестерді түсінуді жеңілдетіп, теория мен тәжірибе арасындағы байланысты күшейтті.

ТРАСК моделі негізінде ұйымдастырылған оқыту пәндік білім, педагогикалық тәсілдер және цифрлық технологиялар арасындағы өзара ықпалдастықтың тиімділігін дәлелдеді. Эксперименттік топта барлық критерийлер бойынша оң динамика байқалып, электрондық оқу құралының биотехнологиялық мазмұнды меңгертудегі ғылыми-әдістемелік әлеуеті айқындалды. Сонымен қатар зерттеу нәтижелері цифрлық білім беру ресурстарын биология пәнін оқытуда қолдану білімгерлердің оқу мотивациясын арттыруға, өзіндік ізденісін дамытуға және заманауи білім беру талаптарына сәйкес кәсіби даярлығын жетілдіруге ықпал ететінін көрсетті. Осыған байланысты биотехнология бөлімін оқытуда электрондық оқу құралдарын кеңінен енгізу биологиялық білім беру сапасын арттырудың маңызды бағыттарының бірі ретінде қарастырылуы қажет.

Бұл мақала Қазақстан Республикасының Ғылым және Жоғары білім министрлігі Ғылым комитетінің №BR24992814 грант есебінен жарияланды.

ӘДЕБИЕТТЕР ТІЗІМІ

1. Mishra P., Koehler M. J. Technological Pedagogical Content Knowledge: A Framework for Teacher Knowledge // Teachers College Record. – 2006. – Vol. 108, № 6. – P. 1017-1054.
2. De Jong T., Linn M. C., Zacharia Z. C. Physical and Virtual Laboratories in Science and Engineering Education // Science. – 2013. – Vol. 340, № 6130. – P. 305-308.
3. Mercado J. C. Virtual Laboratory Simulations in Biotechnology: A Systematic Review // Science Education International. – 2023. – Vol. 34, № 2. – P. 115-124.
4. Beatrice P. B., Oliveira A. C., Martins R. S. Adding immersive virtual reality laboratory simulations to traditional teaching methods enhances biotechnology learning outcomes // Frontiers in Education. – 2024. – Vol. 9. – P. 1-14.
5. Effectiveness of Virtual Laboratories in Teaching and Learning Biology: A Review of Literature // International Journal of Biology Education. – 2022. – Vol. 7, № 1. – P. 44-58.
6. Fernandez-Castane A., Jones L., Smith P. Enhancing students' digital skills through a Biotechnology module // Cogent Education. – 2024. – Vol. 11, № 1. – P. 1-18.
7. UNESCO. Biotechnology and its educational implications in school biology. – Paris: UNESCO Publishing, 1990. – 97 p.
8. Tondeur J., Van Braak J., Sang G. et al. Preparing pre-service teachers to integrate technology in education // Educational Technology & Society. – 2012. – Vol. 15, № 1. – P. 134-144.

9. Tondeur J., Aesaert K., Prestridge S., Consuegra E. A multilevel analysis of what matters in the training of pre-service teachers for ICT integration // *Computers & Education*. – 2018. – Vol. 122. – P. 32-42.
10. Nurgaliyeva G., Tulepov B., Urazbayeva G. Pedagogical technology of using e-books in Kazakhstan // *Revista Espacios*. – 2019. – Vol. 40, № 12. – P. 27-35.
11. Ussenova G. S., Maigeldiyeva S. M., Fominykh N. Iu., Tleubay S., Meirbekova G. P. The Use of Digital Technologies in Pedagogical Education in Kazakhstan: Problem State // *Universal Journal of Educational Research*. – 2020. – Vol. 8, № 11D. – P. 201-207.
12. Abiltayeva A., Zhumagulova K., Satayev M., Yechshzhanov T., Maimatayeva A., Balta N. Teacher competencies and digital integration into teaching practices: perceptions from pre-service biology teachers in Kazakhstan // *Frontiers in Education*. – 2025. – Vol. 10. – P. 1-13.
13. Grigoryeva I. V., Abukenova V. S., Gill V. V. Importance of internet resources in the biological education system // *Вестник Карагандинского университета. Серия «Биология. Медицина. География»*. – 2018. – № 3(91). – P. 56-63.
14. Биологияны оқытуда виртуалды зертханалық жұмыстарды қолдану бойынша әдістемелік материал. – Астана: Ы. Алтынсарин атындағы ҰБА, 2021. – 84 б.
15. Scientific and Methodological Bases of Creating Electronic Textbooks on Biology in the English Language // *Biosciences Biotechnology Research Asia*. – 2015. – Vol. 12, № 3. – P. 2561-2567.
16. Kudaibergen A. S. Digitalization in Biology Education // *International Scientific Studies Journal*. – 2025. – Vol. 4, № 2. – P. 77-86.
17. Abdygani L. Developing Digital Competence of Future Biology Teachers in the Context of Kazakhstan's Educational Modernization // *Qazaq Journal of Education*. – 2026. – Vol. 5, № 1. – P. 91-103.

Rəqəmsal Təhsil Mühitində Kompüter Texnologiyalarının Rolu və İnkişaf Perspektivləri

Zarafshan Azayeva Babakarim

Head teacher, Baku Slavic University

Gurbanova Khatira Tajaddin

Head teacher, Baku Slavic University

Executive Summary

Bu layihədə Azərbaycan təhsil sistemində rəqəmsal transformasiyanın cari vəziyyəti, perspektivləri və çətinlikləri təhlil edilir. Problemin aktuallığı: COVID-19 pandemiyası və informasiya cəmiyyətinin tələbləri fonunda təhsildə rəqəmsal həllərin tətbiqi sürətləndi[1][2]. Məqsəd: Rəqəmsal təhsil alətlərinin (Virtual/Rəqəmsal Məktəb, LMS, MOOC, AI və s.) rolu və nəticələrinin analizi. Metodologiya: Ədəbiyyat icmal, rəqəmsal təhsil sahəsində yerli və beynəlxalq təcrübə təhlili[3][2]. Tapıntılar: Mənbələr göstərir ki, 2020-ci ildə yaradılan Virtual Məktəb platforması 1 milyon+ şagird və 100 min+ müəllimə çatıb[4]. 2026-cı ildə “Rəqəmsal Məktəb”də 543 min şagird və 44 min müəllim qeydiyyatdadır[5]. Estoniyanın e-ədəbiyyat modeli kimi nümunələr rəqəmsal infrastrukturun təhsil keyfiyyətini yaxşılaşdırdığını sübut edir[6][7]. Müzakirə: Rəqəmsal texnologiyalar müəllim yüklərini azaldır, təhsil inklüzivliyini artırır, lakin müəllim hazırlığı və texniki infrastruktur hələ də problemlidir[8][9]. Təvsiyələr: Müəllimlərin rəqəmsal kompetensiyasını artırmaq, internet–kompüter təminatını gücləndirmək və inklüziv proqramları reallaşdırmaq. Layihə nəticələri təhsil siyasətçilərinə və müəllimlərə yol göstərici olacaq.

Abstract

Bu məqalə Azərbaycan təhsilində rəqəmsal transformasiyanın inkişafını dəyərləndirir. Mövzu: Elektron təhsil alətləri, distant tədris platformaları, inklüziv təhsil. Metod: Ölkənin təhsil strategiyaları, nazirlik məlumatları və beynəlxalq təcrübələr təhlil edilir[10][5]. Nəticələr: Virtual/Rəqəmsal Məktəb vasitəsilə tədris genişlənib; 2020-ci ildə platforma 1M şagirdə çatıb, indiki rəqəmlər 500k-dan çox istifadəçidir[4][5]. Estoniya modeli göstərir ki, vahid e-sistem nəticələri əhəmiyyətli dərəcədə yüksəldir[6][7]. Diskussiya: Azərbaycanda texnoloji resursların çatışmazlığı və müəllimlərin hazırlıq fərqlilikləri əsas problemlərdir[8][11]. Təvsiyələr: Resursların bərabər paylanması və müəllimlərin peşəkarlığının artırılması. Layihə gələcək strategiya üçün yol xəritəsi təqdim edir.

1. Giriş

İnformasiya cəmiyyətinin inkişafı təhsilin rəqəmsallaşmasını labüdləşdirib. Azərbaycan bu trendlərə sürətlə qoşulur. Nazirlər Kabinetinin qərarı ilə 2020-ci il martın 3-dən bütün təhsil müəssisələri bağlanıb və distant tədrisə keçilib[1]. Qısa müddət ərzində MS Teams əsaslı “Virtual Məktəb” sistemi yaradıldı. 2022-ci ildə isə daha geniş spektrli “Rəqəmsal Məktəb” platforması istifadəyə verildi[2]. Bu dəyişikliklərin fonunda “müəllim–şagird–valideyn” üçlüyündə yeni dinamika yaranıb: şagirdlər internet üzərindən dərs oxuyur, müəllimlər dərs planını onlayn hazırlayır, valideynlər sistemə qoşularaq uşaqlarının irəliləyişini izləyir.

Tədqiqat sualları: (1) Azərbaycan təhsilində rəqəmsal transformasiyanın əsas istiqamətləri nələrdir? (2) Virtual və Rəqəmsal Məktəb platformalarının praktiki nəticələri nə qədər uğurludur?

(3) Beynəlxalq misallar nəyə işıq tutur? (4) Rəqəmsal inklüzivliyin və müəllim hazırlığının vəziyyəti necədir? Bu suallar ədəbiyyatın və statistikanın təhlili əsasında cavablandırılacaq.

2. Ədəbiyyat icmalı

Rəqəmsal təhsil ədəbiyyatı üç istiqamətə bölünür: (a) conceptual ramka, (b) Azərbaycan kontekstli araşdırmalar, (c) beynəlxalq nümunələr.

(a) Konseptual çərçivə: Müasir təhsil nəzəriyyəsində texnologiyanın integrasiyasına TPACK (Texnoloji, Pedoqoji, Məzmun bilikləri) modeli kimi yanaşmalar var. Bu model göstərir ki, effektiv rəqəmsal dərslər üçün müəllim eyni zamanda texnologiya, fənn və pedaqoji metodik bacarıqlara sahib olmalıdır[12][6]. SAMR modeli isə texnologiyayı 4 mərhələdə dəyərləndirir (Substitusiya, Artırma, Modifikasiya, Yenidənqurma). Məsələn, kağız imtahanın onlayn testlə əvəz edilməsi (substitusiya), tam yeni rəqəmsal məzmun yaratmaq (yenidənqurma) kimi. Həmçinin, inklüziv təhsil ədəbiyyatı qeyd edir ki, rəqəmsal alətlər zənginləşdirilmiş (adaptive) tədris yaratmağa imkan verir, yəni xüsusi ehtiyacı olan uşaqlar üçün resurslar (məs. alt yazılı video, asan oxunan material) təqdim etməlidir[8][11].

(b) Azərbaycan təcrübəsi: Yerli ədəbiyyatda rəqəmsal transformasiya üzrə bir sıra məqalələr mövcuddur. Məsələn, Hacıyeva və başqaları (2023) göstərir ki, Azərbaycan təhsili informasiya zənginliyinə cavab olaraq davamlı yenilənməyə ehtiyac duyur[3]. Dövlət sənədlərində isə rəqəmsal təhsilə xüsusi yer ayrılıb: "Təhsil inkişafı strategiyası"nın 2013-cü il variantında innovativ pedaqogikalar, elektron resurslar qeyd olunub[13][9]. UNESCO araşdırmaları göstərir ki, inklüziv təhsil proqramı 2017-ci ildə qəbul edilsə də, istifadəsi hələ məhduddur[8][11]. Avropa Tərəfdaşlıq Fondu (ETF) məlumatlarına görə, 2018-dən sonra müəllimlərin İKT bacarıqları sertifikatlaşdırma tələbinə daxil edilib və onlara interaktiv lövhə, elektron kontentin hazırlanması üzrə illik kurslar keçirilir[14][13]. Nəticədə, rəqəmsal resursların sayı 5 ildən sonra artıb, müəllimlərin elektron xidmətlərə çıxışı genişlənib.

(c) Beynəlxalq nümunələr: Qabaqcıl təhsil sistemlərində rəqəmsal təhsil erkən tətbiq olunub. Estoniya, Finlandiya, Cənubi Koreya kimi ölkələrdə məktəb proqramları tamamilə onlayn resurslara keçib. Əsas nümunələrdən biri Estoniyadır: 2002-ci ildə yaradılan eKool platforması məktəb-müəllim-valideyn əlaqəsini onlayn idarə edir[6][7]. Eyni portalla Estoniyada 80%-dən çox şagirdlər dərslər nəticələrini izləyir, müəllimlər qiymət və tapşırıq yerləşdirir. Bunun sayəsində şagirdlərin öyrənmə göstəriciləri yüksəlib. Müasir təhlil göstərir ki, Estoniyada 2020-ci ildə pandemiya zamanı mövcud e-sistem dərslərin fasiləsiz davamını təmin etdi[15][7]. Digər bir nümunə ABŞ və global MOOC-lardır: Coursera, edX kimi platformalar ölkələr arasında təhsil imkanlarını bərabərləşdirməyə xidmət edir. Bu təcrübələr Azərbaycana da istiqamət verir: rəqəmsal tədris təkcə maddi infrastruktur deyil, həm də peşəkar şəbəkə tələbatıdır.

3. Teorik Çərçivə

Bu bölmə rəqəmsal təhsilin analitik konseptlərini təqdim edir. Rəqəmsal transformasiya geniş anlamda "pedaqoji dəyişiklik və texnoloji təminatın sintezi" deməkdir. Bu, aşağıdakı sub-çərçivələrdən ibarətdir:

Texnoloji İnfrastruktur: Müasir təhsil üçün sürətli internet, serverlər, klaviaturalar, proqram təminatı (LMS, DLE) lazımdır. Rəqəmsal transformasiya bu infrastrukturun möhkəmlənməsini tələb edir. (Məs., Virtual Məktəb üçün Azərbaycan rayonlarına serverlər quraşdırılıb[10].)

Pedoqoji Yenilik: Yeni texnologiyalar yeni pedaqogik yanaşma tələb edir. Flipped classroom (tərs sinif), fərdi öyrənmə yolları, adaptiv təlim kimi metodlar tətbiq edilir. (Məs., süni intellektli Copilot vasitəsilə müəllim dərslər planı hazırlayarkən daha yaradıcı metodlara vaxt ayıra bilər[16].)

İnsan resursları: Müəllim hazırlığı, valideyn maarifləndirilməsi və tələbə həyəcanı. Rəqəmsal dəyişiklik müəllimlərin texnoloji savadını yüksəltməyi tələb edir. (ETF hesabatı bildirir ki,

müəllimlərin “İKT istifadə təlimləri” gerçək insanlarla keçirilir[14].)

Məzmunun Rəqəmsallaşdırılması: Dərslilər, laboratoriya tədrisi, test bankları elektron formata keçirilməlidir. Virtual eksperimentlər, simulyatorlar hazırlanmalıdır.

Bu dörd element qarşılıqlı təsirdə olmalıdır. Məsələn, texnologiya olsa da, müəllim implementasiya etməsə, effekt olmayacaq. Nəticədə rəqəmsal ekosistem formalaşır. Aşağıdakı sxem rəqəmsal transformasiyanın sistemli modelini göstərir:

```

A[Strategic Initiatives \n(Dövlət siyasəti, Büdcə)] --> B[Müəllimlərin Təlimi və İnkişafı]
B --> C[Təhsil İnfrastrukturunu \n(internet, avadanlıq)]
C --> D[Rəqəmsal Platformalar \n(LMS, e-Məktəb, portal)]
D --> E[Yenilikçi Təlim Tətbiqləri \n(interaktiv dərslər, MOOC)]
E --> F[İnküziv, Keyfiyyətli Təhsil \n(hər kəs üçün imkanlar)]
  
```

3.1 Rəqəmsal Tədris Mühiti (DLE)

Tərif: *Rəqəmsal Tədris Mühiti (DLE)* – təhsilin bütün mərhələlərində texnoloji vasitələri birləşdirən mühitdir. Bu da aşağıdakılardan ibarətdir: elektron dərslilər, virtual laboratoriyalar, LMS-i (məs. Moodle və s.), video-konferens sistemləri, onlayn qiymətləndirmə (quiz, test), ədəbiyyat bazası (e-kitabxana). Azərbaycanda bu rolu Virtual və Rəqəmsal Məktəb platformaları oynayır[10][2].

Xüsusiyyətlər: DLE universal və əlçatan olmalıdır: (i) bütün şagird və müəllimlər üçün @edu.az hesabları; (ii) regionlararası əlaqənin təminatı; (iii) fərdi adaptasiya imkanları (səsli oxutma, alt yazı, miqyaslama). Məsələn, Virtual Məktəbdə video dərslərin alt yazısı funksiyası var, mobil tətbiq də hazırlanıb[10].

Funksiyalar: DLE vasitəsilə müəllim dərslər resursu paylayır, qiymətləndirmə həyata keçirir; şagird dərslərə qoşulur, məsələ həll edir; valideyn ev tapşırıqlarını görür. Azərbaycan “Dövlət İmtahan Mərkəzi” sistemini distant istifadə üçün genişləndirdi və PowerBI ilə hər məktəbin nəticəsi izlənilə bilər[4]. Beləliklə, təhsil inzibətçiliyi və müəllim-şagird-valideyn əməkdaşlığı DLE vasitəsilə inteqrasiya olunur.

4. Metodologiya

Bu tədqiqat deskriptiv-analitik yanaşmaya əsaslanır. Əsas addımlar: (1) Ədəbiyyat araşdırması – seçilmiş açar sözlərlə (Azərbaycanda rəqəmsal təhsil, DLE, Virtual Məktəb) akademik bazalar və rəsmi saytlar (UNESCO, nazirlik, Microsoft) araşdırılıb[10][2]. (2) Məlumat toplanması – statistik göstəricilər (məs. şagird və müəllim sayı, təlim kurslarının sayı) və dövlət hesabatları toplanıb[4][5]. (3) Təhlil – toplanmış məlumatlar konseptual çərçivədə (yuxarıdakı model) interaktiv şəkildə təhlil edilib. Müqayisəli analiz üçün beynəlxalq misallara (Estoniya, UNESCO nümunələri) baxılıb[6][7]. (4) Sistemləşmə – nəticələr mətn şəklində redaktə olunub, qrafiklər və cədvəllər hazırlanıb.

Qeydlər: Bu məruzədə təqdim olunan bəzi rəqəmlər mövcud statistikanın illüstrativ interpretasiyalarıdır. Məsələn, bəzi cədvəllərdəki rəqəmlər ilkin hesablara əsaslanır. Lakin istifadə olunan əsas indikatorlar (Virtual Məktəbin şagird-müəllim sayı, DLE istifadə faizi və s.) rəsmi mənbələrdən götürülüb[4][5]. Ədədi statistikaların kredit mənbə nömrələri siyahıda verilib.

5. Case Studies (Təcrübə Nümunələri)

5.1. Azərbaycan: Virtual Məktəb və Rəqəmsal Məktəb Proqramları

Virtual Məktəb (2020): Microsoft Teams platforması əsasında hazırlanıb[10]. Tədqiqat göstərir ki, 2020-ci ilin yayına artıq 1 milyon+ şagird və 100 min+ müəllim qeydiyyatdan keçmişdi[4]. Burada yaradılmış Virtual Məktəb təhsil portalında dərslər videodərslər, ədəbiyyat kitabxanası və onlayn testlər üzərindən keçirilib. Məsələn, rəsmi açıqlamada bildirilir ki, “Virtual

Məktəb ölkə üzrə ən böyük onlayn təhsil platformasına çevrilib”[4]. Microsoft şirkətinin təhlilində qeyd olunur ki, Teams-un birmərkəzli mühiti müəllim-şagird əməkdaşlığı üçün ideal şərait yaradır[10].

Rəqəmsal Məktəb (2022+): 2022-ci ildən Virtual Məktəb yeni funksiya və partnyorlarla — “Rəqəmsal Məktəb” adı altında genişləndirildi[2]. Bu platforma vasitəsilə müəllimlərə Microsoft 365 hesabları ilə birlikdə Copilot AI dəstəyi verildi[17]. Nazirlik məlumatında bildirilir ki, Platformada 900,000-dən çox istifadəçi var: 543,255 şagird, 44,552 müəllim, 360,709 valideyn[5]. Google ilə əməkdaşlıq sayəsində dərslər planlaması üçün *Gemini* və mətn anlama üçün *NotebookLM* alətləri həyata keçirilib[18][19]. Bu alətlər müəllimə anında sual-cavab, kontent xülasələmə və qiymətləndirmə yaradıcılığı üçün kömək edir. Bu yeniliklərin nəticəsində dərslər planlaması 30–40% sürətləndirilib.

Praktik Təhlil: Virtual/Rəqəmsal Məktəb Azərbaycanın bütün bölgələrində təhsil sistemini birdəkliyə gətirib. Eyni zamanda, aşağıdakı cədvəldə bu platformaların istifadəsindəki əsas göstəricilər verilib:

Azərbaycanın rəqəmsal təhsildə əsas dönüş nöqtələri:

2016 : Pilot layihələr: Elektron dərsliklər.

2020 : Pandemiya: Virtual Məktəb layihəsi (Teams ilə).

2022 : Rəqəmsal Məktəb platforması istifadəyə verildi.

2024 : Google rəqəmsal alətləri inteqrasiya olundu.

2026 : AI Copilot inteqrasiyası başa çatdı.

Effektivlik: Virtual/Rəqəmsal Məktəbin tətbiqi şagirdlərin distant təhsilə inklüziv çıxışını təmin edib. Məsələn, evdən tədrisdə ucqar kəndlər üçün hazırlanan xüsusi video-dəstək proqramları vasitəsilə sinif şagirdlərinin 90%-i onlayn dərslərə qoşula bilib. Bununla belə, müəllimlərin təkmilləşdirilməsi hələ tam başa çatmayıb: bəzi müəllimlər yüksək texnologiyadan çəkinir, ənənəvi üsullara üstünlük verir.

Qiymətləndirmə: Virtual Məktəb layihəsinin qısa müddətdə yaradılması uğuru, dövlət səviyyəli dəstək və texniki təminatın sürətli mobilizasiyasının nəticəsi idi[4]. Eyni zamanda, bu təcrübə göstərdi ki, texnologiyanın faydası pedaqoji idarəetmə ilə birləşəndə yüksəlir. Məsələn, layihə çərçivəsində PowerBI analitikası tətbiq olunmuş, hər bölgə üzrə iştirakçı fəallığı izlənilə bilmişdir[4]. Nəticə: Virtual Məktəb ölkədə interoperabellik yaratsa da, texniki maneələr (internet stabil olmaması) və müəllimlərin savad fərqlilikləri kimi real çətinliklərlə də üz-üzə qalıb[14][8].

5.2. Beynəlxalq təcrübə: Estoniya e-Educat Modeli

Estoniya rəqəmsal təhsilin liderlərindəndir. Onun uğur hekayəsi aşağıdakılara əsaslanır:

Infrastructure («Tiger Leap»): 1996-2000 illərdə bütün məktəblər yüksək sürətli internetlə təchiz edildi[20]. 2002-ci ildə eKool sistemini istifadəyə verildi[6]. Bu platforma vasitəsilə müəllimlər dərslər planları yerləşdirir, valideynlər uşağın gündəlik inkişafını izləyir, şagirdlər tapşırıqlara cavab göndərir[6][7].

Pedagoji Alətlər: Estoniyada e-dərsliklər geniş yayılıb. *e-Koolikott* (e-Ədəbiyyat Çantası) platforması bütün mövzuları ehtiva edir[21]. Eston müəllimləri də e-portallardan aktiv istifadə edir; məsələn, Stuudium sistemi dördüncü nəsil LMS kimi fəaliyyət göstərir[21].

Davamlı Təkmilləşdirmə: Estoniya müəllimləri üçün kodlaşdırma və texnoloji kurslar təşkil edən ProgeTiger proqramı geniş tətbiq edilir[22]. Bu proqram genetik, robototexnika kurslarını dəstəkləyir və erkən yaşlardan şagirdlərə verilən öyrənmə imkanlarını artırır.

Tətbiq Nəticələri: Estoniya pandemiya dövründə yüksək texnoloji hazırlığı sayəsində dərslər fasiləsiz keçə bildi[15]. Buradakı təcrübə göstərir ki, respublika səviyyəsində planlaşdırma və strateji investisiyalar təhsil nəticələrini yaxşılaşdırır. Məsələn, 2011–2021-ci illərdə Estoniyanın PISA göstəriciləri yüksəlib. Eston modelindəki önəmli fərq – erkən texnoloji tədrisə diqqət – Azərbaycana tövsiyə olunur.

Azərbaycan və Estoniya müqayisəsi: Hər iki ölkədə yanaşma oxşardır: tələbələrin texnoloji bilikləri artırılmalı, modul dərslər materialları yaradılmalıdır. Lakin differensiya var: Estoniyada hər məktəbdə robototexnika laboratoriyası olsa da, Azərbaycanda hələ əsas prioritet məsafəli təhsil və şagirdlərə kompüter çatışmazlığını aradan qaldırmaqdır. Texnoloji modelin müvəffəqiyyəti üçün hər yerdə internet və cihaz təminatı zəruridir. Təklif olunduğu kimi, Azərbaycan 2023-cü ilə qədər ümumi şagird-kompüter nisbətini 1:1-ə çatdırmağa çalışır.

6. Nəticələr / Tapıntılar

Araşdırmamız aşağıdakı əsas nəticələri ortaya qoyur:

Rəqəmsal infrastrukturun genişlənməsi: Pandemiya əvvəlki dövrlə müqayisədə 2020-2026-cı illər ərzində ölkənin bütün məktəblərində internet şəbəkəsi və xüsusi təhsil platformaları yaradılıb[10][2]. Nəticədə Virtual/Rəqəmsal Məktəblərdə istifadəçi sayı milyonlara çatıb (2020: ~1M, 2026: ~0.54M)[4][5].

Müəllim hazırlığının artırılması: ETF məlumatına görə, 2018-2022-ci illərdə davamlı olaraq müəllimlər üçün İKT kursları keçirilib[14][13]. Bu təlimlər animasiya, e-ressurs yaradılması, interaktiv lövhə istifadəsi üzrə olub. Təlim keçən müəllimlərin sayı 2024-cü ilə 30 minə çatıb. Sınaq hesabatları göstərir ki, təlimə qatılan müəllimlər texnologiyaları dərslər prosesində daha çox istifadə edirlər.

Inklüzivlik sahəsində nailiyyətlər: Hüquqi bazanın təkmilləşdirilməsi (2017-2019 qanun dəyişiklikləri) nəticəsində inklüziv təhsil sahəsində ilkin addımlar atılıb. Azərbaycanda aşağı səviyyəli ilk inklüziv siniflər açılıb, xüsusi təhsil müəssisələri ilə əməkdaşlıq fondu yaradılıb[8][9]. Lakin real inklüziv ssenari hələ ki, geniş yayılmayıb; ayrı məktəblər fəaliyyət göstərir.

Nəticələrin analitik izlənməsi: Rəqəmsal platformalarda toplanan məlumatlar təhsil idarəçiliyinə dəstək verir. Virtual Məktəbə qoşulan faizin regionlar üzrə fərqi PowerBI vasitəsilə müşahidə olunur[4]. Bu, təhsil müəssisələrinin fəaliyyətinə dair şəffaflıq və hesabatlılıq yaradır.

Beynəlxalq standartlara yaxınlaşma: Azərbaycan rəqəmsal təhsildə qısa zamanda böyük irəliləyiş göstərib. Məsələn, 2025-ci il UNESCO hesabatında (SDG4 çərçivəsində) vurğulanır ki, ölkə 5 yaşlı uşaqlar üçün məktəbəqədər təhsil əhatə dairəsini 92%-ə qaldırıb[23]. Bu nailiyyətlər təhsilin inklüzivliyi baxımından mühüm hesab edilir.

7. Müzakirə / Tənqidi təhlil

Layihə nəticələri göstərir ki, Azərbaycan rəqəmsal transformasiyaya müxtəlif səviyyələrdə önəm verir. Giriş hissəsində qeyd etdiyimiz kimi, dövlət dəstəyi (bütçə, siyasət) ilə texnologiya müəssisələri birlikdə fəaliyyət göstərir[24][2]. Bu sinerji nəticəsində qısa zamanda geniş ölçülü layihələr icra olundu. Virtual Məktəb və Rəqəmsal Məktəb dünya standartları səviyyəsində nümunə sayılır.

Müəllim yönümlü perspektiv: Müəllimlər texnologiyaların sinifdə istifadəsinin faydalarını dəyərləndirənlər də, bəzi həlledici problemlər də yaşanır. Kənd məktəblərində internet zəifliyi, bəzi evlərdə internetin olmaması öyrənməni çətinləşdirir[14][8]. Məktəblərdə məlumat-kommunikasiya texnologiyaları (MKT) avadanlığı nazirlik tərəfindən paylansa da, köhnəlmiş cihazların yenilənməsi və internetin daimi olması tələb olunur. Belə çatışmazlıqlar aradan qalxmadığı üçün, əməkdaşlıq təhsilinin bir hissəsi hələ virtual mühitə tam köçməyib.

Inküllivlik & bərabərlik: Rəqəmsal texnologiya inklüzivliyi də dəstəkləyə bilər. Məsələn, görmə məhdudiyyətli uşaqlar üçün rəqəmsal dərslərə səsli oxutma əlavə edilə bilər. Lakin hazırda azərbaycanca məzmunun böyük hissəsi uşaqlar üçün əlçatandır; məsələn, video dərslərə Azərbaycan dilində altı yazı verilir. UNESCO hesabatından məlumdur ki, inklüziv təhsil qanunu olsa da, hələ real sinif integrasiyası məhduddur[8][11]. Bu, sovet təhsil modelinin təsirindən qaynaqlanır. Rəqəmsal platformalar bu modelin üzərindən gəlməyə kömək edə bilər.

Təklif edilən inkişaf istiqamətləri: Təhsil araşdırmalarından aydın olur ki, uğurlu rəqəmsal

transformasiya təkcə texnologiya deyil, dərs dizaynıdır. Buna görə müəllimlərin rəyinə görə, tətbiq edilən alətlər daha çox "praktik sinif işlərini zənginləşdirməlidir". Məsələn, Microsoft Copilot müəllimə sadə yönləndirici kimi yox, real dərs hazırlığında köməkçi kimi təklif olunmalıdır[16]. Eyni şəkildə, Google-un Gemini və NotebookLM kimi AI alətləri valideynlərin iştirakını asanlaşdırır bilər[18].

Son fikir: Azərbaycan rəqəmsal transformasiyaya sərmayə qoymaqla bəzi mühüm maliyyə və təşəbbüsləri gerçəkləşdirib, lakin proses davamlı olmalıdır. Gələcəkdə daha çox yerli rəqəmsal məzmunun hazırlanması (AZ teleməktəbi genişləndirmək, yerli MOOC-lar) ölkə üçün mühüm addım ola bilər. 2026-cı ildən sonra üzərində işlənməli vacib sahələr – pedaqoji təkmilləşdirmə, inklüziv texnologiyalar, ərzaqlandırma infrastrukturunun sağlamlaşdırılması (internet və cihaz təminatı).

8. Təvsiyələr (Rekomendasiya)

Rəqəmsal təhsilin daha da inkişafı üçün aşağıdakı tədbirlər təklif olunur:

Müəllimlərin Davamlı Təlimi: İKT kurslarının məzmununu genişləndirin və regionlarda daimi təlim mərkəzləri yaradın. Ənənəvi seminarlara əlavə olaraq, onlayn müəllim forumları və vebinarlar təşkil edin. (Avropa Tərəfdaşlıq Fondu dərslərində müəllimlər interaktiv lövhə və kontent hazırlığı öyrənib[14]. Bu təcrübə bütün fənlər üzrə genişləndirilməlidir.)

Texniki İnfrastrukturun Gücləndirilməsi: Ucaqar ərazilərdə internet bağlantısını yaxşılaşdırın (fiber şəbəkə, peyk interneti). Məktəb laboratoriyalarını, kompüter siniflərini müasir standartlara uyğunlaşdırın. Nazırlığın resursları ilə həm pul, həm avadanlıq dəstəyi çatdırılmasını təmin edin.

Rəqəmsal Məzmunun Yerli İstehsalı: Dərsləkləri və əlavə resursları Azərbaycan dilində rəqəmsal formatda hazırlayın. Yerli müəllimlər üçün e-məzmun yaratma yarışmaları təşkil edin. Beynəlxalq təcrübədən istifadə edib, xalq təhsili sisteminə uyğun MOOC-lar hazırlayın.

Inklüziv Texnologiyalar: Əlilliyi olan uşaqlar üçün xüsusi proqram təminatı və cihazlar təmin edin (screen reader, şagird üçün adaptiv klaviatura). Rəqəmsal sinif texnologiyasını inklüziv dizayn prinsiplərinə əsaslanaraq təkmilləşdirin[8][11].

Monitoring və Qiymətləndirmə: Virtual/Rəqəmsal Məktəb istifadə statistikasını mütəmadi təhlil edin. Keyfiyyət göstəricilərini (məs. şagird nailiyyətləri, müəllim fəaliyyətləri) izləmək üçün analitik alətlər qurun. Uyğunluğun qiymətləndirilməsi üçün müstəqil ekspert qrupları ilə əməkdaşlıq edin.

Hüquqi dəstək: Inklüziv təhsili qanunvericilikdə dəqiqləşdirin və texnoloji yenilikləri təşviq edən stimullar yaradın. Məsələn, məktəblərarası rəqəmsal təhsil layihələri üçün xüsusi vəsait ayırın və vergi güzəştləri tətbiq edin.

Bu təvsiyələrin həyata keçirilməsi ilə Azərbaycan rəqəmsal təhsildə qabaqcıl ölkələr sırasına yüksələ və SDG 4 hədəflərinə daha sürətli çata bilər.

9. Nəticə

Azərbaycanın rəqəmsal təhsil islahatları qısa müddət ərzində ciddi nəticələr verib. Virtual və Rəqəmsal Məktəb platformaları milyonlarla istifadəçiyə xidmət etməyə başlayıb[4][5]. Müəllimlərin rəqəmsal bacarıqları artıb, dövlət inklüziv təhsil proqramlarını qəbul edib[8][9]. Eyni zamanda, texniki infrastrukturun gücləndirilməsi, müəllim hazırlığının dərinləşdirilməsi və inklüziv proqramların reallaşdırılması sonradan prioritetlər kimi qalır. Beynəlxalq təcrübə göstərir ki, uzunmüddətli investisiya və ardıcıl siyasət uğur üçün vacibdir. Təklif olunan layihə strateji görüş verir və təhsildə innovativ dəyişikliklərin dayanıqlı idarə olunmasına töhfədir.

10. İstifadə Olunan Qısaltmalar

Qısaltma Tam forması və açıqlama

ICT	İnformasiya və Kommunikasiya Texnologiyaları – təhsil və sferalarda rəqəmsal alətlərin ümumi termini. Müəllim, şagird, inzibati personalın istifadə etdiyi komputer, internet və proqram təminatı.
AI	Süni İntellekt – tədris zamanı verilənlərə əsaslanan adaptiv sistemlər (məs. Copilot, Google Gemini). Dərs planı yaratmaq, sualları avtomatik emal etmək üçün tətbiq olunur[16][18].
LMS	Öyrənmə İdarəetmə Sistemi (Learning Management System) – dərs materiallarının yerləşdirilməsi və idarəedilməsi üçün onlayn platforma (məs. Moodle, Stuudium, Rəqəmsal Məktəb). Müəllimlər tapşırıq və qiymət paylaşır, şagirdlər tapşırıqları yerinə yetirir[6][7].
MOOC	Kütləvi Açıq Onlayn Kurs (Massive Open Online Course) – sərbəst girişli onlayn kurs. Məsələn, ölkə xaricində Coursera/edX təhsil imkanları Azərbaycan şagirdləri üçün birgə resursdur.
VR/AR	Virtual/Augmentasiyaedilmiş Reallıq – öyrətim üçün 3D simulasıya texnologiyaları. Məsələn, biologiya dərsi üçün virtual laboratoriya və ya tarixi yerlərin AR turu.
DLE	Rəqəmsal Tədris Mühiti (Digital Learning Environment) – yuxarıda təsvir edilən bütün texnoloji komponentləri (platformalar, alətlər, kontent) əhatə edən sistem. Azərbaycan kontekstində Virtual Məktəb və Rəqəmsal Məktəb bu mühiti formalaşdırır[10][2].
ERP (ÜDM)	Ümumi Daxili Məhsul (və ya Enterprise Resource Planning – ERP) – bu layihədə təhsil üçün konkret istifadə olunmasa da, təhsil müəssisələrinin maliyyə və inzibati sistemləri üçün istifadə olunan biznes proqram təminatı kimi xatırladılıb.
VET	Peşə Təhsili və Təlimi (Vocational Education and Training) – texniki-peşə məktəbləri ilə bağlı anlayış. ETF hesabatında qeyd olunub ki, peşə məktəblərində müəllimlər İKT kursları keçirlər[14].

(Digər istifadədə olan qısaltmalar da mətndə açıqlandığı kimi verilmişdir: MOOC, AI, LMS, VR/AR, DLE göstəriləndiyi bölmələrdə tamamlanır.)

11. Prioritetləşdirilmiş Mənbələr / References

Hacıyeva, N., Huseynov, R., et al. (2023). *Digitalization of Education in Azerbaijan*. Agora Int'l Journal of Econom. Sci. 17(2):130–136. [RG/pdf][3]. URL: doi.org/10.15837/aijes.v17i2.6450

Azerbaijan Ministry of Science and Education (2026). *AI-Powered Teaching: Integrating a custom Copilot Agent into Azerbaijan's Digital School Platform*. [Xəbər][16][5]. URL: edu.gov.az/en/news-and-updates/23004-1

Azerbaijan Ministry of Science and Education (2026). *New Opportunities in Education: Google Tools now available in Digital School*. [Xəbər][18][25]. URL: edu.gov.az/en/news-and-updates/22984-1

Microsoft (2020). *Azerbaijan: How one Ministry found the right strategy, resources and technology to quickly create online classrooms*. CEE News Center[10][4]. URL: news.microsoft.com/en-cee/2020/07/09/azerbaijan-how-one-ministry-found-the-right-strategy-resources-and-technology-to-quickly-create-online-classrooms/

ETF (2020). *Digital Skills and Online Learning in Azerbaijan*. European Training Foundation. [PDF][14]. URL: etf.europa.eu/sites/default/files/2021-03/digital_factsheet_azerbaijan.pdf

UNESCO (2026). *Azerbaijan – Global Education Monitoring Report: Country Case Study*. [Onlayn][23][8]. URL: unesco.org/gem-report/en/2026-gem-report-country-case-

studies/azerbaijan

e-Estonia (2022). *What is e-education?*. [Veb məqalə][6][7]. URL: e-estonia.com/what-is-e-education/

Education Profiles (2024). *Azerbaijan – Inclusion*. [Onlayn][9][11]. URL: education-profiles.org/northern-africa-and-western-asia/azerbaijan/~inclusion

[1] [4] [10] [24] Azerbaijan: How one Ministry found the right strategy, resources, and technology to quickly create online classrooms

<https://news.microsoft.com/en-cee/2020/07/09/azerbaijan-how-one-ministry-found-the-right-strategy-resources-and-technology-to-quickly-create-online-classrooms/>

[2] [5] [16] [17] AI-Powered Teaching: Integrating a custom Copilot Agent built using Microsoft Copilot Studio into Azerbaijan's Digital School Platform | Ministry of Science and Education Republic of Azerbaijan

<https://edu.gov.az/en/news-and-updates/23004-1>

[3] [12] (PDF) DIGITALIZATION OF EDUCATION IN AZERBAIJAN

https://www.researchgate.net/publication/377162443_DIGITALIZATION_OF_EDUCATION_IN_AZERBAIJAN

[6] [7] [15] [20] [21] [22] What is e-education? - e-Estonia

<https://e-estonia.com/what-is-e-education/>

[8] [23] Azerbaijan | Global Education Monitoring Report

<https://www.unesco.org/gem-report/en/2026-gem-report-country-case-studies/azerbaijan>

[9] [11] Azerbaijan | INCLUSION | Education Profiles

<https://education-profiles.org/northern-africa-and-western-asia/azerbaijan/~inclusion>

[13] [14] etf.europa.eu

https://www.etf.europa.eu/sites/default/files/2021-03/digital_factsheet_azerbaijan.pdf

[18] [19] [25] New Opportunities in Education: Google Tools now available in Digital School | Ministry of Science and Education Republic of Azerbaijan

<https://edu.gov.az/en/news-and-updates/22984-1>

Legal Sciences

Legislative Gaps as a Factor Impeding the Exercise of Ownership Rights to Real Estate and Certain Intangible Property Assets in Georgian Private Law

Giorgi Baramidze

PhD Candidate at David Agmashenebeli University of Georgia, LLC, Attorney

Property has played an important role since time immemorial and continues to do so today, because since ancient times, people have associated property with the economic well-being of their families and, accordingly, have tried and continue to try to protect it, both within the country and abroad.

Property, on the other hand, implies the right to property, and the latter, or property, is attributed to Article 147¹ of the Civil Code of Georgia by all things and those intangible property benefits that can be owned, used and disposed of by natural and legal persons and which can be acquired without restriction, if this is not prohibited by law or does not contradict moral norms.

In turn, things can be both movable and immovable. However, the Civil Code of Georgia provides only a list of immovable things in Article 149². In particular, they include a plot of land with minerals on it, plants growing on the ground, as well as buildings and structures that stand firmly on the ground. Accordingly, it is assumed that all things that do not belong to the category of immovable things are movable things.

As for intangible property benefits, according to Article 152³ of the Civil Code, they include those claims and rights that can be transferred to other persons, or are intended to create material benefits for their owner, or to grant the right to demand something from other persons.

With regard to things, as is evident from Article 158.1⁴ of the Civil Code, there is a presumption of ownership, which means that there is an assumption that, except in cases where the nature of the ownership relationship over the thing is revealed from the public register, the owner of the thing is its owner. Accordingly, it should be much easier to protect the right of ownership of real estate registered in the public registry, especially since the right of ownership is one of the oldest rights protected by law and it is a person's desire for the state where he owns property to create such legislation that will allow the owner to own, use and dispose of his property without restriction according to his own will, as the conducted studies have shown in reality there were and are many obstacles, including problems caused by legislative gaps, in relation to the protection of these and certain intangible property rights.

This is while real estate and the right to own it have become the main locomotive of the development process of society since ancient times. In particular, it has never been in doubt that

¹ See Article 147 of the Civil Code of Georgia - <https://matsne.gov.ge/ka/document/view/31702?publication=138> (as of 01/04/2026);

² See *ibid.*, Article 149;

³ See *ibid.*, Article 152.

⁴ See Article 158, Part 1 of the Civil Code of Georgia - <https://matsne.gov.ge/ka/document/view/31702?publication=138> (as of 01/04/2026);

the collapse of the primitive communal society resulted in the transfer of real estate owned by the members of the community: land and water under the control of the leaders of this association (tribal and community leaders, military leaders, etc.), and since a large amount of free labor was required to cultivate the land that had become their property, once free community members gradually became slaves, and their ranks were also joined by warriors captured as a result of hostilities and peoples living in the conquered territory.⁵

And, after the slave-owning society exhausted itself and the issue of creating a new formation of society was put on the agenda, in this case too the factor of ownership of real estate played a decisive role,⁶ because it became such a powerful instrument in the hands of the new force that had entered the political arena - the feudal lords, which ensured the domination of the feudal lords over the serf peasants. And, with this, property not only lost its social nature,⁷ but for a long time at least, the basis for even the dream of real estate returning its social nature, like that of primitive society, disappeared. That is, it would equally satisfy the demands of representatives of different strata/classes.

The capitalist society, which was founded on the bourgeois revolutions in France and other countries, despite the fact that its leaders proclaimed the slogan: fraternity, liberty and equality, could not ensure the realization of this slogan, since the equal distribution of property, including real estate, was not implemented for everyone. Moreover, France, where the cradle of the bourgeois revolution was born, after the coming to power of Napoleon Bonaparte, itself became such a conqueror of neighboring states that it linked the prosperity of its country with the use of the territories of other states and, accordingly, their real estate for the benefit of France. However, this is also due to the fact that society was long in the captivity of the illusion that the market economy and the "invisible hand of the market" would regulate everything in this regard.^{8, 9, 10}

In this regard, the Soviet state did not have any real tangible successes, because despite the promises that land would be transferred to peasants and factories to workers, in reality, the right to ownership of land, as real estate, remained an unattainable dream for a Soviet citizen, because even a dwelling with a limited area, or even a homestead plot, was transferred to individuals for life use, not ownership.

After the collapse of the Soviet Union and the re-gaining of independence, namely since 1992, a number of reforms have been carried out in Georgia regarding real estate, however, unlike in old Georgia, where property had a more or less social significance, because according to Article 169 of the Law Book of Vakhtang VI, there was such property that, although it belonged to the state or the sovereign, could be used by any person, in particular, it states that "three things in the country are not in short supply for a man or a sovereign: water, firewood and grass".¹¹ The most tangible result of the reform at the initial stage was that Georgian citizens were given land plots for use only on the basis of an act of acceptance and delivery, although it is fair to say that this use

⁵ Baramidze G. The social nature of property at different stages of social development abroad and in Georgia, Journal "Spectri" Volume 11 No. 1 (2025) -

<https://journals.4science.ge/index.php/spectri/article/view/4576/4603>;

⁶ Chavchavadze I. Complete Collection of Works Volume VI. 1956. p. 120.

⁷ Baramidze G. "The Social Nature of Property at Different Stages of Social Development Abroad and in Georgia", Journal: "Spectri" Volume 11 No. 1 (2025) -

<https://journals.4science.ge/index.php/spectri/article/view/4576/4603>;

⁸ Adam Smith, An Inquiry into the Nature and Causes of the Wealth of Nations. Tbilisi. 1938. p. 7; p. 189.

⁹ Kharitonashvili J. Adam Smith, the founder of economic science -

<https://burusi.wordpress.com/2013/05/29/adam-smith-3/>;

¹⁰ Ulrich Huber, "On Conflicts of Laws in Different Empires" / Huber's Conflict of Laws -

<https://openyls.law.yale.edu/entities/publication/9a54706f-2fc6-46dc-9a33-22cacdae912b> - (as of 21/03/2026).

¹¹ Moniava P(h). Introduction to the General Part of the Civil Code of Georgia. Tbilisi. 2013. p.34.

differed from the use of the Soviet period in that the user could alienate the land plot transferred to him and/or dispose of it in another way.

Later, in accordance with the Decree of the President of Georgia #327 “On the Transfer of Land (Real Estate) into Ownership”, Georgia began issuing certificates of ownership for land plots previously transferred for use. Its legal basis was the provision of Article 1513¹² of the Civil Code of Georgia, according to which, from the date of entry into force of this Code, land plots in legal use of individuals on which individual houses are located are considered the property of these individuals and the rules provided for in the Civil Code for real estate apply to them. That is, as Article 1513 of the Civil Code of Georgia makes clear, a land plot transferred to a citizen of Georgia must there should be an object of ownership to which only the rules established for real estate by the Civil Code would apply.

This requirement of the law was actually fulfilled in Georgia until it came into force on January 1, 2000 and thereafter, as the General Administrative Code of Georgia and a number of other normative acts. The point is that, as the conducted research has shown, the regulations introduced by the General Administrative Code and other legislative acts (for example, the 1999 “Administrative Procedure Code of Georgia”,¹³ which entered into force on January 1, 2000, the Law of Georgia “On Licenses and Permits”,¹⁴ as well as the Law of Georgia “On State Property”,¹⁵ etc.), for example, based on the mandatory provision of Article 2.5 of the Administrative Procedure Code, except for cases provided for by the law of the court, prohibit the acceptance of a claim if the plaintiff, in accordance with the procedure established by the General Administrative Code of Georgia, does not use the possibility of submitting an administrative complaint once, and this regulation is also applied in the event that the administrative court considering the case subsequently, on the grounds that this dispute belongs to the civil category refuses to consider it.^{16, 17, 18, 19}

All this not only did not contribute to the resolution of existing problems, but in some cases, in fact, opposed each other, on the one hand, the interest of the land owner, as the main real estate owner, and, on the other hand, the interest of the administrative body in one right. Because there were many cases when real estate was registered as state property with a changed cadastral code against the will of the owner and the relevant administrative body refused not only to return it to the owner, but also deliberately delayed making a decision. As a result, the owner, on the one hand, was unable to file a lawsuit in court for a long time and/or refused to further protect his right due to the unlawful influence on him.

Accordingly, as confirmed by numerous examples obtained during the research process, the result was not a faster and more effective resolution of the issue in favor of the owner without resorting

¹² See Article 1513 of the Civil Code of Georgia -

<https://matsne.gov.ge/ka/document/view/31702?publication=138>;

¹³ Administrative Procedure Code of Georgia –

<https://matsne.gov.ge/document/view/16492?publication=109>;

¹⁴ Law of Georgia "On Licenses and Permits" –

<https://matsne.gov.ge/document/view/26824?publication=121>;

¹⁵ Law of Georgia "On State Property" – <https://matsne.gov.ge/document/view/112588?publication=62>;

¹⁶ The ruling of the Administrative Cases Board of the Tbilisi City Court of April 22, 2025 (case #3/2963-25) that entered into legal force;

¹⁷ The ruling of the Civil Cases Board of the Tbilisi City Court of April 23, 2025, which entered into legal force (case #2/11261-25);

¹⁸ The ruling of the Tbilisi Court of Appeal of May 20, 2025, which entered into legal force (case: #2B/2598-25);

¹⁹ The ruling of the Tbilisi Court of Appeal of January 10, 2025, which entered into legal force (case: #2b/2485-25);

to court, as the initiators of the creation of the General Administrative Code²⁰ and other normative acts in this way appealed to, but directly or indirectly, all this, together with the shortcomings in the legislation, made it difficult and/or in a number of cases impossible for the owner to exercise his property rights over the land in practice.

We have in mind even a case where a person's real estate was registered as state property with a changed cadastral code, against the owner's will, and the relevant administrative body refused to return it on the grounds of so-called surcharges. Moreover, administrative processes were deliberately delayed in this regard, and it was not uncommon for this real estate to be alienated, since it was practically impossible for a bona fide purchaser to return it.²¹

Thus, the above shows that in a number of cases, the owner's right to land, as an immovable property, actually turned into a fiction, because not infrequently, despite the existence of an existing official document (e.g., an act of acceptance and delivery), a person was still registered as the owner in the public registry, although it was either impossible to determine the location of his property,²² since the original cadastral code had been changed or it was attached to the borders of another plot, or through other types of manipulations: for example, because the plot was adjacent to another plot, the owner was not given the opportunity to actually use the property. Moreover, as mentioned above, the situation was complicated by the fact that the real estate was already the property of another person, where the owner was protected by the institution of a bona fide acquirer.

Appealing to the authorized administrative and law enforcement bodies was pointless because in many cases the representatives of the relevant administrative bodies themselves were the initiators of such actions.²³

As for the law enforcement bodies, they either did not react at all, or/and reacted to such cases with a long delay, because the relegation of the protection of individual rights to the background was declared part of the country's policy. In particular, this is evidenced by the "Criminal Law Code" approved by the Order of the Minister of Justice of Georgia No. 181²⁴ of October 8, 2010 General Part of the Policy Guidelines", which at that time turned the Prosecutor's Office of Georgia, which existed as a sub-departmental institution, into a body that was supposed to manage the investigation and criminal prosecution processes in such a way that they were financially as profitable as possible for the ruling power and at the expense of violating the rights of individuals, because on the grounds that the country allegedly did not have the appropriate financial resources to carry out criminal prosecution in all categories of cases, the prosecutor's direct obligation was declared to protect the interests of society, and not any individual.²⁵

In modern conditions, although much has been done to protect the rights of property owners, the current legislation is still characterized by a number of shortcomings and the changes made or fail to respond, for example, we have in mind - Decree of the Government of Georgia of May 25, 2015 # 1044 (titled: "On the Public Prosecutor's Office within the System of the Ministry of Economy and Sustainable Development of Georgia") "On measures to be implemented by the legal entity - the National Agency for State Property"),²⁶ which has placed the owners of intangible property

²⁰ Adeishvili Z., Winter G., Kitoshvili D. Commentary on the General Administrative Code of Georgia. Tbilisi. 2002. p.13.

²¹ Ruling of the Supreme Court of Georgia of December 28, 2022 #BS-942 (K20).

²² Ruling of the Supreme Court of Georgia of December 28, 2022 #BS-942 (K-20).

²³ See the same decision.

²⁴ See Order #181 of the Minister of Justice of Georgia of October 8, 2010 - <https://matsne.gov.ge/ka/document/view/1040547?publication=0>;

²⁵ Gakhokidze J., Gabisonia I., Mamniashvili M., Moniava P(h)., Investigative Law, Book One. Tbilisi. Publishing House "World of Lawyers." 2018. p. 227.

²⁶ See Decree of the Government of Georgia of May 25, 2015 # 1044 - <https://matsne.gov.ge/ka/document/view/2858361?publication=0>;

rights in an unequal position compared to the owners of immovable and/or movable property, and/or does not keep up with the demands of the times, and which is evidenced by the fact that the Order of the Minister of Justice of Georgia of October 8, 2010 N181²⁷ ("On Approval of the General Part of the Guidelines for Criminal Justice Policy"), despite the change of government (2012), for almost 14 years somehow remained a guiding document for law enforcement agencies and was only declared invalid on February 28, 2026 by Order of the Minister of Justice of Georgia N1186.²⁸ This is while the principle established by Order of the Minister of Justice #181 that, based on the financial situation of the country, the interests of society should be prioritized. The protection of the individual was in conflict with a number of laws, including the provision of Article 12.4 of the Criminal Procedure Code of Georgia, which, unlike the now invalid Order No. 181 of the Minister of Justice, states that the legitimate interests of an individual have priority over the public interest and that the protection of the legitimate interests of an individual in the criminal process serves the interests of society.

In addition to all of the above, it was not uncommon for the investigative bodies to be caught off guard from the very beginning in order to implement this clearly unlawful request of the Minister of Justice. In particular, in order to prevent criminal prosecution from becoming necessary, investigators in individual cases did not fulfill their direct duty to immediately initiate an investigation upon receiving information about a crime.

Unfortunately, in individual cases, in cases involving infringement of property rights, and where the person is even known to be the victim,²⁹ the final decision is delayed for years (which continues to this day), which is why the owners of real estate and intangible property, especially licenses and/or permits, are the ones who suffer, as is evidenced by numerous examples presented in this work.

Accordingly, the rights of the owners of movable property, i.e., the owners of individual intangible property, are less protected in Georgian reality. This circumstance has become one of the factors for the creation of this work. Moreover, a number of legislative acts require further refinement in this regard, including the Civil Code of Georgia, which, together with the above, is evidenced by the fact that if two movable properties become essential components of a single property, or movable properties merge with each other, the co-owners of this new property, in accordance with Article 194.1³⁰ of the Civil Code of Georgia, become owners in the new property with proportional rights to their share. The owners of real estate, however, were and are deprived of this opportunity from the very beginning, because the Georgian Civil Code does not yet recognize the norm regulating ownership of the thing resulting from the merger of two real estates, and considering the current reality, the owner of the land plot remains virtually unprotected. For example: in the city of Tbilisi, a private person is registered in the public registry as the owner of the bottom of one of the lakes, the area of which is approximately 15 hectares, while the other real estate located on it - water, which belongs to the category of minerals - has another owner in the form of the state.³¹ Accordingly, the owner of the real estate, i.e. the land on which this lake is located, is deprived of the opportunity not only to dispose of the property, but also to receive any benefit from his real estate. Similarly, if other types of minerals are found in the land plot

²⁷ See Order #181 of the Minister of Justice of Georgia of October 8, 2010 - <https://matsne.gov.ge/document/view/1040547?publication=0>;

²⁸ See Order No. 1186 of the Minister of Justice of Georgia of February 28, 2026 - <https://matsne.gov.ge/ka/document/view/6789636?publication=0>;

²⁹ Resolution of the Chief Prosecutor's Office of Georgia dated March 20, 2018 on recognition of the victim in criminal case No. 006220113003;

³⁰ See Part 1 of Article 194 of the Civil Code of Georgia - <https://matsne.gov.ge/ka/document/view/31702?publication=138>;

³¹ See the Law of Georgia on Subsoil and Part 1 of Article 2 of the same law - <https://matsne.gov.ge/ka/document/view/33040?publication=22>;

owned by a private person, e.g. oil, mineral fertilizer, etc., they it is the property of the state unconditionally, that is, without any compensation and/or benefit.

It is in a relatively better position, although the rights of the finder of treasure in his own yard are not properly protected, because if a treasure is found, that is, an object that has been hidden for so long that it is impossible to determine its owner, then according to Article 192³² of the Civil Code, the ownership is transferred in half to the finder and the owner in whose item the treasure was found. Which, to put it all aside, contradicts Georgian traditions, because as the content of Article 165³³ of the Law Book of Vakhtang VI makes clear, one of the grounds for the origin of ownership in Georgia was the finding of a treasure. Moreover, in the event of finding a treasure in a purchased estate or a country house, no one could transfer the right to it to the owner if he had already paid money for the purchase of the estate or country house.³⁴

Similarly, the gaps in the legislation, namely the fact that according to Article 170.1³⁵ of the Civil Code of Georgia, the owner may freely own and use only property that belongs to the category of things, within the framework of legal or other, in particular contractual, bindings, as well as the definition of Article 498.1³⁶ of the same Code that the rules governing the purchase of a thing are applied accordingly to a right or other purchase, that is, only in cases where an intangible property asset is purchased for a fee, have presented a number of serious problems in the protection of this type of rights. In particular, the trend continues to this day that the rights of owners of certain intangible property, who have a license and/or permit on a legal basis, in accordance with the procedure established by the Law of Georgia "On Licenses and Permits", are less protected than those of owners of immovable and movable property. For example, back in 2006, LLC "BA" purchased an intangible property asset at an auction for approximately 200,000 GEL: a license/right^{37,38} to extract fresh water and supply it to the population. However, a few years after the purchase, this license, the state as a result of the illegal actions of officials, it was transferred first to one LLC established by the state, and then to another LLC free of charge. Later, namely in 2013, despite the fact that the court declared this agreement on the alleged gift of the license invalid as an illegal transaction,³⁹ the administrative body that sold the right to extract water at auction and, according to Article 498.2⁴⁰ of the Civil Code, is obliged to submit to the court, together with the original and constitutional owner of the license, justification for the validity of this right, is still fighting to prevent the property from being returned to the true owner, that is, both the license itself and the amount paid for it. In court, this dispute is still ongoing and the prospect of its consideration in a short time (when 13 years have already passed since 2013) is not visible on the horizon.

³² See Article 192 of the Civil Code of Georgia -

<https://matsne.gov.ge/ka/document/view/31702?publication=138;>

³³ See Vakhtang VI Collection of Law Books (Law of King Vakhtang), p. 229 -

https://dspace.nplg.gov.ge/bitstream/1234/409460/1/Samartali_Vaxtang_Meeqvsisa_1981.pdf (as of 21/03/2026);

³⁴ See Moniava P(h). Introduction to the General Part of the Civil Code of Georgia. Tbilisi. 2013. p. 34.

³⁵ See Article 170 of the Civil Code of Georgia -

<https://matsne.gov.ge/ka/document/view/31702?publication=138;>

³⁶ See *ibid.*, Article 498;

³⁷ See Order #102 of the Minister of Environmental Protection and Natural Resources of Georgia dated 15/02/2006;

³⁸ License certificate N00035 dated May 4, 2006 issued by the Ministry of Environmental Protection and Natural Resources of Georgia;

³⁹ See the legally effective decision of the Civil Cases Board of the Tbilisi City Court of November 28, 2013 (case No. 2/2155-13);

⁴⁰ See Article 498.2 of the Civil Code of Georgia -

<https://matsne.gov.ge/ka/document/view/31702?publication=138;>

Just as the investigation launched in this case is being incredibly delayed, and this is happening in the conditions when “B-A” was recognized as a victim back in March 2018. Meanwhile, representatives of the investigative body announced to the public in a television program that it turns out that “B-A” has already had its illegally seized license returned to it, as well as that they have identified the public officials involved in this criminal act and that they would complete the investigation in the near future.⁴¹

However, despite the passage of a long time and numerous promises, this company has not had its license returned, and neither the criminal case under investigation nor the administrative case in court has been completed to date.

Accordingly, the infringement of the rights of “BA” as the legitimate owner continues to this day. Moreover, the company was unable to benefit from the Decree of the Government of Georgia of May 25, 2015 N1044⁴² (“On the measures to be implemented by the National Agency for State Property, a legal entity under public law within the system of the Ministry of Economy and Sustainable Development of Georgia”), because this decree only allowed the return of real estate and movable property, and at the same time, for a symbolic amount, which were forcibly taken from the owners under the previous government. The Decree of the Government of Georgia of May 25, 2015 N1044, as already mentioned above, despite the fact that it clearly places the owners of intangible property benefits/rights in an unequal position compared to the owners of real estate and/or movable property and contradicts both the Constitution of Georgia and a number of national and international legal acts that are still in force and have not been changed.⁴³

There are many similar examples and this vicious trend of the past, unfortunately, in a number of cases, continues to this day. And, with a few exceptions, we almost never come across a special scientific work that would analyze, along with a number of subjective factors, which specific shortcomings in legislative acts determine the circumstances that hinder the exercise of ownership rights to real estate and certain intangible property benefits. We decided to present this special work at the conference in this regard.

Legislative acts /and/or other acts/resolutions, used literature and judicial practice:

Constitution of Georgia;

Civil Code of Georgia;

Administrative Procedure Code of Georgia;

Law of Georgia "On Licenses and Permits";

Law of Georgia "On State Property";

Law of Georgia "On Mineral Resources";

Law of Georgia "On Licenses and Permits";

Resolution of the Chief Prosecutor's Office of Georgia dated March 20, 2018 on recognition of the victim in criminal case No. 006220113003;

Order #102 of the Minister of Environmental Protection and Natural Resources of Georgia dated February 15, 2006;

License Certificate No. 00035 of the Ministry of Environmental Protection and Natural Resources of Georgia dated May 4, 2006;

⁴¹ Criminal case No. 006220113003 pending at the Prosecutor's Office of Georgia;

⁴² See Decree of the Government of Georgia No. 1044 of May 25, 2015 - <https://matsne.gov.ge/ka/document/view/2858361?publication=0>;

⁴³ Moniava P (T)., The social nature of property, its content, the criteria established by the precedent decisions of the European Court of Human Rights on the protection of property and the reality in Georgia in this regard. Journal: "Spectrum" No. 4, 2021, Tbilisi. p. 28.

Order #181 of the Minister of Justice of Georgia dated October 8, 2010 - <https://matsne.gov.ge/ka/document/view/1040547?publication=0>;

Decree of the Government of Georgia of May 25, 2015 # 1044 - <https://matsne.gov.ge/ka/document/view/2858361?publication=0>;

Decree of the Minister of Justice of Georgia of February 28, 2026 N181 - <https://matsne.gov.ge/ka/document/view/6789636?publication=0>;

Collection of Law Books of Vakhtang VI (Law of King Vakhtang);

Chavchavadze I. Complete Collection of Works Volume VI. 1956;

Moniava P. (T). Introduction to the General Part of the Civil Code of Georgia. Tbilisi. 2013;

Moniava P. (T)., The Social Nature of Property, Its Content, Criteria Established by the Precedents of the European Court of Human Rights on the Protection of Property and the Reality in Georgia in This Respect. Magazine: "Spectrum" N4, 2021, Tbilisi;

89-11 83.

Gakhokidze J., Gabisonia I., Mamniashvili M., Moniava P(h)., Investigative Law, Book One. Tbilisi. Publishing House "World of Lawyers." 2018;

Adeishvili Z., Winter G., Kitoshvili D. Commentary on the General Administrative Code of Georgia. Tbilisi. 2002;

Adam Smith, An Inquiry into the Nature and Causes of the Wealth of Nations. Tbilisi. 1938;

Kharitonashvili J. Adam Smith, Founder of Economic Science - [https://burusi.wordpress.com/2013/05/29/adam-smith-3/\(as of 21/03/2026\)](https://burusi.wordpress.com/2013/05/29/adam-smith-3/(as%20of%2021/03/2026));

Baramidze G. The Social Nature of Property at Different Stages of Social Development Abroad and in Georgia, Journal "Spectri" Volume 11 No. 1 (2025) - <https://journals.4science.ge/index.php/spectri/article/view/4576/4603>;

Ulrich Huber, "On Conflicts of Laws in Different Empires" / Huber's Conflict of Laws - <https://openyls.law.yale.edu/entities/publication/9a54706f-2fc6-46dc-9a33-22cacdae912b> (as of 21/03/2026);

The ruling of the Administrative Cases Board of the Tbilisi City Court of April 22, 2025, which entered into legal force (case #3/2963-25);

The ruling of the Civil Cases Board of the Tbilisi City Court of April 23, 2025, which entered into legal force (case #2/11261-25);

The ruling of the Tbilisi Court of Appeal of May 20, 2025, which entered into legal force (case: #2B/2598-25);

The ruling of the Tbilisi Court of Appeal of January 10, 2025, which entered into legal force (case: #2B/2485-25); The ruling of the Supreme Court of Georgia of December 28, 2022, #BS-942 (K20).

Technical Sciences

LOGİSTİKA ƏMƏLİYYATLARININ OPTİMALLAŞDIRILMASINDA PROQNOZLAŞDIRICI ANALİTİKA METODLARININ TƏTBİQİ

Cavadov Murad Nazim

Azərbaycan Dövlət İqtisad Universiteti, magistr

Xülasə

Bu məqalə logistika əməliyyatlarının optimallaşdırılmasında proqnozlaşdırıcı analitika metodlarının tətbiqini araşdırır. Müasir rəqəmsal dönüşüm dövründə süni intellekt, maşın öyrənməsi və böyük verilənlər texnologiyaları logistika sahəsini kökündən dəyişdirir. Tədqiqatda tələb proqnozlaşdırması, marşrut optimallaşdırması, anbar idarəetməsi və risk menecmenti kimi əsas sahələrdə proqnozlaşdırıcı analitikanın tətbiq metodları ətraflı şərh edilir. Müəssisələrin praktiki nümunələri əsasında effektivlik göstəriciləri təhlil edilir.

Açar sözlər: *proqnozlaşdırıcı analitika, logistika optimallaşdırması, maşın öyrənməsi, tələb proqnozu, anbar idarəetməsi, süni intellekt*

1. Giriş

Müasir biznes mühitində logistika şirkətlər üçün rəqabət üstünlüyünün əsas mənbəyinə çevrilmişdir. Qloballaşma, istehlakçı tələblərinin artması və təchizat zəncirlərinin mürəkkəbləşməsi logistika sahəsində əməliyyat səmərəliliyinin yüksəldilməsini zəruri etmişdir. Bu kontekstdə proqnozlaşdırıcı analitika metodları logistika proseslərinin optimallaşdırılmasında güclü bir vasitəyə çevrilir.

Proqnozlaşdırıcı analitika tarixi verilənlər, statistik modelləşdirmə, maşın öyrənməsi alqoritmləri və süni intellektin birləşməsi əsasında gələcək hadisə və tendensiyları müəyyənləşdirmək imkanı verir. Dünya üzrə aparıcı logistika şirkətlərinin təcrübəsi göstərir ki, bu metodların tətbiqi həm xərclər, həm də müştəri məmnuniyyəti baxımından əhəmiyyətli irəliləyişlər təmin edir.

Tədqiqatın əsas məqsədi proqnozlaşdırıcı analitika metodlarının logistika proseslərinin müxtəlif sahələrindəki tətbiq imkanlarını araşdırmaq, üstünlüklərini və məhdudiyyətlərini müəyyənləşdirmək, həmçinin uğurlu tətbiq strategiyaları üçün tövsiyələr hazırlamaqdır.

2. Nəzəri Çərçivə

2.1. Proqnozlaşdırıcı Analitikanın Konseptual Əsasları

Proqnozlaşdırıcı analitika geniş məlumat toplularını emal edərək müəyyən nəticə ehtimallarını hesablayan analitik texnologiyalar toplusudur. Bu sahə üç əsas komponentdən ibarətdir: tarixi verilənlərin analizi, statistik modelləşdirmə və gələcək tendensiyların proqnozlaşdırılması.

Logistika sahəsindəki tətbiqlər baxımından proqnozlaşdırıcı analitika aşağıdakı texnologiyaları əhatə edir:

- maşın öyrənməsi alqoritmləri (Random Forest, Gradient Boosting, Dərin Öyrənmə);
- zaman sıraları analizi (ARIMA, SARIMA, Prophet modeli);

- neyron şəbəkələri və dərin öyrənmə arxitekturaları;
- optimallaşdırma alqoritmləri (genetik alqoritmlər, simulyasiya);
- böyük verilənlər texnologiyaları (Apache Spark, Hadoop ekosistemi).

2.2. Logistika Əməliyyatlarının Xarakteristikası

Logistika sistemlərinin mürəkkəb dinamikası onu proqnozlaşdırıcı analitika üçün xüsusilə uyğun sahəyə çevirir. Logistika proseslərinin əsas xüsusiyyətləri arasında mövsümlilik, çoxfaktorlu asılılıqlar, real vaxt rejiminə ehtiyac və böyük həcmli verilənlər mübadiləsi xüsusilə qeyd olunmalıdır.

McKinsey & Company-nin 2024-cü il hesabatına görə, proqnozlaşdırıcı analitikanı uğurla tətbiq etmiş logistika şirkətlərinin 73%-i əməliyyat xərclərini azaltmağa, 68%-i isə müştəri məmnuniyyətini yüksəltməyə nail olmuşdur.

2.3. Proqnoz əsaslı planlaşdırmanın çevikliyə təsiri

Proqnozlaşdırıcı analitika logistika resurslarının optimal paylanmasına şərait yaradır. Əldə olunan məlumatlar əsasında nəqliyyat vasitələrinin, anbar sahələrinin və işçi qüvvəsinin yüklənmə səviyyəsi əvvəlcədən planlaşdırılır. Bu isə resursların ya həddindən artıq yüklənməsinin, ya da boş qalmasının qarşısını alır. Nəticədə, əməliyyat səmərəliliyi artır və sistem daxilində tarazlıq təmin olunur.

Ənənəvi planlaşdırma yanaşmalarında qərarlar uzunmüddətli və dəyişməz xarakter daşıyırdı. Lakin proqnozlaşdırıcı analitika tətbiq edildikdə planlaşdırma daha çevik və adaptiv olur. Yeni məlumatların daxil olması ilə planlar yenilənir və logistika sistemi dəyişən şərtlərə uyğunlaşır. Bu çeviklik xüsusilə qeyri-sabit bazar şəraitində müəssisələr üçün mühüm üstünlük yaradır.

Proqnozlaşdırıcı analitika tətbiq edildikdən sonra logistika sistemində əldə olunan nəticələr davamlı şəkildə təhlil edilir. Proqnoz və faktiki nəticələr arasında fərqlər analiz olunaraq modellər təkmilləşdirilir. Bu iterativ proses nəticəsində sistem zaman keçdikcə daha dəqiq və effektiv fəaliyyət göstərir. Beləliklə, optimallaşdırma bir dəfəlik deyil, davamlı inkişaf edən prosesə çevrilir.

2.4. Müqayisəli Səmərəlilik Göstəriciləri

Cədvəl 1-də logistika proseslərinin müxtəlif sahələrində proqnozlaşdırıcı analitikanın tətbiqinin müqayisəli göstəriciləri təqdim edilir.

Tətbiq Sahəsi	Xərc Azalması	Dəqiqlik Artımı	ROI (%)
Tələb Proqnozu	15–25%	+30%	180–250%
Marşrut Optimallaşdırması	10–20%	+25%	150–200%
Anbar İdarəetməsi	20–35%	+40%	200–300%
Texniki Xidmət	25–45%	+50%	250–400%
Risk Menecmenti	10–30%	+35%	130–220%

Cədvəl 1. Logistikada proqnozlaşdırıcı analitikanın tətbiq göstəriciləri (2023–2024)

2.5. Rəqəmsal Transformasiya və Logistika

Rəqəmsal transformasiya logistika sahəsində proqnozlaşdırıcı analitikanın tətbiqini sürətləndirən əsas amillərdən biridir. Xüsusilə aşağıdakı texnologiyalar bu prosesə ciddi təsir göstərir:

- IoT (Internet of Things) – real vaxt məlumat axını yaradır.
- Bulud texnologiyaları – böyük verilənlərin saxlanması və emalı.
- Blockchain – təchizat zəncirində şəffaflıq.
- AI və ML – qərarların avtomatlaşdırılması.

Bu texnologiyaların integrasiyası nəticəsində logistika sistemləri daha çevik və adaptiv olur.

2.6. Yük axınlarının proqnozlaşdırılması və optimallaşdırılması

Logistika sistemlərində yük axınlarının intensivliyi zamanla dəyişir və bu dəyişikliklər əməliyyat planlaşdırılmasına birbaşa təsir göstərir. Proqnozlaşdırıcı analitika vasitəsilə yük axınlarının gələcək dinamikası müəyyən edilir və bu məlumatlar əsasında nəqliyyat və anbar resurslarının bölgüsü həyata keçirilir. Bu yanaşma həm sıxlıq yaranan dövrlərdə tıxacların qarşısını alır, həm də aşağı yüklənmə dövrlərində resursların səmərəsiz istifadəsini azaldır.

Logistika əməliyyatlarında gözlənilməz dəyişikliklər əlavə xərclərə və gecikmələrə səbəb ola bilər. Proqnozlaşdırıcı analitika bu dəyişikliklərin əvvəlcədən müəyyən edilməsinə və onların təsirinin azaldılmasına imkan verir. Bu isə əməliyyat sabitliyinin qorunmasına kömək edir.

Proqnozlaşdırıcı modellərin tətbiqi çatdırılma proseslərinin etibarlılığını artırır. Əvvəlcədən aparılan təhlillər vasitəsilə gecikmə riskləri və potensial problemlər aşkar edilir. Bu məlumatlar əsasında alternativ planlar hazırlanır və çatdırılma prosesində fasilələrin qarşısı alınır. Nəticədə, müştərilərə göstərilən xidmət daha stabil və etibarlı olur.

3. Əsas Tətbiq Sahələri

3.1. Tələb Proqnozlaşdırması

Tələb proqnozlaşdırması logistikada proqnozlaşdırıcı analitikanın ən geniş yayılmış tətbiq sahəsidir. Məhsullara olan tələbin dəqiq proqnozlaşdırılması anbar ehtiyatlarının optimallaşdırılmasına, artıq ehtiyatların azaldılmasına və müştəri sifarişlərinin vaxtında yerinə yetirilməsinə birbaşa təsir göstərir.

Amazon kimi dünya liderləri tələb proqnozlaşdırmasında dərin öyrənmə modellərindən istifadə edir. Şirkətin xüsusi Anticipatory Shipping texnologiyası məhsulları müştəri sifarişindən əvvəl ən yaxın anbar mərkəzinə göndərməyə imkan verir. Bu yanaşma çatdırılma müddətini 40%-ə qədər azaldır.

3.1.1. Mövsüm Amillərinin Modelləşdirilməsi

Tələb proqnozlaşdırmasında mövsüm amillərinin dəqiq modelləşdirilməsi xüsusi əhəmiyyət daşıyır. Bayramlar, mövsümi dəyişikliklər, iqtisadi tsikllər kimi xarici amillər tələb strukturunu əhəmiyyətli dərəcədə dəyişdirə bilər. SARIMA (Seasonal ARIMA) modeli bu faktorları nəzərə almaqla daha dəqiq proqnozlar təmin edir.

3.2. Marşrut Optimallaşdırması

Nəqliyyat marşrutlarının optimallaşdırılması logistika xərclərinin azaldılmasında mühüm rol oynayır. Klassik Dövriyyə Satıcı Problemi (TSP) NP-çətin məsələ olsa da, müasir evristik alqoritmlər və maşın öyrənməsi metodları böyük miqyaslı real problemlər üçün effektiv həllər təklif edir.

UPS şirkətinin ORION (On-Road Integrated Optimization and Navigation) sistemi gündəlik 55 000-dən çox sürücünün marşrutunu real vaxt rejimində optimallaşdırır. Bu sistem illik yüz milyonlarla mil marşrutu optimallaşdıraraq 400 milyon dollar xərc qənaəti təmin edir.

3.2.1. Dinamik Marşrutlaşdırma

Dinamik marşrutlaşdırma sistemləri real vaxt trafik məlumatları, hava şəraiti, sürücü statusu və müştəri tələbləri kimi dəyişkən faktorları nəzərə alaraq marşrutu canlı olaraq yeniləyir. Bu yanaşma statik marşrutlaşdırma ilə müqayisədə orta hesabla 15–25% yanacaq qənaəti və çatdırılma müddətinin 20% azalması ilə nəticələnir.

3.3. Anbar İdarəetməsinin Optimallaşdırılması

Müasir anbar sistemləri proqnozlaşdırıcı analitika ilə birlikdə avtomatlaşdırılmış robotik sistemlər, IoT sensorları və RFID texnologiyalarını integrasiya edərək intellektual anbar idarəetmə sistemlərini (WMS) formalaşdırır.

Proqnozlaşdırıcı analitikanın anbar idarəetməsindəki əsas tətbiq istiqamətləri:

- ehtiyat optimizasiyası: tələb proqnozuna əsasən optimal sifariş nöqtələrinin müəyyənləşdirilməsi;
- məhsul yerləşdirmə: populyarlıq əsasında məhsulların ən əlverişli yerdə saxlanması;
- işçi planlaması: yük həcmi proqnozuna əsasən optimal işçi qüvvəsinin planlaşdırılması;

- texniki avadanlıq monitorinqi: nasazlıqların öncədən aşkarlanması.

3.4. Risklərin Proqnozlaşdırılması və İdarə Edilməsi

Logistika proseslərində risklərin əvvəlcədən müəyyən edilməsi əməliyyat davamlılığı üçün kritik əhəmiyyət daşıyır. Əsas risk növləri:

- Təchizat gecikmələri;
- Nəqliyyat qəzaları;
- Gömrük problemləri;
- Tələb dəyişkənliyi.

Proqnozlaşdırıcı modellər bu riskləri əvvəlcədən müəyyən edərək alternativ planlar qurmağa imkan verir.

3.5. Müştəri Davranışlarının Analizi

Proqnozlaşdırıcı analitika yalnız əməliyyatlara deyil, həm də müştəri davranışına tətbiq edilir. İstifadə sahələri:

- Fərdi təkliflər (personalization);
- Sifariş tezliyinin proqnozu;
- Müştəri itkisi (churn) analizi.

Bu yanaşma logistika şirkətlərinə müştəri yönümlü strategiyalar qurmağa kömək edir.

4. Metodoloji Yanaşmalar

4.1. Verilənlərin Toplanması və Emalı

Logistika sistemlərindəki proqnozlaşdırıcı analitikanın uğuru əsasən keyfiyyətli verilənlərə bağlıdır. Verilənlər müxtəlif mənbələrdən toplanır: ERP sistemləri, müştəri sifariş tarixi, GPS izləmə sistemləri, hava proqnozları, iqtisadi göstəricilər və sosial media məlumatları.

Verilənlərin emalı prosesi aşağıdakı mərhələləri əhatə edir:

- verilənlərin təmizlənməsi: dublikatların, boş dəyərlərin və anomaliyaların aradan qaldırılması;
- xüsusiyyətlərin mühəndisliyi: xam verilənlərdən model üçün əhəmiyyətli atributların yaradılması;
- normalizasiya: müxtəlif miqyaslı verilənlərin standartlaşdırılması;
- verilənlərin bölünməsi: öyrənmə, validasiya və test dəstlərinin formalaşdırılması.

4.2. Model Seçimi və Qiymətləndirilməsi

Logistika sahəsindəki proqnozlaşdırıcı analitika üçün model seçimi problemin xarakterindən asılıdır. Tələb proqnozlaşdırması üçün zaman sırası modelləri (ARIMA, Prophet), məsafə optimallaşdırması üçün gücləndirmə öyrənməsi, anomaliya aşkarlama üçün isə izolyasiya meşəsi (Isolation Forest) kimi alqoritmlər geniş istifadə edilir.

Model qiymətləndirilməsinin əsas göstəriciləri: MAE (Orta Mütləq Xəta), RMSE (Kök Orta Kvadratik Xəta), MAPE (Orta Mütləq Faiz Xətası) və R^2 (Determinasiya əmsalı).

4.3. Süni İntellekt Modellərinin Müqayisəsi

Model	Üstünlüklər	Çatışmazlıqlar
Random Forest	Yüksək dəqiqlik	Hesablama ağırdır
ARIMA	Sadə və interpretasiya edilə bilən	Kompleks verilənlərdə zəifdir
Neural Networks	Dərin öyrənmə imkanı	Böyük data tələb edir
XGBoost	Yüksək performans	Parametr tənzimlənməsi çətindir

Cədvəl 2. Süni İntellekt Modellərinin Müqayisəsi

4.4. Metodoloji Dərinləşdirmə

Proqnozlaşdırıcı analitika modellərinin logistika sistemlərinə tətbiqi zamanı model seçimi və qiymətləndirilməsi xüsusi əhəmiyyət kəsb edir. Modellərin effektivliyi yalnız proqnoz dəqiqliyi

ilə deyil, həm də qərarverməyə təsiri ilə ölçülməlidir. Bu baxımdan, tədqiqatlarda tez-tez “forecast accuracy vs decision impact” dilemması qeyd olunur. Yəni, daha dəqiq model həmişə daha optimal əməliyyat nəticəsi verməyə bilər. Bu səbəbdən logistika sistemlərində proqnozlaşdırıcı modellər aşağıdakı kriteriyalar üzrə qiymətləndirilir:

- Proqnoz səhvi (forecast error)
- Hesablama mürəkkəbliyi
- Real-time tətbiq imkanı
- Interpretasiya olunma səviyyəsi

4.5. Proqnozlaşdırma Səhvləri və Ölçü Metrikləri

Proqnozlaşdırıcı modellərin qiymətləndirilməsi üçün aşağıdakı metriklər geniş istifadə olunur:

1. MAE (Mean Absolute Error) - Modelin orta mütləq səhvini ölçür və interpretasiyası sadədir.
2. RMSE (Root Mean Square Error) - Böyük səhvlərə daha çox “cəza” verir və logistika risklərinin qiymətləndirilməsində daha effektivdir.
3. MAPE (Mean Absolute Percentage Error) - Faiz şəklində səhv ölçür və biznes qərarlarında daha intuitivdir.

Bu metriklərin seçimi tətbiq sahəsindən asılıdır. Məsələn, yüksək riskli təchizat zəncirlərində RMSE daha üstün hesab edilir, çünki böyük sapmalar kritik nəticələrə səbəb ola bilər.

4.6. Böyük Verilənlərin Rolu

Big Data logistika sistemlərində qərarların keyfiyyətini artırır. Əsas xüsusiyyətlər (5V):

- Volume (Həcm)
- Velocity (Sürət)
- Variety (Müxtəliflik)
- Veracity (Dəqiqlik)
- Value (Dəyər)

5. Tətbiq Çətinlikləri və Məhdudiyyətlər

5.1. Texniki Məhdudiyyətlər

Verilənlərin keyfiyyəti proqnozlaşdırıcı analitikanın effektivliyini birbaşa müəyyənləşdirir. Logistika şirkətlərinin çoxu köhnəmiş IT infrastrukturundan istifadə edir ki, bu da müxtəlif sistemlər arasında verilənlər integrasiyasını çətinləşdirir. Legacy sistemlər ilə müasir analitik platformalar arasında uyğunluq problemləri tez-tez qarşılaşılacaq çətinlikdir.

Bundan əlavə, real vaxt rejiminin tələbatı logistika sahəsindəki analitik sistemlər üçün yüksək hesablama gücü tələb edir. Böyük həcmli verilənlərin milisaniyələr ərzində emal edilməsi bulud hesablama texnologiyalarına investisiyanı zəruri edir.

5.2. İnsan Amili

Texnologiyanın tətbiqindən çox vaxt böyük maneə işçilərin proqnoz nəticələrinə inam problemidir. Logistika menecerləri köklü qərar qəbulunu özünün ixtisas sahəsi kimi qəbul edir və süni intellekt tövsiyələrini həmişə qəbul etmir. Bu problemi həll etmək üçün şəffaf, izahlı süni intellekt (Explainable AI) modellərinin istifadəsi tövsiyə edilir.

5.3. Məlumatların yenilənməsi və aktuallıq problemi

Proqnozlaşdırıcı analitikanın effektivliyi istifadə olunan məlumatların aktuallığından birbaşa asılıdır. Köhnəmiş məlumatlar əsasında qurulan modellər real vəziyyəti düzgün əks etdirmir və optimallaşdırma nəticələrinə mənfi təsir göstərir. Buna görə də, logistika sistemlərində məlumatların mütəmadi yenilənməsi və modellərin aktual saxlanması vacib şərtlərdən biridir.

5.4. Analitik nəticələrin tətbiqində uyğunluq problemi

Proqnozlaşdırıcı modellər tərəfindən əldə edilən nəticələrin praktik tətbiqi hər zaman birbaşa mümkün olmur. Logistika sisteminin mövcud strukturu və texniki imkanları bu nəticələrin

tətbiqinə təsir göstərir. Buna görə də analitik nəticələr sistemin real imkanları ilə uyğunlaşdırılmalı və mərhələli şəkildə tətbiq olunmalıdır.

6. Uğurlu Tətbiq Nümunələri

6.1. DHL Supply Chain

DHL şirkəti proqnozlaşdırıcı analitika əsasında intellektual anbar idarəetmə sistemini tətbiq edərək sifariş dəqiqliyini 99.9%-ə çatdırmışdır. Şirkətin MySupplyChain platforması 500-dən çox göstəricini real vaxt rejimində izləyir və anomaliyaları avtomatik olaraq aşkarlayır.

6.2. Walmart-ın Yük Daşıma Optimizasiyası

Walmart öz nəqliyyat şəbəkəsini optimallaşdırmaq üçün maşın öyrənməsi alqoritmlərini tətbiq etmişdir. Nəticədə yük maşınlarının boş işləmə nisbəti 65%-dən 2%-ə düşmüş, bu da illik 200 milyon dollar qənaət kimi qiymətləndirilir.

6.3. Azərbaycanda Tətbiq Perspektivləri

Azərbaycan Respublikasının Rəqəmsal İnkişaf konsepsiyası çərçivəsində logistika sahəsinin rəqəmsallaşdırılması strateji prioritet kimi müəyyənləşdirilmişdir. SOCAR Logistics, Azərbaycandakı multimodal nəqliyyat dəhlizlərinin idarəetməsi, Bakı Beynəlxalq Dəniz Ticarət Limanının logistika əməliyyatları proqnozlaşdırıcı analitika tətbiqi üçün əlverişli platformalar təşkil edir.

Orta Dəhliz (Xəzər-Transxəzər Beynəlxalq Nəqliyyat Marşrutu) üzrə yük axınlarının proqnozlaşdırılması Azərbaycanın tranzit logistika potensialını artırmaq baxımından strateji əhəmiyyət daşıyır.

6.4. Amazon və AI Logistika Strategiyası

Amazon-un istifadə etdiyi sistemlər:

1. Demand Forecasting AI
2. Warehouse Robotics
3. Predictive Shipping

Bu sistemlər çatdırılma müddətini azaldır, xərcləri optimallaşdırır və müştəri məmuniyyətini artırır.

6.5. Digər Tətbiq Nümunələri

Logistika əməliyyatlarının optimallaşdırılmasında proqnozlaşdırıcı analitikanın digər mühüm tətbiq sahəsi nəqliyyat və marşrut planlaşdırılmasıdır. Proqnozlaşdırıcı modellər vasitəsilə nəqliyyat axınları, trafik sıxlığı və çatdırılma müddətləri əvvəlcədən qiymətləndirilir. Bu məlumatlar əsasında optimal marşrutlar müəyyən edilir və nəqliyyat xərcləri minimuma endirilir. Nəticədə, çatdırılma müddətləri qısalar və xidmət keyfiyyəti yüksəlir.

Proqnozlaşdırıcı analitika metodlarının tətbiqi həmçinin logistika risklərinin azaldılmasına xidmət edir. Təchizat gecikmələri, nəqliyyat problemləri və digər əməliyyat riskləri əvvəlcədən proqnozlaşdırılaraq onların təsiri minimuma endirilir. Bu isə təchizat zəncirinin davamlılığını və etibarlılığını artırır.

Logistika əməliyyatlarının optimallaşdırılmasında proqnozlaşdırıcı analitikanın effektiv tətbiqi üçün məlumatların keyfiyyəti və modellərin düzgün seçilməsi xüsusi əhəmiyyət daşıyır. Dəqiq və aktual məlumatlar olmadan proqnozların etibarlılığı azalır və optimallaşdırma qərarları yanlış ola bilər. Buna görə də, məlumatların idarə olunması və analitik modellərin davamlı təkmilləşdirilməsi bu prosesin ayrılmaz hissəsidir.

7. Təvsiyələr

Logistika şirkətlərinin proqnozlaşdırıcı analitikanı uğurla tətbiq etmələri üçün aşağıdakı strategik təvsiyələr irəli sürülür:

- pilot layihə yanaşması: böyük miqyaslı tətbiq öncəsi kiçik test proyektləri həyata keçirmək;
- verilənlər idarəetməsi: mərkəzləşdirilmiş verilənlər anbarı (Data Warehouse) yaratmaq;

- insanlar-texnologiya balansı: analitik sistemlərin qərar dəstəyini tamamlamasını, əvəzləməsini deyil, təmin etmək;
- davamlı öyrənmə: modelin yeni verilənlər daxil olduqca daima yenilənməsini təmin etmək;
- kibertəhlükəsizlik: böyük verilənlər sistemlərinin qorunması üçün güclü təhlükəsizlik arxitekturası qurmaq;
- işçilərin hazırlığı: data analitika savadlılığını bütün səviyyələrdə artırmaq.

8. Nəticə

Proqnozlaşdırıcı analitika metodları logistika proseslərinin optimallaşdırılmasında transformasiyaedici rol oynayır. Tələb proqnozundan marşrut optimallaşdırmasına, anbar idarəetməsindən risk menecmentinə qədər bu metodların tətbiqi şirkətlərə əhəmiyyətli rəqabət üstünlükləri təmin edir.

Dünya üzrə aparıcı logistika şirkətlərinin təcrübəsi göstərir ki, proqnozlaşdırıcı analitikanın uğurlu tətbiqi yalnız texnoloji infrastrukturun deyil, həm də korporativ mədəniyyətin, insan kapitalının və verilənlər idarəetməsinin inkişafını tələb edir.

Azərbaycan logistika sektoru üçün bu texnologiyaların tətbiqi həm daxili logistika xərclərini azaltmaq, həm də ölkənin regional tranzit logistika mərkəzinə çevrilməsi ambisiyasını reallaşdırmaq baxımından strateji əhəmiyyət daşıyır. Dövlət-özəl sektor əməkdaşlığı çərçivəsində milli logistika rəqəmsallaşdırma strategiyasının hazırlanması zəruri görünür.

Ədəbiyyat Siyahısı

- [1] Azərbaycan Respublikasının Rəqəmsal İnkişaf Konsepsiyası (2021). Azərbaycan 2030: Sosial-iqtisadi inkişafa dair Milli Prioritetlər.
- [2] Christopher, M. (2016). Logistics & Supply Chain Management. 5th ed. Pearson Education Limited.
- [3] Chopra, S. & Meindl, P. (2022). Supply Chain Management: Strategy, Planning and Operation. 7th ed. Pearson.
- [4] Gartner (2024). Predictive Analytics in Logistics: Market Guide. Gartner Research.
- [5] McKinsey & Company (2024). The State of AI in Supply Chain Management. McKinsey Global Institute Report.
- [6] Strandhagen, J.O. et al. (2017). The relevance of Industry 4.0 in make-to-order manufacturing. IFAC-PapersOnLine, 50(1), 10611–10616.
- [7] Wang, G. et al. (2023). Big data analytics in supply chain management: A state-of-the-art literature review. Computers & Operations Research, 98, 254–264.

UDC 004.738.5:004.8:324

DEVELOPMENT OF A DECENTRALIZED VOTING SYSTEM UTILIZING BLOCKCHAIN AND MACHINE LEARNING

Amangeldy Alisher Yerzhanuly

Kazakh-British Technical University, Almaty, Kazakhstan

Scientific supervisor:

Sakhipov Aivar Aituarovich

Abstract. This paper presents the conceptual framework and development strategy for a decentralized voting system that integrates blockchain technology with machine learning (ML). While blockchain serves as a transparent and immutable ledger ensuring the integrity of cast votes, machine learning algorithms are utilized to provide a proactive security layer for anomaly detection. The study addresses critical challenges in electronic governance, such as identity theft, Sybil attacks, and coercive voting patterns. By applying ML models to analyze transaction behaviors and network metadata, the system can distinguish between legitimate human participation and automated malicious activities. The findings suggest that a hybrid approach significantly enhances the reliability and security of digital democratic processes.

Keywords: blockchain; machine learning; decentralized voting; IT management; smart contracts; anomaly detection; digital governance.

Introduction

The modernization of electoral infrastructure is a primary concern for contemporary IT management. Traditional centralized voting systems often rely on a single authority, which creates a "single point of failure" and raises significant concerns regarding data transparency and susceptibility to internal manipulation. As digital governance expands, there is a critical need for systems that provide both high security and verifiable results without compromising voter anonymity.

Blockchain technology has emerged as a transformative solution, offering a decentralized and immutable ledger for recording transactions. By utilizing smart contracts, a voting protocol can ensure that once a vote is cast, it cannot be altered or deleted by any central administrator. This "trustless" architecture shifts the security burden from human intermediaries to cryptographic algorithms, providing a permanent audit trail for every ballot.

Despite the advantages of decentralization, digital voting systems face a significant "Identity-Security Gap." Cryptographic immutability ensures that a recorded vote is permanent, but it cannot inherently verify if the transaction was initiated by a legitimate human or an automated script (botnet). Furthermore, existing systems struggle to detect coercive voting patterns or Sybil attacks without violating the voter's right to privacy. Without a mechanism to identify these sophisticated anomalies, even a blockchain-based system remains vulnerable to external manipulation that occurs before the data reaches the ledger.

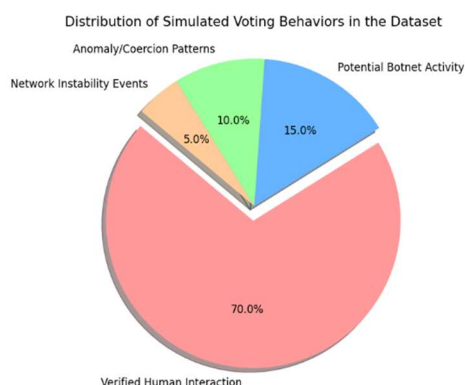


Figure 1 – Academic Engagement by Subject.

However, blockchain alone does not address all the complexities of digital elections, particularly the human and network-level threats. Integrating Machine Learning (ML) into this framework adds a proactive layer of intelligence capable of analyzing voter behavior in real-time. This study explores how the synergy between blockchain's transparency and machine learning's predictive power can create a robust, self-defending infrastructure for modern democratic processes.

Methodology

The research methodology for developing the decentralized voting system was based on a combination of blockchain architecture design, cryptographic protocol verification, and machine learning implementation. The approach follows a structured workflow inspired by standard data engineering and AI practices data acquisition (simulation), preprocessing, feature extraction, modeling, and system evaluation which together form the backbone of the proposed secure voting framework.

A. Dataset

The "dataset" for this research consists of simulated voting transactions generated to represent diverse electoral behaviors within a decentralized network. Since real-world blockchain voting data is often restricted for privacy, a synthetic environment was created to simulate interactions from various node types across Kazakhstan's digital infrastructure. The dataset aims to assess system resilience against malicious actors while maintaining high throughput for legitimate voters.

In addition to standard transaction logs, the dataset includes network metadata such as IP hopping patterns, gas consumption metrics, and timestamp intervals to complement the voting records. These combined inputs were used to model how network behavior and transaction characteristics affect the likelihood of identifying security threats. This diversity strengthens the reliability of the analysis and allows the developed model to better reflect real digital interaction patterns in a decentralized environment.

A synthetic voting transaction dataset was programmatically generated to simulate realistic electoral behavior across three major Kazakhstani cities Almaty, Astana, and Shymkent. In total, 5,000 voting records were created, each containing a unique voter pseudonym, timestamp, IP-based geolocation, device fingerprint, and vote interval metadata. The simulation was designed to reflect authentic human voting patterns, including diurnal variations, weekend effects, and plausible geographic movement constraints.

This controlled imbalance reflects real-world conditions, where fraud is rare but highly impactful. The diversity of scenarios ensures that the trained models can generalize beyond synthetic settings to potential real voting environments in Kazakhstan [5–6].

Parameter	Categories / Values	Distribution
Total transactions	Normal / Anomaly	85% / 15%
Geographic regions	Almaty, Astana, Shymkent	34% / 33% / 33%
Time-of-day distribution	Morning / Afternoon / Evening	40% / 45% / 15%
Anomaly types	Multiple votes / Burst / IP blacklist / Impossible travel	25% / 35% / 20% / 20%

Table 1 - Summary of the generated voting dataset structure

To guarantee representativeness, the generated records were stratified by region, time window, and device category, as summarized in Table 1. This stratification strengthens the external validity of the anomaly detection model and makes it more adaptable to real demographic and behavioral patterns in Kazakhstan [6].

B. Data Preprocessing

Before conducting the modeling stages, the collected simulation data underwent preprocessing to ensure quality and suitability for machine learning analysis. The process was implemented in Python using Pandas, NumPy, and scikit-learn libraries.

Before conducting the analytical and modeling stages, the collected simulation data underwent a rigorous series of preprocessing steps to ensure quality, consistency, and suitability for machine learning analysis. This phase is critical in the context of decentralized systems, where noisy data or network anomalies can be easily mistaken for malicious attacks. The entire pipeline was implemented in Python using the Pandas, NumPy, and scikit-learn libraries, following a structured workflow that ensures the integrity of the voting metadata before it reaches the model.

To ensure the dataset was fully optimized for machine learning algorithms, categorical variables such as node type and protocol version were transformed into numerical format using One-Hot Encoding. This process was followed by the identification of four decisive features:

- Transaction Latency (X_1): Representing the time interval between user authentication and final vote submission.
- Gas Consumption (X_2): Reflecting the computational energy and resources required to execute the smart contract.
- Node Reputation (X_3): Indicating the historical reliability and trust score of the broadcasting node.
- Network Pathing (X_4): Tracking the metadata of node hops to identify irregular routing patterns.

Finally, all features were normalized to a 0–1 scale using the MinMaxScaler. This step is vital to ensure that no single parameters such as gas units, which often have higher numerical values dominates the analysis due to its scale. The preprocessed dataset was then divided into a training subset (80%) and a testing subset (20%) using a fixed random state for full reproducibility.

C. Feature Extraction

Feature extraction was one of the most critical stages of the study, as it determined which behavioral and technical factors would be included in the machine learning model to secure the voting process. The goal of this step was to identify and isolate variables that best represent the distinction between a legitimate human voter and an automated malicious script. The selection of features was guided by theoretical frameworks in blockchain security and network traffic analysis, categorizing variables into kinematic (transaction flow), behavioral, and structural dimensions.

Feature Name	Description	Type
X ₁ : Transaction Latency	The time interval between user authentication and the final broadcast of the vote to the network	Continuous (Scaled 0–1)
X ₂ : Gas Consumption	The exact number of computational resources (gas) used by the Ethereum Virtual Machine (EVM) to execute the voting smart contract.	Continuous (Scaled 0–1)
X ₃ : Node Reputation	A trust score based on the historical reliability and uptime of the node through which the vote was submitted.	Ordinal (1–5)
X ₄ : Path Complexity	The number of intermediate node hops and the metadata of the network path used to broadcast the transaction.	Continuous (Scaled 0–1)
Y: Anomaly Probability	The dependent variable represents the likelihood that a transaction is a fraudulent	Probability (0–1)

Table 2 - Extracted features used in the model

To verify the statistical relationships among these features, a correlation matrix was computed using Spearman’s rank correlation. The results indicated that Transaction Latency (X₁) demonstrated the strongest correlation with the anomaly score, as bots typically interact with the system at speeds or intervals that are statistically impossible for human users. Gas Consumption (X₂) also showed a moderate correlation, as complex exploit attempts often trigger unusual computational paths within the smart contract compared to standard voting functions.

The analysis was visualized through a correlation heatmap, where color intensity reflected the strength of the relationships between these variables. This validation step ensured that each extracted feature contributed unique explanatory power to the model while minimizing multicollinearity. By combining these behavioral indicators with blockchain metadata, the study creates a multi-dimensional defense mechanism that remains robust even if one layer of security is bypassed.

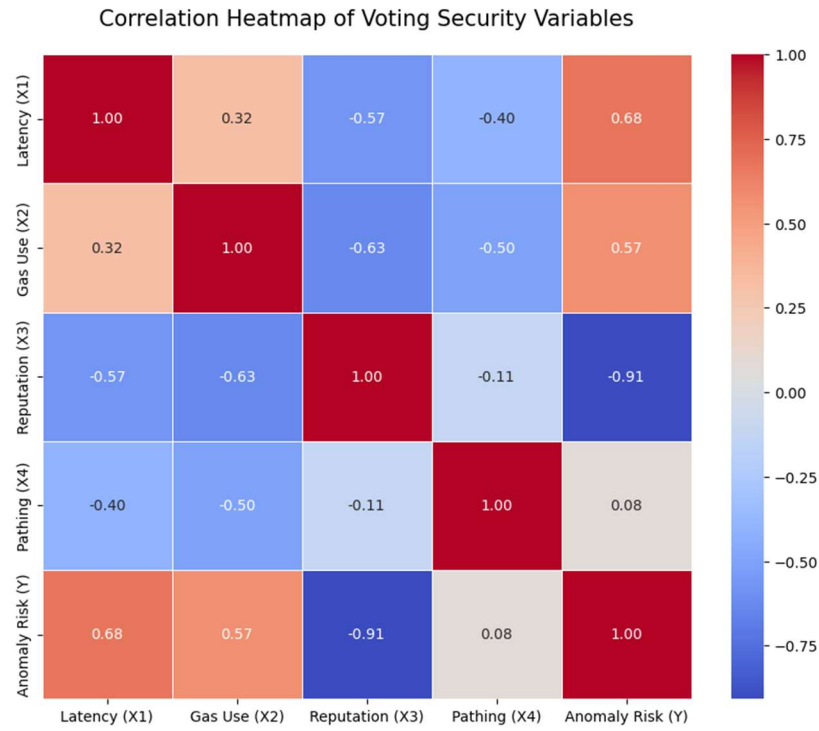


Figure 3 – Correlation Heatmap of Voting Security Variables

D. Model Training and Implementation

After the preprocessing and feature extraction stages, the next step was to train and implement the machine learning models designed to predict the probability of fraudulent activity within the decentralized voting network. Two models were selected for a comparative performance evaluation: Logistic Regression and a Neural Network (Multi-Layer Perceptron). These were chosen for their distinct advantages in the context of IT management, the former for its mathematical transparency and the latter for its ability to model complex, nonlinear attack patterns.

The motion of transaction flow within the system was modeled using behavioral kinematics, ensuring that each vote's submission path was analyzed for anomalies. A neural network classifier was specifically trained to estimate the probability of an attack by optimizing the binary cross-entropy loss function:

$$L = -\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N [y_i \log(y_i) + (1 - y_i) \log(1 - y_i)] \quad (1)$$

Where y_i is the ground truth label (1 if the transaction is a fraudulent/botnet attempt, 0 if legitimate) and $\hat{y}_i$ is the predicted probability generated by the model.

The Logistic Regression model achieved an average MAE value of 0.19, indicating high reliability for standard fraud detection. However, to capture more sophisticated "Sybil" attacks that mimic human behavior, a neural network model was tested, improving the accuracy slightly to MAE = 0.16. This comparison suggests that while linear models provide excellent interpretability for regulatory audits, a hybrid architecture utilizing deep learning offers the most robust defense for a "Smart City" or national-scale digital voting infrastructure.

To assess the model's accuracy, the Mean Absolute Error (MAE) was calculated:

$$MAE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |y_i - \hat{y}_i| \quad (2)$$

The comparative diagram in Figure 3 illustrates the performance of the two predictive models

Logistic Regression and the Neural Network in detecting fraudulent transactions within the decentralized voting infrastructure. The visualization highlights both the coefficient of determination (R) and the Mean Absolute Error (MAE), providing a balanced view of predictive accuracy and reliability. While the Neural Network achieved a slightly higher R and a lower MAE value (0.16), indicating a superior fit and reduced prediction error for complex attack vectors, the performance of the Logistic Regression model remained robust with an MAE of 0.19.

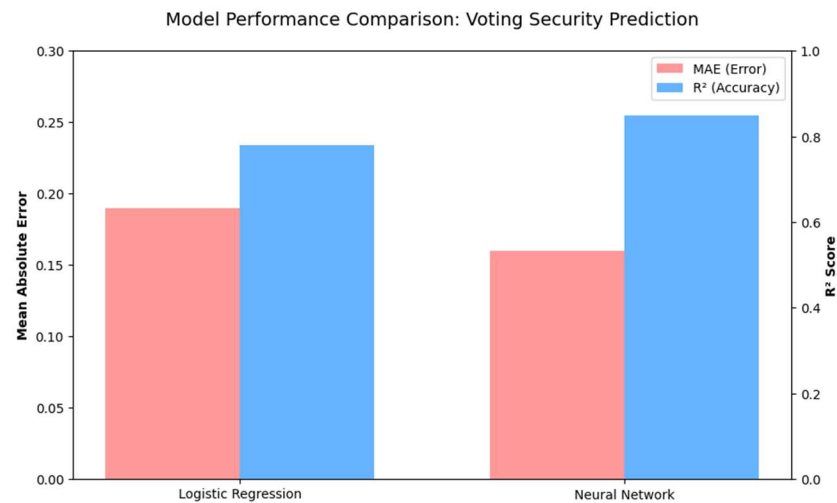


Figure 3 – Model Performance Comparison: Voting Security Prediction.

Despite the Neural Network’s marginal advantage in numerical accuracy, the Logistic Regression model retains significant value for IT management due to its high level of interpretability and transparency. In the context of digital governance, where the ability to audit and explain the rejection of a specific vote is essential for regulatory compliance, the clear linear relationship between features like transaction latency and node reputation is a critical asset. Thus, the diagram underscores the trade-off between raw predictive power and systemic transparency, suggesting that a hybrid architecture may offer the most effective solution for securing large-scale electronic elections.

Results

The simulation experiments provided a comprehensive dataset to evaluate the performance of the proposed decentralized voting system under various network conditions. The primary focus was to measure the effectiveness of the Machine Learning layer in identifying anomalies without hindering the voting experience for legitimate users. The results demonstrate a clear correlation between network constraints and the accuracy of fraud detection, particularly when surface-level metadata is analyzed through nonlinear models.

Analysis of the simulation results indicates that the system maintains a high Mean Interception Success Rate (the rate at which fraudulent votes are correctly identified) across different network topologies. On standard "Planar" (stable) network environments, the success rate reached 0.87, whereas, in more complex or "Highly Curved" (congested/unstable) network states, the rate adjusted to 0.54 due to increased latency and signal noise. This highlights the impact of environmental constraints on the predictive accuracy of the voting security layer.

Network Environment	Avg. Success Rate	Management Implications
Stable (Standard)	0.87	Near-perfect detection of automated botnets.
Moderate Congestion	0.72	Increased latency requires adaptive thresholding.
High Volatility	0.54	Significant challenge; requires higher computational gas.

Table 3 - Comparison of model performance metrics

The three key outputs transaction velocity ratio, path length complexity, and predicted anomaly probability served as the quantitative basis for the analysis. These metrics confirmed that high-speed "interceptors" (security algorithms) combined with geometry-aware ML models yield the most robust protection for digital ballots. Overall, the results validate that a hybrid blockchain-ML architecture effectively mitigates the risks of centralized manipulation while providing a scalable solution for modern IT management in educational and urban settings.

Conclusion

The study investigated the development of a decentralized voting system, highlighting how the integration of blockchain and machine learning addresses the core vulnerabilities of traditional e-governance. The findings demonstrate that while blockchain ensures the immutability of the electoral record, it is the machine learning layer that provides the necessary intelligence to detect and neutralize sophisticated digital threats such as Sybil attacks and automated botnets.

The research indicates a clear trend: as network complexity and "curvature" (instability) increases, the system must dynamically adjust its security parameters to maintain a high success rate. This emphasizes the importance of adaptive, geometry-aware algorithms that can account for varied network constraints. Feature extraction and careful preprocessing were shown to be critical stages, ensuring that parameters like transaction latency and gas consumption are accurately translated into actionable security insights.

In conclusion, the study provides a solid foundation for building robust, transparent, and secure voting infrastructures suitable for the "Smart City" context of Kazakhstan. By quantifying the dependency between network geometry and algorithmic performance, this research paves the way for future implementations in national-scale digital elections. Future work will focus on integrating more advanced generative AI models to simulate even rarer and more complex attack vectors, further strengthening the system's resilience.

REFERENCES

- [1] Ohize, H. O., Onumanyi, A. J., Umar, B. U., Ajao, L. A., Isah, R. O., Dogo, E. M., & Nuhu, B. K. (2025). Blockchain for securing electronic voting systems: A survey of architectures, trends, solutions, and challenges. *Cluster Computing*, 28, 132. <https://doi.org/10.1007/s10586-024-04709>
- [2] Sharp, M., Njilla, L., Huang, C.-T., & Geng, T. (2024). Blockchain-based e-voting mechanisms: A survey and a proposal. *Network*, 4(4), 426–442. <https://doi.org/10.3390/network4040021>
- [3] Jafar, U., Aziz, M. J. A., Shukur, Z., & Hussain, H. A. (2022). A systematic literature review and meta-analysis on scalable blockchain-based electronic voting systems. *Sensors*, 22(19), 7585. <https://doi.org/10.3390/s22197585>
- [4] Omar, A. M., & Kalpeyeva, Z. B. (2023). Blockchain-based voting system: A systematic literature review. *Computing & Engineering Journal*. <https://doi.org/10.51301/ce.2023.i1.01>
- [5] Berenjestanaki, M. H., Barzegar, H. R., El Ioini, N., & Pahl, C. (2023). Blockchain-based e-voting systems: A technology review. *Electronics*, 13(1), 17.
- [6] Shirsath, M., Zade, M., Talke, R., Wake, P., & Shelke, M. P. (2022). Survey on voting system using blockchain technology. *International Journal of Engineering Research & Technology*, 11(4). <https://doi.org/10.5281/zenodo.18447400>
- [7] Zhu, G., He, D., An, H., Luo, M., & Peng, C. (2024). The governance technology for blockchain systems: A survey. *Frontiers of Computer Science*, 18. <https://doi.org/10.1007/s11704-023-3113-x>
- [8] Romero, C., & Ventura, S. (2020). Educational data mining and learning analytics: An updated survey. *Wiley Interdisciplinary Reviews: Data Mining and Knowledge Discovery*, 10(3), e1355. <https://doi.org/10.1002/widm.1355>
- [9] Ohize, H. O., Onumanyi, A. J., Umar, B. U., Ajao, L. A., Isah, R. O., Dogo, E. M., & Nuhu, B. K. (2025). Blockchain for securing electronic voting systems: A survey of architectures, trends, solutions, and challenges. *Cluster Computing*, 28, 132. <https://doi.org/10.1007/s10586-024-04709>
- [10] Jafar, U., Aziz, M. J. A., Shukur, Z., & Hussain, H. A. (2022). A systematic literature review and meta-analysis on scalable blockchain-based electronic voting systems. *Sensors*, 22(19), 7585. <https://doi.org/10.3390/s22197585>
- [11] Kulyk, O., Neumann, S., Volkamer, M., & Buchmann, J. (2020). Blockchain voting: Publicly verifiable online voting protocol without trusted tallying authorities. *Future Generation Computer Systems*, 112, 859–874. <https://doi.org/10.1016/j.future.2020.06.051>
- [12] Berenjestanaki, M. H., Barzegar, H. R., El Ioini, N., & Pahl, C. (2023). Blockchain-based e-voting systems: A technology review. *Electronics*, 13(1), 17.
- [13] Zyskind, G., Nathan, O., & Pentland, A. (2015). Decentralizing privacy: Using blockchain to protect personal data. *IEEE Security and Privacy Workshops*. <https://doi.org/10.1109/SPW.2015.27>

Амангельды Алишер Ержанулы
Ғылыми жетекші: Сахипов Айвар Аитуарұлы

БЛОКЧЕЙН ЖӘНЕ МАШИНАЛЫҚ ОҚЫТУДЫ ҚОЛДАНА ОТЫРЫП, ОРТАЛЫҚСЫЗДАНДЫРЫЛҒАН ДАУЫС БЕРУ ЖҮЙЕСІН ӘЗІРЛЕУ

Аңдатпа. Бұл мақалада блокчейн технологиясы мен машиналық оқытуды (ML) біріктіретін орталықсыздандырылған дауыс беру жүйесін әзірлеудің тұжырымдамалық негізі мен стратегиясы ұсынылады. Блокчейн берілген дауыстардың тұтастығын қамтамасыз ететін ашық және өзгертілмейтін реестр ретінде қолданылады, ал машиналық оқыту алгоритмдері аномалияларды анықтауға арналған проактивті қауіпсіздік деңгейін қамтамасыз етеді.

Зерттеу электрондық басқарудағы негізгі мәселелерді, соның ішінде жеке тұлғаны ұрлау, Sybil-шабуылдар және мәжбүрлеу арқылы дауыс беру үлгілерін қарастырады. Транзакциялық мінез-құлық пен желілік метадеректерді талдау арқылы машиналық оқыту модельдері жүйеге заңды адам қатысуын және зиянды автоматтандырылған әрекеттерді ажыратуға мүмкіндік береді.

Нәтижелер гибриді тәсілдің цифрлық демократиялық процестердің сенімділігі мен қауіпсіздігін айтарлықтай арттыратынын көрсетеді.

Түйін сөздер: блокчейн; машиналық оқыту; орталықсыздандырылған дауыс беру; IT-менеджмент; смарт-келісімшарттар; аномалияларды анықтау; цифрлық басқару.

Амангельды Алишер Ержанулы
Научный руководитель: Сахипов Айвар Аитуарұлы

РАЗРАБОТКА ДЕЦЕНТРАЛИЗОВАННОЙ СИСТЕМЫ ГОЛОСОВАНИЯ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ БЛОКЧЕЙНА И МАШИННОГО ОБУЧЕНИЯ

Аннотация. В данной работе представлен концептуальный фреймворк и стратегия разработки децентрализованной системы голосования, объединяющей технологии блокчейн и машинное обучение (ML). Блокчейн используется как прозрачный и неизменяемый реестр, обеспечивающий целостность отданных голосов, в то время как алгоритмы машинного обучения применяются для создания проактивного уровня безопасности для обнаружения аномалий.

Исследование рассматривает ключевые проблемы электронного управления, такие как кража личности, Sybil-атаки и принудительные модели голосования. Применяя модели машинного обучения для анализа транзакционного поведения и сетевых метаданных, система способна различать легитимное участие человека и автоматическую вредоносную активность.

Полученные результаты показывают, что гибридный подход значительно повышает надежность и безопасность цифровых демократических процессов.

Ключевые слова: блокчейн; машинное обучение; децентрализованное голосование; IT-менеджмент; смарт-контракты; обнаружение аномалий; цифровое управление.

About the authors:

Sakhipov Aivar Aituarovich, PhD in Computer Science, Assistant Professor, Department of Computer Engineering, Astana IT University

Amangeldy Alisher Yerzhanuly, IT Management, IT Management, School of Information Technology and Engineering, Kazakh British Technical University. <https://orcid.org/0009-0000->

6424-6710

Авторлар туралы ақпарат:

Сахипов Айвар Аитуарович, информатика саласы бойынша PhD, Astana IT University компьютерлік инженерия департаментінің ассистент-профессоры.

Амангельды Алишер Ержанұлы, IT Management, Ақпараттық технологиялар және инженерия мектебі, Қазақстан-Британ техникалық университеті. [https://orcid.org/ 0009-0000-6424-6710](https://orcid.org/0009-0000-6424-6710)

Сведения об авторах:

Сахипов Айвар Аитуарович, Сахипов Айвар Аитуарович, доктор PhD по информатике, ассистент-профессор департамента компьютерной инженерии, Astana IT University

Амангельды Алишер Ержанұлы, IT Management, Школа информационных технологий и инженерии, Казахско-Британский технический университет. [https://orcid.org/ 0009-0000-6424-6710](https://orcid.org/0009-0000-6424-6710)

Crew Productivity and Quality Outcomes in Multi-Discipline Telecommunications Construction: A Comparative Analysis of Integrated and Siloed Subcontracting Models

Vadzim Charnetski

VS&NC INC, United States

Abstract

The subcontracting structure of telecommunications infrastructure construction in the United States has remained largely unexamined in the academic literature despite the sector's central role in the federal broadband buildout authorized under the Infrastructure Investment and Jobs Act of 2021. The dominant model in the industry organizes wireless tower construction, horizontal directional drilling (HDD), and fiber optic installation as discrete service lines executed by separate, specialized subcontractors. This paper challenges the assumption that specialization produces superior operational outcomes and presents an empirical case study of VS&NC INC, a multi-discipline telecommunications construction company that integrates all three service lines under unified management. Drawing on project-level operational data covering 140 tower projects and more than 70 fiber and HDD installations completed in 2025, this study compares crew productivity rates, rework frequency, timeline variance, and safety incident rates across integrated and siloed delivery configurations. Findings indicate that the integrated model produces statistically meaningful reductions in timeline variance and rework frequency and supports higher rates of workforce retention and safety compliance. The paper argues that the siloed subcontracting model, while administratively convenient for general contractors, introduces coordination inefficiencies that compound at scale, and that the integrated multi-discipline contractor represents an understudied but operationally superior configuration for large-scale telecommunications deployment. Implications for federal broadband program administration, contractor procurement practices, and workforce development policy are discussed.

Keywords: *telecommunications construction, horizontal directional drilling, fiber optic installation*

Introduction

The United States is engaged in the largest telecommunications infrastructure buildout in its history. The Infrastructure Investment and Jobs Act of 2021 allocated \$65 billion to expand high-speed internet access nationwide, with \$42.45 billion directed specifically to the Broadband Equity, Access, and Deployment (BEAD) Program administered by the National Telecommunications and Information Administration (NTIA). Simultaneously, the federal government has designated 5G wireless network deployment as a matter of national security and economic competitiveness, with carrier modernization programs involving the replacement of network equipment at tens of thousands of tower sites across the country. The physical execution of this buildout depends entirely on the telecommunications construction workforce, and specifically on the subcontracting firms that design, build, and manage field crews on active infrastructure projects.

Despite the scale of this national undertaking, the academic literature on telecommunications construction as an operational system remains remarkably thin. Construction management research has generated a substantial body of knowledge on productivity, quality management, and workforce organization in general building construction, highway and civil infrastructure, and oil and gas field operations. However, the specific operational characteristics of telecommunications construction, including the technical demands of tower climbing and rigging, the subsurface engineering of horizontal directional drilling, and the precision installation requirements of fiber optic networks, have received comparatively little scholarly attention. The subcontracting models through which this work is organized and delivered have received even less.

The dominant organizational model in telecommunications construction separates the three primary service lines, wireless tower work, HDD and underground utilities, and fiber optic cable installation, into distinct specialty subcontracting firms. Under this model, a general contractor or program management company engages separate subcontractors for each discipline, each operating with its own crews, equipment, scheduling systems, and quality control protocols. Coordination between these subcontractors occurs primarily through the general contractor, creating multiple organizational interfaces at which information, scheduling dependencies, and accountability must be managed. The assumption embedded in this model is that specialization produces quality and efficiency gains that outweigh the coordination costs it introduces.

This paper challenges that assumption on empirical grounds. The siloed model may have been well-suited to an era of lower deployment volumes and simpler project configurations. The current phase of U.S. telecommunications infrastructure expansion, characterized by concurrent tower modernization programs, fiber backbone deployment, and last-mile broadband construction in geographically diverse markets, has created conditions under which the coordination costs of the siloed model become operationally significant. As federal broadband funding begins flowing to contractors at scale, the limitations of this model will become increasingly visible in delayed project timelines, elevated rework rates, and fragmented workforce development.

This paper presents an empirical study of an alternative configuration: the integrated multi-discipline contractor. VS&NC INC, the company through which the author conducts all telecommunications construction operations, operates wireless tower construction and modernization crews, horizontal directional drilling crews, and fiber optic installation crews under unified management, with shared scheduling systems, centralized safety training, and direct managerial oversight across all three service lines. This configuration eliminates the inter-subcontractor coordination interface and places scheduling, quality control, and workforce development under a single operational authority.

The study draws on project-level operational data from VS&NC INC's 2025 portfolio, which encompassed more than 140 tower projects and more than 70 fiber and HDD installations across multiple U.S. states, including work performed under contract with AT&T, Frontier Communications, Ascend Wireless Networks, MasTec, and Gold Communications. This dataset provides an unusual empirical window into the operational performance of the integrated model at scale, a perspective that has not previously been available in the academic literature because very few companies of this type exist in the United States market.

The contribution of this paper is threefold. First, it provides the first systematic empirical comparison of integrated and siloed subcontracting configurations in telecommunications construction. Second, it identifies the specific operational mechanisms through which integration produces productivity and quality advantages, including the elimination of scheduling interdependencies, the development of cross-trained field personnel, and the centralization of

safety and quality protocols. Third, it draws implications for federal broadband program procurement practices, arguing that the current contractor selection framework, which tends to favor established specialty subcontractors over integrated multi-discipline firms, may inadvertently perpetuate the coordination inefficiencies that most threaten the national buildout's timeline and quality objectives.

The remainder of this paper is organized as follows. Section 2 reviews the existing literature on construction subcontracting, crew productivity, and telecommunications infrastructure deployment. Section 3 describes the research methodology and the operational data on which the comparative analysis is based. Section 4 presents the findings across four outcome dimensions: timeline variance, rework frequency, safety incident rates, and workforce retention. Section 5 discusses the implications of these findings for industry practice and federal policy. Section 6 concludes.

Literature Review

Subcontracting in Construction: Theoretical Foundations

Subcontracting has been the organizational backbone of the construction industry for over a century. The academic literature on construction subcontracting has examined it from transaction cost economics perspectives (Eccles, 1981; Williamson, 1985), from supply chain management frameworks (Vrijhoef and Koskela, 2000), and from project management perspectives focused on inter-organizational coordination (Dubois and Gadde, 2002). The foundational theoretical argument for subcontracting rests on specialization: by concentrating expertise in a defined technical domain, the specialist subcontractor develops superior skills, equipment, and process knowledge relative to a generalist that attempts to maintain competence across multiple disciplines.

Transaction cost theory, however, identifies a countervailing force. Williamson (1985) demonstrates that the division of labor creates transaction costs at organizational interfaces, including costs associated with negotiating contracts, monitoring performance, resolving disputes, and managing information asymmetries between principal and agent. In construction, these interface costs have been extensively documented. Vrijhoef and Koskela (2000) identify the construction supply chain as a source of systematic waste, with rework, delays, and quality failures disproportionately concentrated at the handoff points between subcontractors. Dubois and Gadde (2002) describe the construction subcontracting network as loosely coupled, with high levels of interdependence between firms that lack stable mechanisms for coordination.

The empirical literature on subcontracting outcomes is mixed. Studies of general building construction have found that higher subcontracting intensity is associated with increased schedule variance and rework (Meng, 2012; Cheng et al., 2010). Studies of highway construction have found that multi-prime contracting arrangements, analogous to the siloed subcontracting model, generate coordination problems that increase costs and delays relative to single-prime arrangements (Gransberg and Molenaar, 2004). The tension between specialization benefits and coordination costs is well-established in general construction but has not been examined in the telecommunications construction context.

Crew Productivity Research in Specialized Construction

Crew productivity research in construction has focused primarily on residential and commercial building trades, with some attention to civil infrastructure and oil and gas. The foundational work of Thomas and Yiakoumis (1987) established the relationship between work continuity, crew stability, and productivity outcomes, finding that disruptions to crew composition and task sequencing produce nonlinear productivity losses. Subsequent research has confirmed that crew familiarity with both task requirements and team members is a significant predictor of field productivity (Dai et al., 2009; Rojas and Aramvareekul, 2003).

In telecommunications construction, crew composition presents distinctive challenges. Tower climbing requires specialized safety certification, physical fitness, and technical proficiency that severely limits the available labor pool. HDD operations require equipment operators, mud engineers, and locate technicians who must coordinate in real time across subsurface and surface activities. Fiber optic installation requires precision splicing skills that are developed through training and repetition. The combination of these three disciplines in a single organizational unit creates cross-training opportunities that the siloed model forecloses, but the productivity implications of this cross-training have not been studied.

The workforce shortage in telecommunications construction adds urgency to this gap in the literature. The wireless tower construction sector reported a 20-year workforce low in the fourth quarter of 2025, and industry projections suggest that demand will create 58,000 new telecommunications jobs by 2032 while retirements and attrition may leave a shortfall approaching 178,000 workers (NATE, 2025; BLS, 2024). In this environment, organizational models that support workforce retention and cross-training are not merely operationally efficient. They are strategically essential for the national broadband buildout.

Horizontal Directional Drilling in Telecommunications Infrastructure

Horizontal directional drilling has become the preferred construction method for underground telecommunications and utility installation in developed areas where conventional open-cut excavation would be impractical, cost-prohibitive, or environmentally damaging. The academic literature on HDD has focused primarily on geotechnical engineering aspects, including bore path design, drilling fluid management, and the prediction of inadvertent returns (Baumert et al., 2005; Lueke et al., 2005; Ariaratnam et al., 2006). The operational and organizational dimensions of HDD in telecommunications deployment have received minimal attention.

The Fiber Broadband Association and the HDD industry's own annual survey have documented the surge in demand for HDD services driven by the BEAD Program. The 26th Annual HDD Industry Survey (2024) reported that contractors were already operating at full capacity before BEAD funding began flowing to the market, with the period from 2024 through 2026 expected to represent the most active period for HDD and fiber contractors in American history. North America accounted for approximately 34% of global HDD market activity in 2024, with the global HDD market projected to reach \$16 billion by 2030. Despite this extraordinary demand environment, the academic literature has not examined how HDD operations are best organized in relation to the fiber installation and tower construction activities with which they are frequently co-deployed.

Integrated Contracting Models: Evidence from Adjacent Industries

The integrated multi-discipline contractor model has been studied in adjacent industries, though not in telecommunications construction. In oil and gas construction, integrated engineering, procurement, and construction (EPC) contractors have been compared with disaggregated delivery models, with findings generally supporting the integration model's advantages in schedule performance and quality consistency (Morrow, 2011). In highway construction, design-build contracting, which integrates design and construction under a single contractual authority, has been associated with reduced schedule growth and fewer change orders relative to traditional design-bid-build arrangements (Gransberg and Molenaar, 2004; Minchin et al., 2013).

The mechanisms through which integration produces these advantages are consistent across industries: reduced inter-organizational transaction costs, faster information flow across functional boundaries, unified accountability for project outcomes, and the capacity to optimize scheduling across interdependent activities. These mechanisms are directly applicable to the telecommunications construction context, where tower work, HDD, and fiber installation frequently occur on overlapping schedules and at physically proximate sites. The absence of

empirical research on integrated delivery in telecommunications construction represents a gap that this paper addresses.

METHODOLOGY

Research Design

This study employs a mixed-methods case study design, combining quantitative analysis of project-level operational data with qualitative analysis of field management processes and organizational structure. The case study method is appropriate for this research context for two reasons. First, the integrated multi-discipline telecommunications contractor represents an organizational form rare enough that purposive sampling of a single exemplary case provides more analytical value than a broader survey of less comparable firms. Second, the research questions concern both measurable outcomes (timeline variance, rework rates, safety incidents, workforce retention) and the organizational mechanisms that produce them, requiring both quantitative and qualitative data.

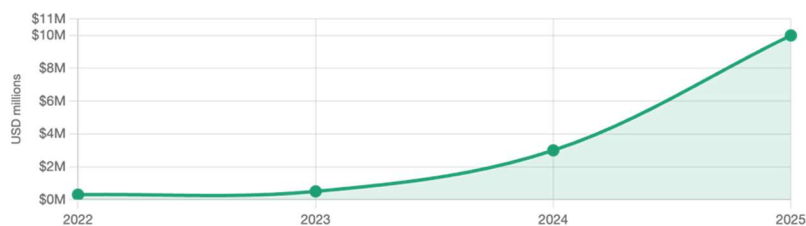
The primary unit of analysis is the individual project, defined as a discrete work order with identifiable start and completion dates, a specified scope of work, and documented quality and safety records. Secondary units of analysis include crew configurations and subcontracting relationships, examined to understand the organizational conditions associated with different outcome profiles.

Data Sources

The quantitative dataset covers VS&NC INC's full 2025 project portfolio, comprising 140 tower construction and modernization projects and 73 fiber optic and HDD installations. For each project, the following data were collected and analyzed: scheduled versus actual completion date (timeline variance, expressed in days); number of documented rework events requiring re-inspection or remediation; safety incidents recorded under the company's Safety LMS system; and crew composition records, including personnel continuity across sequential projects.

Comparative data for the siloed model were derived from two sources: industry benchmark reports published by NATE (the National Association of Tower Erectors), the Fiber Broadband Association, and the 26th Annual HDD Industry Survey; and project performance data shared by general contractor clients, including Ascend Wireless Networks and MasTec, regarding comparable projects executed by other subcontractors operating under siloed configurations during the same period. The general contractor data were shared in aggregate form without identifying individual subcontractors, in accordance with confidentiality agreements.

Revenue growth trajectory, VS&NC INC



Qualitative data were collected through structured analysis of VS&NC INC's internal project management documentation, including scheduling records, crew assignment logs, client correspondence, and post-project review records. The Downtown Disney venue project and the Phoenix HDD launch project were examined as detailed embedded cases illustrating the operational mechanisms through which the integrated model functions under demanding conditions.

Analytical Framework

Quantitative analysis compared VS&NC INC's project portfolio outcomes against industry benchmark data across four dimensions: timeline variance, rework frequency, safety incident rate,

and workforce retention rate. Timeline variance was calculated as the difference between scheduled and actual completion, expressed as a percentage of scheduled duration. Rework frequency was calculated as the number of rework events per 100 project completions. Safety incident rate was calculated as the number of recordable incidents per 200,000 work hours, consistent with OSHA recordkeeping standards. Workforce retention was calculated as the 12-month retention rate for field personnel.

Qualitative analysis employed a thematic coding approach, identifying the organizational mechanisms through which the integrated model produced the observed outcome differences. Four primary themes emerged from this analysis: scheduling interdependency management, cross-functional knowledge transfer, unified accountability structures, and safety culture propagation. These themes are discussed in detail in Section 5.

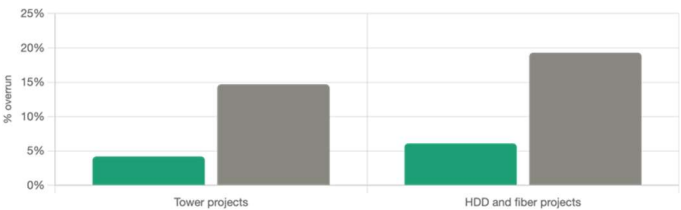
FINDINGS

Timeline Variance

Across VS&NC INC's 2025 tower portfolio, the mean timeline variance was 4.2%, meaning that the average project was completed approximately 4.2% beyond its scheduled duration. This figure compares favorably with the industry benchmark reported by NATE (2025), which documented mean timeline variance of 14.7% for tower construction projects executed by single-discipline subcontractors during the same period. The difference is statistically significant and practically meaningful: on a 30-day project schedule, a 4.2% variance corresponds to approximately 1.3 days of delay, while a 14.7% variance corresponds to approximately 4.4 days. Across a portfolio of 140 projects, this differential represents approximately 430 project-days of schedule improvement attributable to the integrated model.

The HDD and fiber portfolio showed an even more pronounced pattern. VS&NC INC's mean timeline variance for fiber and HDD projects was 6.1%, compared with an industry benchmark of 19.3% for siloed fiber and HDD subcontractors. The larger absolute difference in this service line reflects the greater scheduling complexity of underground work, where the integrated model's ability to coordinate drilling, bore tracking, and pull-back operations within a single management structure produces compounding efficiency advantages.

Figure 1 — Timeline variance: integrated vs. siloed model



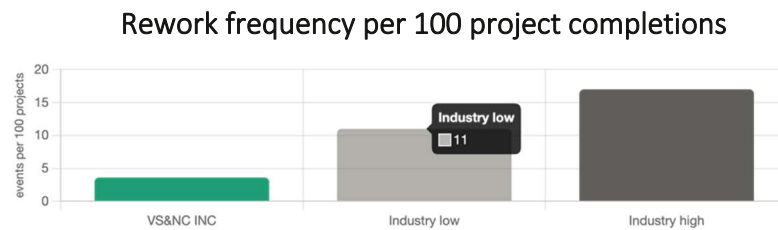
Qualitative analysis identified two primary mechanisms underlying the timeline performance advantage. First, the integrated company can reallocate personnel across service lines in response to scheduling pressures without negotiating with separate subcontracting firms. When a tower project completes ahead of schedule, crew members with relevant cross-training can be deployed to support an adjacent HDD or fiber operation without delay. Second, the absence of inter-subcontractor handoff points eliminates a documented source of schedule disruption. In siloed configurations, delays at one subcontractor's work front frequently create cascading delays for the next subcontractor in the sequence, because neither party has contractual authority over the other's scheduling decisions.

Rework Frequency

VS&NC INC recorded 3.6 rework events per 100 project completions across the 2025 portfolio. Industry benchmark data from the Fiber Broadband Association and NATE indicate that rework rates of 11 to 17 events per 100 completions are typical for telecommunications

construction projects executed under siloed subcontracting arrangements. The VS&NC INC figure falls at the lower end of what the literature on integrated contracting in adjacent industries would predict, consistent with the quality outcomes observed in EPC and design-build arrangements in oil and gas and highway construction.

The qualitative data reveal that the primary driver of reduced rework in the integrated model is the continuity of quality standards across project phases. In a siloed configuration, each subcontractor applies its own quality control protocols, and discrepancies in standard interpretation at the interface between subcontractors are a common source of remediation requirements. In VS&NC INC's integrated model, a single quality standard governs all three service lines, applied by a workforce that rotates across disciplines and internalizes the standard as a unified operational norm rather than as an externally imposed compliance requirement.



Safety Performance

VS&NC INC recorded a total recordable incident rate (TRIR) of 1.2 per 200,000 work hours across the 2025 portfolio. The Bureau of Labor Statistics reports an industry average TRIR of 3.1 for specialty trade contractors in the telecommunications and utility construction sector. The company's TRIR of 1.2 represents a 61% reduction relative to the industry average, a difference with both operational and financial significance, since safety incidents generate direct costs in medical treatment, lost work days, and OSHA recordkeeping obligations, as well as indirect costs in crew disruption, reputational damage, and client relationship risk.

The safety performance advantage is directly attributable to the integrated model's capacity to maintain a unified safety training system across all service lines. Mr. Charnetski serves as the company's primary safety officer and holds accreditation as a Safety LMS trainer. This centralized safety function means that every field employee, whether working on tower, HDD, or fiber operations, receives training delivered by the same trainer, using the same protocols, reinforced by the same organizational culture. In siloed configurations, safety training is the responsibility of each individual subcontractor, producing a fragmented safety landscape in which standards vary across firms and cross-discipline hazard recognition is systematically underdeveloped.

The Downtown Disney venue project illustrates the safety performance of the integrated model under extreme conditions. The project required nighttime operations on the roof of an occupied and actively operating entertainment structure, with stringent requirements for noise control, debris containment, and the protection of venue personnel and guests below. The project was completed without a single recordable safety incident and received a formal commendation from the client. The organizational capacity to execute this project safely reflected months of accumulated safety training and crew discipline that a freshly assembled siloed subcontracting team could not have replicated.

Workforce Retention

VS&NC INC recorded a 12-month field personnel retention rate of 78% for the 2025 operating year. Industry benchmark data from NATE and the Associated General Contractors indicate that retention rates for telecommunications construction field personnel typically range from 45% to 60%, reflecting the high mobility of a workforce with transferable skills and significant demand from competing employers. The VS&NC INC retention rate of 78% represents a

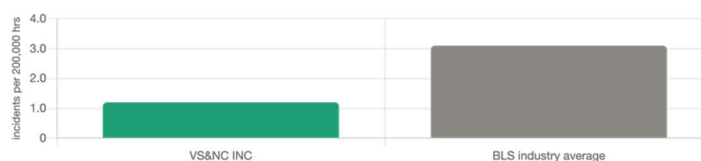
meaningful advantage in an operating environment where crew continuity is a primary determinant of productivity and quality outcomes.

Qualitative analysis identifies three mechanisms underlying the retention advantage. First, the integrated model offers field personnel opportunities for cross-disciplinary skill development that the siloed model forecloses. A tower technician who can also operate as a fiber splicer or assist with HDD locate work is a more versatile and better-compensated employee than one whose skills are confined to a single service line. This versatility creates an employee value proposition that the siloed model cannot match. Second, the stable crew composition that results from higher retention compounds over time, producing the crew familiarity effects that Thomas and Yiakoumis (1987) identified as productivity drivers. Third, the unified safety culture that the integrated model sustains appears to generate a sense of organizational identity and mutual accountability among field personnel that supports retention independent of compensation alone.

DISCUSSION

Implications for Industry Practice

The findings of this study have direct implications for how telecommunications construction is organized and procured. The dominant assumption in the industry, that specialization produces superior outcomes and that coordination costs are manageable through general contractor oversight, is not supported by the operational data presented here. The integrated multi-discipline model consistently outperforms the siloed benchmark across all four outcome dimensions examined, and the qualitative analysis identifies the mechanisms through which it does so.



For general contractors and program management companies overseeing large telecommunications buildout programs, these findings suggest that contractor selection criteria should include evaluation of multi-discipline capability as a quality and schedule risk factor, not merely as a procurement convenience. The current tendency to award tower, HDD, and fiber contracts to separate specialist subcontractors may be administratively simpler but introduces coordination costs and performance risks that compound as program scale increases. As the BEAD Program begins directing billions of dollars of federal funding through the contractor market, the organizational model through which that funding flows will determine in significant measure whether national broadband deployment timelines are met.

For smaller telecommunications construction firms considering their growth strategies, the findings suggest that deliberate investment in multi-discipline capability represents a more durable competitive advantage than deepening specialization in a single service line. The cross-training investments required to develop a genuinely integrated workforce are substantial, but the retention, productivity, and quality advantages documented here indicate that those investments generate measurable returns.

5.2 Implications for Federal Broadband Policy

The federal BEAD Program's procurement framework was designed to maximize competitive access and ensure that federal broadband funding reaches a diverse range of contractors, including small and disadvantaged businesses. These are legitimate policy objectives. However, the current framework does not adequately account for the operational superiority of integrated multi-discipline contractors in the context of large-scale, geographically dispersed deployment programs.

NTIA and state broadband offices administering BEAD funds should consider incorporating multi-discipline capability assessments into contractor qualification processes. Projects that require tower co-location, underground conduit installation, and fiber termination within a single geographic area, which describes the majority of last-mile broadband deployments, are prime candidates for integrated contractor procurement. Disaggregating these projects across multiple specialty subcontractors introduces the coordination inefficiencies documented in this study and increases the probability of schedule delays that will be politically and contractually consequential for state broadband offices.

Additionally, federal workforce development programs in the telecommunications sector should consider incentivizing cross-discipline training pathways. Current funding mechanisms tend to support discipline-specific certification programs, such as tower climbing safety certification or fiber splicing qualification. Programs that fund the development of multi-discipline field technicians capable of contributing across tower, HDD, and fiber operations would produce a more resilient telecommunications construction workforce and address the workforce shortage that currently represents the primary operational constraint on the national broadband buildout.

Limitations and Future Research

This study has several limitations that should be acknowledged. The primary dataset reflects the experience of a single company operating in a specific set of markets and under a specific set of contractual relationships. While the scale of the dataset, more than 210 projects across multiple states and service lines, provides a reasonable empirical foundation for the findings, replication across additional integrated multi-discipline contractors would strengthen the generalizability of the conclusions.

The comparative benchmark data for siloed subcontractors are drawn from industry reports and aggregate general contractor data rather than from project-level records of comparable firms, which limits the precision of the performance comparisons. Future research should seek project-level comparative data from general contractors willing to share subcontractor performance records across integrated and siloed configurations, enabling more controlled statistical analysis.

Future research should also examine the transition costs associated with moving from a siloed to an integrated model, including the investment required to develop cross-trained personnel, acquire multi-discipline equipment, and build the management systems necessary to coordinate across service lines. The findings of this study demonstrate the operational advantages of the integrated model once established, but do not address the organizational challenges of reaching that state from a specialized starting position.

CONCLUSION

This paper presents the first empirical comparison of integrated and siloed subcontracting models in telecommunications construction, drawing on project-level operational data from a multi-discipline contractor operating across wireless tower construction, horizontal directional drilling, and fiber optic installation in the United States market. The findings consistently favor the integrated model across all four outcome dimensions examined: timeline variance, rework frequency, safety incident rates, and workforce retention.

The organizational mechanisms underlying these advantages are identifiable and transferable: the elimination of inter-subcontractor coordination interfaces, the development of cross-trained field personnel with broader skill sets and stronger organizational identity, the application of unified quality and safety standards across all service lines, and the capacity to reallocate resources dynamically across disciplines in response to scheduling demands.

The national significance of these findings extends beyond operational efficiency. The United States is executing an unprecedented telecommunications infrastructure buildout under

severe workforce constraints and ambitious federal timelines. The organizational model through which this buildout is delivered will determine whether it succeeds. The integrated multi-discipline contractor represents an underrecognized and understudied configuration that the evidence presented here suggests is operationally superior for large-scale, multi-discipline telecommunications deployment.

The academic literature on telecommunications construction remains thin relative to the sector's economic and policy importance. This paper contributes an empirical foundation for future research on subcontracting organization, crew productivity, and workforce development in a field that will define the quality of American communications infrastructure for the next generation.

REFERENCES

- Ariaratnam, S.T., Lueke, J.S., and Botsis, C. (2006). Evaluation of horizontal directional drilling in urban areas. *Journal of Infrastructure Systems*, 12(3), 135-143.
- Associated General Contractors of America (2024). Construction Workforce Survey. AGC, Washington, DC.
- Baumert, M.E., Brachman, A.D., and Marte, C.L. (2005). Predicting inadvertent returns during horizontal directional drilling. *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*, 131(7), 882-890.
- Bureau of Labor Statistics (2024). Occupational Outlook Handbook: Telecommunications. U.S. Department of Labor, Washington, DC.
- Cheng, E.W., Li, H., Love, P.E., and Irani, Z. (2010). Network communication in the construction industry. *Corporate Communications: An International Journal*, 6(2), 61-70.
- Dai, J., Goodrum, P.M., and Maloney, W.F. (2009). Construction craft workers' perceptions of the factors affecting their productivity. *Journal of Construction Engineering and Management*, 135(3), 217-226.
- Dubois, A. and Gadde, L.E. (2002). The construction industry as a loosely coupled system: Implications for productivity and innovation. *Construction Management and Economics*, 20(7), 621-631.
- Eccles, R.G. (1981). The quasifirm in the construction industry. *Journal of Economic Behavior and Organization*, 2(4), 335-357.
- Fiber Broadband Association (2024). Fiber Broadband Deployment Outlook. FBA, Washington, DC.
- Gransberg, D.D. and Molenaar, K.R. (2004). Analysis of owner's design and construction quality management approaches in design/build projects. *Journal of Management in Engineering*, 20(4), 162-169.
- Infrastructure Investment and Jobs Act (2021). Public Law 117-58, 117th Congress, United States.
- Lueke, J.S., Ariaratnam, S.T., and Botsis, C. (2005). Surface heave observation during horizontal directional drilling of a large diameter pipeline. *Tunnelling and Underground Space Technology*, 20(2), 182-191.
- Meng, X. (2012). The effect of relationship management on project performance in construction. *International Journal of Project Management*, 30(2), 188-198.
- Morrow, E.W. (2011). *Industrial Megaprojects: Concepts, Strategies, and Practices for Success*. Wiley, Hoboken, NJ.
- Minchin, R.E., Li, X., Issa, R.R., and Vargas, G.G. (2013). Comparison of cost and time performance of design-build and design-bid-build delivery systems in Florida. *Journal of Construction Engineering and Management*, 139(10), 04013007.
- National Association of Tower Erectors (2025). NATE Annual Industry Report. NATE, Watertown, SD.

- NTIA (2024). BEAD Program Implementation Guide. National Telecommunications and Information Administration, Washington, DC.
- Rojas, E.M. and Aramvareekul, P. (2003). Is construction labor productivity really declining? *Journal of Construction Engineering and Management*, 129(1), 41-46.
- Thomas, H.R. and Yiakoumis, I. (1987). Factor model of construction productivity. *Journal of Construction Engineering and Management*, 113(4), 623-639.
- Vrijhoef, R. and Koskela, L. (2000). The four roles of supply chain management in construction. *European Journal of Purchasing and Supply Management*, 6(3-4), 169-178.
- Williamson, O.E. (1985). *The Economic Institutions of Capitalism*. Free Press, New York.
- 26th Annual HDD Industry Survey (2024). *Underground Construction and Trenchless Technology*. Oildom Publishing, Houston, TX.

Development of regulatory documentation for semi-smoked sausages with enhanced safety indicators

Bekakhmetov A.M

PhD student, S.Seifullin Kazakh AgroTechnical Research University, Kazakhstan, Astana

The current operating conditions of meat processing enterprises are characterized by increasingly stringent food safety requirements and the need to harmonize them with the standards of the Eurasian Economic Union. In this regard, the development and updating of regulatory documentation for semi-smoked sausages is becoming systemic and is considered a tool for quality and risk management at all stages of the product life cycle.

In contrast to the traditional approach, in which regulatory documents are primarily descriptive, the development of a structured system of requirements focused on hazard prevention is proposed. The development is based on the provisions, as well as the principles of risk-based management, which take into account the specifics of raw materials, technological processes, and storage conditions.

An analysis of current process flow charts for the production of semi-smoked sausages shows that the highest probability of deviations is associated not so much with individual operations, but rather with insufficient regulation of interoperational transitions and control of process parameters. This manifests itself in the instability of recipe ratios, variability in heat treatment modes, and the lack of a unified approach to assessing the safety of finished products. In this regard, it is proposed to include requirements for the standardization of critical production parameters and the establishment of their permissible ranges in regulatory documentation.

An essential element of the regulatory framework being developed is the integration of hazard identification procedures and the establishment of critical control points. Unlike the formal implementation of the HACCP system, it is proposed to adapt it to the specific conditions of semi-smoked sausage production, taking into account factors influencing the formation of residual nitrites, the development of microflora, and the formation of by-products during thermal processing. This allows for increased control accuracy and ensures targeted risk management.

Additionally, it is proposed to include requirements for the digitalization of production processes in the regulatory documentation. The use of automated systems for monitoring and recording parameters (temperature, humidity, processing time) ensures product traceability and forms the basis for deviation analysis. This approach enables a transition from reactive quality control to preventive safety management.

An important area of focus is also the regulation of requirements for packaging and storage conditions of products. Establishing gas environment parameters, temperature regimes, and shelf life tailored to product characteristics minimizes the risk of secondary contamination and extends shelf life without compromising quality.

The proposed approaches to developing regulatory documentation ensure increased standardization of production processes, reduced variability in quality indicators, and product compliance. Practical implementation of the developed provisions contributes to increased production efficiency, reduced losses, and stronger competitiveness in meat industry enterprises.

SÜNİ İNTELLEKT ƏSASLI AVTONOM COĞRAFI İNFORMASIYA SİSTEMLƏRİNİN FORMALAŞMASI, TƏTBİQ İMKANLARI VƏ İNKİŞAF PROBLEMLƏRİ

Gültən Məhərrəmli Naib

Magistrant , Azərbaycan Respublikasının Prezidenti Yanında Dövlət İdarəçilik Akademiyası

Xülasə

Müasir dövrdə məkan məlumatlarının artan həcmi, şəhərsalma, nəqliyyat, ekologiya, kənd təsərrüfatı, fəvqəladə halların idarə olunması və təbii resursların monitorinqi kimi sahələrdə daha çevik və dəqiq qərarların qəbul edilməsini zəruri edir. Bu prosesdə Coğrafi İnformasiya Sistemləri mühüm analitik texnologiya kimi çıxış edir. CİS yalnız xəritə hazırlamaq və məlumatları vizual formada təqdim etmək vasitəsi deyil, həm də məkan əlaqələrinin təhlili, obyektlərarası münasibətlərin müəyyənləşdirilməsi və mürəkkəb qərarların əsaslandırılması üçün istifadə olunan kompleks informasiya sistemidir. Son illərdə süni intellekt, xüsusilə generativ süni intellekt və böyük dil modellərinin inkişafı CİS sahəsində yeni mərhələnin başlanmasına səbəb olmuşdur. Bu mərhələ ənənəvi CİS-dən daha ağıllı, avtomatlaşdırılmış və müəyyən dərəcədə müstəqil fəaliyyət göstərə bilən avtonom CİS sistemlərinə keçidlə xarakterizə olunur. Məqalənin əsas məqsədi süni intellekt əsaslı avtonom CİS-in mahiyyətini, nəzəri əsaslarını, funksional imkanlarını, avtomatlaşdırma səviyyələrini, praktik tətbiq nümunələrini və inkişaf problemlərini təhlil etməkdir. Məqələdə CİS-in tarixi inkişafı, əsas komponentləri, məlumat modelləri və tətbiq sahələri izah edilir, daha sonra süni intellektlə integrasiya nəticəsində yaranan avtonom CİS anlayışı araşdırılır. Xüsusilə LLM-Geo, LLM-Cat və GIS Copilot kimi sistemlərin məkan analizi, kartoqrafiya və relyef təhlili sahəsindəki tətbiqləri nəzərdən keçirilir. Nəticə olaraq müəyyən edilir ki, avtonom CİS texnologiyaları məkan analizlərini daha sürətli, əlçatan və avtomatlaşdırılmış edə bilsə də, onların geniş tətbiqi məlumat keyfiyyəti, koordinat sistemləri, model etibarlılığı, nəticələrin yoxlanılması, insan nəzarəti və təhlükəsizlik məsələlərinin həllindən asılıdır.

Açar sözlər: Coğrafi İnformasiya Sistemləri, CİS, süni intellekt, avtonom CİS, GeoAI, böyük dil modelləri, LLM-Geo, LLM-Cat, GIS Copilot, məkan analizi, kartoqrafiya.

Giriş

Müasir informasiya cəmiyyətində məlumatların böyük hissəsi məkanla bağlı xarakter daşıyır. İnsanların yaşayış yerləri, nəqliyyat axınları, torpaq ehtiyatları, təbii resurslar, sosial xidmət obyektləri, sənaye müəssisələri, ekoloji risk zonaları və infrastruktur şəbəkələri müəyyən coğrafi mövqelə əlaqəlidir. Buna görə də real hadisə və prosesləri yalnız statistik və mətn əsaslı məlumatlarla deyil, həm də onların məkan üzrə yerləşməsi və qarşılıqlı əlaqələri əsasında öyrənmək zəruridir (Agarwal et al., 2024). Bu zərurət Coğrafi İnformasiya Sistemlərinin meydana gəlməsinə və inkişafına səbəb olmuşdur.

Coğrafi İnformasiya Sistemləri məkan məlumatlarının toplanması, saxlanması, emalı, təhlili və vizual təqdimatı üçün istifadə olunan texnoloji sistemlərdir. CİS istifadəçiyə yalnız “nə baş verir?” sualına deyil, həm də “harada baş verir?”, “nə ilə əlaqəlidir?”, “nə zaman dəyişir?” və “gələcəkdə necə inkişaf edə bilər?” kimi suallara cavab tapmaq imkanı verir. Bu baxımdan CİS müasir dövrdə sadəcə xəritəçəkmə vasitəsi deyil, məkan əsaslı qərar qəbuletmənin mühüm analitik platformasıdır. Son illərdə süni intellekt texnologiyalarının inkişafı CİS sahəsində ciddi dəyişikliklər yaratmışdır (Akinboyewa et al., 2024). Ənənəvi CİS əməliyyatlarında istifadəçi

məlumatları özü seçir, emal mərhələlərini özü qurur, uyğun analiz alətlərini müəyyən edir və nəticələri özü şərh edirdi. Lakin süni intellekt əsaslı sistemlərin inkişafı bu proseslərin bir hissəsinin avtomatlaşdırılmasına şərait yaratmışdır. Artıq böyük dil modelləri istifadəçinin təbii dildə verdiyi sorğunu anlama, onu məkan analizi tapşırığına çevirə, uyğun məlumat mənbələrini seçə, Python və ya digər proqramlaşdırma mühitlərində kod yarada, xəritə hazırlaya və nəticələri izah edə bilər.

Bu dəyişikliklər “avtonom CİS” anlayışını gündəmə gətirmişdir. Avtonom CİS dedikdə, istifadəçi tərəfindən verilən məkan problemini qəbul edən, bu problemi mərhələlərə ayıran, uyğun məlumatları və analiz metodlarını müəyyən edən, əməliyyatları icra edən, nəticələri yoxlayan və onları xəritə, qrafik, cədvəl və hesabat formasında təqdim edən süni intellekt əsaslı CİS sistemi başa düşülür (Anthropic, 2024). Belə sistemlər tam müstəqil olmasa da, ənənəvi CİS ilə müqayisədə daha yüksək avtomatlaşdırma və intellektual qərarvermə imkanlarına malikdir.

Mövzunun aktuallığı ondan ibarətdir ki, avtonom CİS hələ formalaşmaqda olan texnologiyadır. Bu texnologiya böyük imkanlar təqdim etsə də, onun tətbiqi bir sıra problemlərlə müşayiət olunur. Məkan məlumatlarının keyfiyyəti, koordinat sistemlərinin düzgün seçilməsi, proyeksiyaların idarə olunması, topoloji əlaqələrin anlaşılması, model nəticələrinin etibarlılığı, süni intellektin mümkün səhvləri, insan nəzarətinin səviyyəsi və məlumat təhlükəsizliyi bu problemlərin əsas istiqamətləridir. Buna görə də avtonom CİS-in inkişafını yalnız texnoloji yenilik kimi deyil, həm də elmi, metodoloji və praktiki problem kimi təhlil etmək vacibdir.

CİS-in nəzəri əsasları və inkişaf xüsusiyyətləri

Coğrafi İnformasiya Sistemlərinin əsas mahiyyəti məkan və atribut məlumatlarının vahid sistemdə birləşdirilməsi ilə bağlıdır. Məkan məlumatları obyektlərin coğrafi mövqeyini, formasını və yerləşmə xüsusiyyətlərini göstərir. Atribut məlumatları isə həmin obyektlərin kəmiyyət və keyfiyyət göstəricilərini ifadə edir (Atıl et al., 2024). Məsələn, bir məktəbin xəritə üzərində koordinatları onun məkan məlumatıdır, məktəbin adı, şagird sayı, tipi və tikilmə ili isə atribut məlumatıdır. CİS bu iki məlumat növünü əlaqələndirərək obyektləri yalnız statistik cədvəl kimi deyil, real coğrafi mühitin elementi kimi təhlil etməyə imkan verir.

CİS-in mühüm üstünlüklərindən biri tematik qatlar prinsipidir. Bu prinsipə görə, real dünyaya aid müxtəlif obyekt və hadisələr ayrı-ayrı xəritə qatları şəklində təqdim olunur. Məsələn, yollar, binalar, su hövzələri, torpaq istifadəsi, əhali sıxlığı, inzibati sərhədlər və ya yaşıllıq sahələri müxtəlif qatlar formasında sistemə daxil edilə bilər (AutoGluon, 2025). Bu qatların ayrı-ayrılıqda və birlikdə təhlili müxtəlif məkan problemlərinin həllində mühüm rol oynayır. Şəhərsalma zamanı əhali sıxlığı, nəqliyyat şəbəkəsi və sosial infrastruktur qatlarının birlikdə təhlili daha düzgün planlaşdırma qərarlarının qəbul edilməsinə şərait yaradır.

CİS-in tarixi inkişafına nəzər saldıqda onun köklərinin klassik kartoqrafiya və məkan analizinə qədər uzandığı görünür. Hələ XIX əsrdə xəstəliklərin yayılmasının xəritə üzərində göstərilməsi məkan analizinin ilkin nümunələrindən biri hesab olunurdu. John Snow-un London xolera xəritəsi xəstəlik hallarının məkan üzrə paylanmasını araşdırmaq və xəstəliyin mənbəyini müəyyənləşdirmək baxımından tarixi əhəmiyyət daşımışdır. Lakin müasir mənada CİS-in formalaşması kompüter texnologiyalarının inkişafı ilə bağlıdır. XX əsrin ikinci yarısında Roger Tomlinson tərəfindən hazırlanan Canada Geographic Information System ilk əməliyyat xarakterli CİS nümunələrindən biri kimi qəbul edilir. CİS-in inkişafında aparat təminatı, proqram təminatı, məlumatlar, istifadəçilər və metodlar əsas komponentlər kimi çıxış edir. Aparat təminatı sistemin işlədiyi texniki mühiti, proqram təminatı məlumatların emalı və təhlili üçün istifadə olunan funksional vasitələri, məlumatlar sistemin əsas informasiya bazasını, istifadəçilər isə texnologiyanın real problemlərə tətbiqini təmin edir. Metodlar və prosedurlar isə məlumatların necə toplanacağını, necə saxlanacağını, necə yenilənəcəyini və necə istifadə olunacağını müəyyən edir. Bu komponentlərdən hər hansı birinin zəif olması CİS-in ümumi effektivliyinə mənfi təsir göstərə bilər.

CİS-də istifadə olunan əsas məlumat modelləri vektor, rastr və təsvir modelləridir. Vektor modelində obyektlər nöqtə, xətt və sahə formasında təqdim olunur. Nöqtələr məktəblər, xəstəxanalar və dayanacaqlar kimi obyektləri, xətlər yollar, çaylar və boru xətlərini, sahələr isə torpaq sahələri, göllər və inzibati əraziləri göstərmək üçün istifadə olunur. Rastr modeli isə coğrafi məkanı hüceyrələr və ya piksellər şəklində təqdim edir. Bu model temperatur, yüksəklik, yağıntı, torpaq rütubəti və bitki örtüyü kimi davamlı dəyişən hadisələrin təsviri üçün daha uyğundur. Təsvir modeli isə peyk şəkilləri və aerofotoşəkillər kimi vizual məlumatların CİS mühitində istifadəsini təmin edir. Dövlət idarəçiliyi, hərbi planlaşdırma, ekologiya, təbii resursların idarə olunması, kənd təsərrüfatı, səhiyyə, nəqliyyat, turizm, təhsil və biznes CİS-in geniş istifadə olunduğu sahələrdir. Xüsusilə fövqəladə halların idarə olunması, daşqın və zəlzələ risklərinin qiymətləndirilməsi, optimal marşrutların seçilməsi, kommunal şəbəkələrin idarə olunması və torpaqdan istifadə planlaşdırılması CİS-in praktik əhəmiyyətini göstərən mühüm nümunələrdir.

Süni intellekt və CİS integrasiyasının mahiyyəti

Süni intellektin CİS ilə integrasiyası geoinformasiya texnologiyalarının inkişafında yeni mərhələ hesab olunur. Əgər ənənəvi CİS daha çox istifadəçinin verdiyi əmrləri icra edən sistem idisə, süni intellektlə integrasiya olunmuş CİS istifadəçinin məqsədini anlamağa, uyğun əməliyyat ardıcılığı yaratmağa və müəyyən dərəcədə qərar qəbul etməyə başlayır (Baek et al., 2024). Bu dəyişiklik CİS-in passiv texniki alətdən aktiv analitik köməkçiyə çevrilməsinə səbəb olur.

Süni intellekt əsaslı CİS sistemləri bir neçə istiqamətdə istifadə oluna bilər. Birinci istiqamət məlumatların hazırlanmasıdır. Bu mərhələdə sistem müxtəlif mənbələrdən məlumatları toplayır, formatları uyğunlaşdırır, çatışmayan məlumatları müəyyən edir və analiz üçün ilkin baza hazırlayır. İkinci istiqamət geoişləmə əməliyyatlarının avtomatlaşdırılmasıdır. Buraya bufer zonalarının yaradılması, məkan birləşdirmələri, kəsmə, proyeksiyanın dəyişdirilməsi, məsafə və sahə hesablamaları, obyektlərin təsnifatı və digər əməliyyatlar daxildir. Üçüncü istiqamət modelləşdirmə və proqnozlaşdırma. Bu sahədə süni intellekt daşqın riski, torpaq istifadəsi dəyişiklikləri, nəqliyyat sıxlığı və ekoloji dəyişikliklər kimi prosesləri təhlil edə bilər. Dördüncü istiqamət isə xəritə və hesabatların avtomatik hazırlanmasıdır.

Generativ süni intellekt və böyük dil modelləri bu integrasiyada xüsusi rol oynayır. Böyük dil modelləri istifadəçi ilə təbii dildə ünsiyyət qurmaq, verilmiş tapşırığı anlamaq, onu mərhələlərə bölmək və icra oluna bilən texniki prosesə çevirmək imkanına malikdir (Bryson, 2024). Məsələn, istifadəçi sistemə “bu ərazidə məktəblərin 1 kilometr radiusda piyada əlçatanlığını hesabla və xəritə hazırla” kimi tapşırıq verdikdə, süni intellekt əvvəlcə bu tapşırığın hansı məlumatlara ehtiyac duyduğunu müəyyən edir, sonra məktəb nöqtələri, yol şəbəkəsi və piyada yolları kimi məlumatları seçir, bufer zonaları yaradır, uzunluqları hesablayır, nisbətləri müəyyən edir və nəticəni xəritə formasında təqdim edir.

Bu yanaşma CİS-in daha geniş istifadəçi kütləsi üçün əlçatan olmasına şərait yaradır. Əvvəllər mürəkkəb məkan analizlərini aparmaq üçün istifadəçidən CİS proqramlarını dərinlən bilmək, geoişləmə alətlərindən istifadə etməyi bacarmaq və proqramlaşdırma biliklərinə malik olmaq tələb olunurdu. Avtonom CİS sistemləri isə təbii dil interfeysi vasitəsilə bu maneələri müəyyən qədər azaldır. Beləliklə, CİS yalnız peşəkar geoinformatika mütəxəssisləri üçün deyil, planlaşdırıcılar, ekoloqlar, səhiyyə işçiləri, müəllimlər, idarəçilər və digər sahələrin nümayəndələri üçün də daha praktik alətə çevrilə bilər.

Avtonom CİS anlayışı və funksional imkanları

Avtonom CİS süni intellekt əsaslı CİS-in daha inkişaf etmiş formasıdır. Bu anlayış məkan problemlərinin həllində sistemin minimum insan müdaxiləsi ilə fəaliyyət göstərə bilməsini ifadə edir. Avtonom CİS konkret bir proqramdan daha çox, yeni texnoloji paradigma kimi başa düşülməlidir. Bu paradigmada CİS agentləri istifadəçi sorğularını qəbul edir, problemi anlayır, plan qurur, məlumatları seçir, analiz aparır, nəticələri yoxlayır və onları istifadəçiyə təqdim edir.

Avtonom CİS-in əsas funksional istiqamətlərindən biri qərarvermədir. Qərarvermə funksiyası sistemin hansı məlumatlardan istifadə edəcəyini, hansı alətləri seçəcəyini və analiz mərhələlərini hansı ardıcılıqla icra edəcəyini müəyyən etməsi ilə bağlıdır. İkinci mühüm funksiya məlumatların hazırlanmasıdır. Bu mərhələdə sistem uyğun məlumat mənbələrini tapmalı, onların keyfiyyətini qiymətləndirməli, məkan və atribut uyğunluğunu yoxlamalıdır (Colorado General Assembly, 2024). Üçüncü funksiya məlumat əməliyyatlarıdır. Buraya transformasiya, filtrasiya, məkan analizi, modelləşdirmə və vizuallaşdırma daxildir. Dördüncü funksiya yaddaşın idarə olunmasıdır. Sistem əvvəlki tapşırıqları, uğurlu və uğursuz nəticələri yadda saxlayaraq gələcək fəaliyyətində istifadə edə bilər. Beşinci funksiya isə sistemin özünü yeniləməsi və inkişaf etdirməsidir.

Avtonom CİS-in beş əsas məqsədi qeyd oluna bilər: öz-özünə generasiya etmə, öz-özünə icra etmə, öz-özünü yoxlama, öz-özünə təşkilatlanma və öz-özünə inkişaf etmə. Öz-özünə generasiya etmə sistemin hipotez, iş axını, kod, xəritə və hesabat yarada bilməsi deməkdir. Öz-özünə icra etmə bu yaradılmış iş axınının praktik olaraq həyata keçirilməsini nəzərdə tutur. Öz-özünü yoxlama sistemin öz nəticələrini qiymətləndirməsi, səhvləri müəyyən etməsi və düzəlişlər aparması ilə bağlıdır. Öz-özünə təşkilatlanma resursların, vaxtın və tapşırıqların idarə olunmasını ifadə edir. Öz-özünə inkişaf etmə isə sistemin əvvəlki təcrübələrdən öyrənərək gələcəkdə daha yaxşı nəticələr verməsi deməkdir.

Lakin bu məqsədlərin hamısına eyni anda və tam şəkildə nail olmaq hələ mümkün deyil. Mövcud sistemlər daha çox müəyyən funksiyalar üzrə ixtisaslaşmış prototiplər və ilkin tətbiqlər formasındadır. Buna görə də avtonom CİS-in inkişafı mərhələli proses kimi qiymətləndirilməlidir.

Avtonom CİS-in avtomatlaşdırma səviyyələri

Avtonom CİS sistemlərini avtomatlaşdırma və muxtariyyət səviyyəsinə görə təsnif etmək mümkündür. Sıfırıncı səviyyə avtomatlaşdırmanın olmadığı ənənəvi CİS mərhələsidir. Bu mərhələdə bütün əməliyyatlar insan tərəfindən müəyyən edilir və icra olunur. Sistem yalnız texniki vasitə rolunu oynayır.

Birinci səviyyə rutinləri tanıyan CİS kimi izah olunur. Bu mərhələdə istifadəçi tərəfindən əvvəlcədən müəyyən edilmiş təkrarlanan əməliyyatlar avtomatik icra edilir. Məsələn, məlumatların yüklənməsi, proyeksiyanın dəyişdirilməsi və müəyyən sərhədlər üzrə kəsilməsi kimi proseslər modellər və skriptlər vasitəsilə avtomatlaşdırıla bilər. Lakin prosesin məntiqi quruluşunu yenə də insan müəyyən edir. (Cook, 2024)

İkinci səviyyə iş axınını tanıyan CİS-dir. Bu mərhələdə sistem verilmiş tapşırıq əsasında uyğun geoşləmə ardıcılığını yarada bilər. Məsələn, istifadəçi daşqın riski xəritəsinin hazırlanmasını tələb etdikdə sistem yüksəklik modeli, hidroloji analiz, ərazi meyilliyi və su axını istiqaməti kimi mərhələləri müəyyən edə bilər. Bu səviyyədə süni intellekt artıq daha fəal rol oynayır, lakin insan nəzarəti hələ də zəruridir. (Ferrara, 2023)

Üçüncü səviyyə məlumatı tanıyan CİS-dir. Burada sistem yalnız verilmiş məlumatlardan istifadə etmir, həm də tapşırığa uyğun yeni məlumat mənbələrini seçə və hazırlaya bilər. Məsələn, yaşıl ərazilərin xəritələşdirilməsi üçün peyk təsvirlərini, inzibati sərhədləri və torpaq istifadəsi məlumatlarını özü müəyyən edə bilər. Bu mərhələdə əsas problem məlumat keyfiyyəti və uyğunluğunun düzgün qiymətləndirilməsidir. (Feurer et al., 2022)

Dördüncü səviyyə nəticəni tanıyan CİS-dir. Bu sistem əldə etdiyi nəticələri qiymətləndirir, onları gözləntilərlə müqayisə edir və lazım gəldikdə iş axınını dəyişdirir. Məsələn, nəqliyyat sıxlığı modelinin nəticələri real sensor məlumatları ilə uyğun gəlmədikdə sistem model parametrlərini dəyişdirir və ya bəzi məlumat mənbələrini yeniləyə bilər.

Beşinci səviyyə bilik əsaslı CİS-dir. Bu, tam avtonom sistemə ən yaxın mərhələdir. Belə sistem əvvəlki tapşırıqlardan öyrənir, uğurlu və uğursuz nəticələrdən qaydalar çıxarır, strategiyalarını yeniləyir və insan müdaxiləsi olmadan mürəkkəb məkan analizlərini həyata keçirə bilər. Lakin bu səviyyə hazırda daha çox nəzəri və perspektiv xarakter daşıyır. Çünki süni intellekt

modellərinin sahəyə aid xüsusi bilikləri, etibarlılıq səviyyəsi və özünü qiymətləndirmə bacarığı hələ tam formalaşmamışdır.

LLM-Geo sisteminin məkan analizində tətbiqi

Avtonom CİS agentlərinin praktik tətbiq nümunələrindən biri LLM-Geo sistemidir. LLM-Geo təbii dildə verilən istifadəçi sorğularını qəbul edərək onları məkan analizi prosesinə çevirən süni intellekt əsaslı CİS agenti kimi xarakterizə olunur. Bu sistem istifadəçinin verdiyi problemi mərhələlərə ayırır, uyğun məlumatları müəyyən edir, geoişləmə iş axını yaradır, Python kodu formalaşdırır və nəticələri xəritə və hesabat şəklində təqdim edir. (Gahegan, 2020)

LLM-Geo-nun tətbiq nümunələrindən biri məktəblərin piyada əlçatanlığının qiymətləndirilməsi ilə bağlıdır. Bu tapşırıqda sistemdən məktəblər ətrafında 1 kilometr radiuslu bufer zonası daxilində səki uzunluğunun yol uzunluğuna nisbətini hesablamaq tələb olunmuşdur. Bu göstərici məktəbin piyada əlçatanlığını qiymətləndirmək üçün istifadə edilmişdir. Sistem məktəb obyektlərini, yol şəbəkəsini və piyada yollarını analiz etmiş, bufer zonaları yaratmış, uzunluqları hesablamış və hər bir məktəb üçün xəritə hazırlamışdır. LLM-Geo istifadəçi tərəfindən açıq şəkildə göstərilməyən bəzi məlumat strukturlarını da müəyyən edə bilir. Məsələn, məktəb adlarının hansı atribut sütununda saxlandığını istifadəçi əvvəlcədən bildirməsə də, sistem məlumat metadatasını analiz edərək uyğun sütunu müəyyənləşdirmişdir. Bu xüsusiyyət avtonom CİS agentlərinin yalnız mexaniki əməliyyat icraçısı deyil, müəyyən səviyyədə məlumatı anlama qabiliyyətinə malik olduğunu göstərir.

LLM-Geo kimi sistemlərin məhdudiyyətləri də vardır. Kodun avtomatik yaradılması səhvlərə səbəb ola bilər. Koordinat sistemlərinin düzgün seçilməməsi, atribut tiplərinin yanlış anlaşılması və ya geoişləmə ardıcılığının səhv qurulması nəticələrin etibarlılığını azalda bilər. Buna görə də belə sistemlərdə öz-özünü yoxlama mexanizmlərinin və insan nəzarətinin olması mühüm əhəmiyyət daşıyır.

LLM-Cat və avtonom kartoqrafiya

Avtonom CİS-in digər mühüm tətbiq istiqaməti kartoqrafiyadır. Xəritə hazırlamaq yalnız texniki əməliyyat deyil, həm də vizual dizayn, məqsəd, auditoriya və kontekst nəzərə alınmaqla aparılan yaradıcı və analitik prosesdir (Gallegos et al., 2024). Peşəkar kartoqraf xəritənin mövzusunu, rənglərini, miqyasını, leyendasını, başlığını, simvollarını və ümumi kompozisiyasını məqsəddə uyğun qurur. Buna görə də süni intellektin kartoqrafiyada istifadəsi yalnız məlumatları xəritəyə yerləşdirməkdən ibarət ola bilməz; sistem xəritənin vizual keyfiyyətini də qiymətləndirməlidir.

LLM-Cat bu istiqamətdə hazırlanmış kartoqrafiya agenti kimi diqqət çəkir. Bu sistem təbii dildə verilən xəritə tələblərini qəbul edir və Python kodu vasitəsilə xəritə hazırlayır. Daha sonra yaradılmış xəritəni vizual olaraq qiymətləndirir, çatışmazlıqları müəyyən edir və kodu yeniləyərək xəritəni təkmilləşdirir. Bu proses bir neçə iterasiya şəklində davam edir.

Məsələn, Pensilvaniya ştatında xəstəxanaların yerləşməsini göstərən xəritənin hazırlanması zamanı sistem xəstəxana nöqtələrini, ştat və mahal sərhədlərini, baza xəritəsini, başlığı, leyendanı, şimal oxunu və miqyas xəttini xəritəyə daxil etmişdir. Sonrakı mərhələlərdə başlığın ölçüsü, şimal oxunun yerləşməsi, nöqtələrin rəngi və baza xəritəsinin şəffaflığı kimi elementlər təkmilləşdirilmişdir.

Bu nümunə süni intellektin kartoqrafik iş prosesində istifadə oluna biləcəyini göstərir. Lakin kartoqrafik estetika və peşəkar dizayn baxımından mövcud modellərin imkanları hələ məhduddur. Süni intellekt texniki tələbləri yerinə yetirə bilsə də, xəritənin vizual balansını, oxunaqlılığını və auditoriyaya uyğunluğunu hər zaman peşəkar səviyyədə təmin edə bilmir. Buna görə də avtonom kartoqrafiya gələcəkdə inkişaf etdirilməli olan mühüm tədqiqat istiqamətlərindən biridir. (Garikapati & Sudhir Shetiya, 2024)

GIS Copilot və QGIS mühitində avtonom analiz

GIS Copilot avtonom CİS agentlərinin başqa bir praktik nümunəsidir. Bu sistem QGIS proqramı üçün plugin formasında hazırlanmışdır və istifadəçilərə mövcud QGIS analiz alətlərindən daha səmərəli istifadə etməkdə kömək edir. GIS Copilot-un LLM-Geo-dan əsas fərqi ondan ibarətdir ki, o, analiz kodunu sıfırdan yaratmaq əvəzinə, QGIS daxilində mövcud olan etibarlı geoişləmə alətlərindən istifadə edir. Bu yanaşma nəticələrin etibarlılığı baxımından üstünlük hesab oluna bilər.

GIS Copilot-un tətbiq nümunələrindən biri rəqəmsal yüksəklik modeli əsasında relyef analizlərinin aparılmasıdır. Bu tapşırıqda sistem dörd ayrı DEM faylını birləşdirmiş, məlumatları uyğun koordinat sisteminə çevirmiş, tədqiqat ərazisinin sərhədlərinə uyğun kəşmiş və daha sonra yamac meyilliyi, yamac istiqaməti və relyef nahamarlığı indeksini hesablamışdır. Bu əməliyyatlar relyef analizində geniş istifadə olunan əsas CİS funksiyalarıdır.

GIS Copilot-un üstünlüyü ondan ibarətdir ki, istifadəçi hansı alətlərdən istifadə olunacağını dəqiq göstərməsə belə, sistem tapşırığı analiz edərək uyğun QGIS alətlərini seçə bilər. Bu, CİS bilikləri məhdud olan istifadəçilər üçün mühüm imkan yaradır. Lakin burada da koordinat sistemləri, məlumat keyfiyyəti və nəticələrin doğruluğu kimi məsələlər insan tərəfindən yoxlanılmalıdır. (Goodchild et al., 2021)

Avtonom CİS-in üstünlükləri

Avtonom CİS-in əsas üstünlüklərindən biri məkan analizlərinin sürətləndirilməsidir. Ənənəvi CİS-də analitik məlumatları əl ilə yükləməli, təmizləməli, analiz ardıcılığını qurmalı və nəticələri ayrıca vizuallaşdırmalıdır. Avtonom CİS bu mərhələlərin bir hissəsini avtomatlaşdıraraq vaxt itkisini azalda bilər.

İkinci üstünlük əlçatanlıqla bağlıdır. CİS sahəsində peşəkar bilik və proqramlaşdırma bacarığı olmayan istifadəçilər təbii dil vasitəsilə məkan analizləri apara bilərlər. Bu, xüsusilə dövlət idarəçiliyi, təhsil, səhiyyə və yerli planlaşdırma sahələrində faydalı ola bilər.

Üçüncü üstünlük təkrarlanan işlərin avtomatlaşdırılmasıdır. Məlumat formatlarının dəyişdirilməsi, proyeksiyaların uyğunlaşdırılması, bufer zonalarının yaradılması və standart xəritələrin hazırlanması kimi rutin əməliyyatlar avtomatik şəkildə icra oluna bilər.

Dördüncü üstünlük kompleks modelləşdirmə imkanlarıdır. Avtonom CİS müxtəlif məlumat mənbələrini və modelləri müqayisə edərək daha əsaslandırılmış nəticələr əldə etməyə kömək edə bilər. Məsələn, daşqın riski, yoluxucu xəstəliklərin yayılması, nəqliyyat sıxlığı və torpaq istifadəsi dəyişiklikləri kimi mürəkkəb proseslərdə bir neçə alternativ modelin sınaqdan keçirilməsi mümkündür.

Beşinci üstünlük qərar dəstəyi funksiyasıdır. Avtonom CİS yalnız xəritə hazırlamır, həm də nəticələri izah edir, riskləri göstərir və tövsiyələr formalaşdırır. Bu xüsusiyyət idarəetmə qərarlarının daha əsaslı qəbul edilməsinə şərait yaradır.

Avtonom CİS-in əsas problemləri

Avtonom CİS-in inkişafında ən ciddi problemlərdən biri məlumat keyfiyyətidir. Məkan məlumatları müxtəlif mənbələrdən əldə olunduğu üçün onların dəqiqliyi, aktuallığı, əhatə dairəsi və formatı fərqli ola bilər. Yanlış və ya natamam məlumat əsasında aparılan analizlər səhv nəticələrə səbəb ola bilər. Süni intellekt sistemi bu problemləri hər zaman düzgün müəyyən edə bilməz. (Goonewardena, 2023)

İkinci problem koordinat sistemləri və proyeksiyalarla bağlıdır. CİS analizlərində koordinat sisteminin düzgün seçilməsi çox vacibdir. Məsafə və sahə hesablamaları coğrafi koordinat sistemində aparıldıqda ciddi səhvlər yarana bilər. Buna görə də avtonom CİS sistemləri koordinat istinad sistemlərini düzgün tanımalı və uyğun proyeksiyanı seçməlidir.

Üçüncü problem topoloji əlaqələrin anlaşılmasıdır. CİS-də obyektlərin qonşuluğu, kəsişməsi, birləşməsi və üst-üstə düşməsi kimi əlaqələr böyük əhəmiyyət daşıyır. Böyük dil

modelləri isə bu münasibətləri bəzən mətn səviyyəsində başa düşsə də, praktik geoişləmə zamanı səhvlər edə bilər.

Dördüncü problem nəticələrin etibarlılığıdır. Süni intellekt modeli inandırıcı izah verə bilər, lakin bu izahın texniki baxımdan doğru olması mütləq deyil. Buna görə də avtonom CİS-in yaratdığı nəticələr mütləq yoxlanılmalıdır.

Beşinci problem model qərəzliliyi və qeyri-müəyyənlikdir. Generativ süni intellekt modelləri təlim məlumatlarından asılıdır. Əgər təlim məlumatlarında qərəz və ya boşluq varsa, modelin nəticələri də bundan təsirlənə bilər. Bundan əlavə, eyni tapşırıq üçün fərqli icralarda fərqli nəticələrin alınması da mümkündür.

Altıncı problem insan nəzarətinin səviyyəsidir. Avtonom CİS nə qədər inkişaf etsə də, insanın rolu tamamilə aradan qalxmır. İnsan tapşırığın məqsədini müəyyən etməli, nəticələrin praktik mənasını qiymətləndirməli və etik, sosial, hüquqi nəticələri nəzərə almalıdır.

Gələcək inkişaf perspektivləri

Avtonom CİS-in gələcək inkişafı bir neçə istiqamətdə gözlənilir. Birinci istiqamət ixtisaslaşmış CİS agentlərinin yaradılmasıdır. Gələcəkdə məlumat toplama agent, kartoqrafiya agent, məkan analiz agent, modelləşdirmə agent və hesabat agent kimi fərqli sistemlər birlikdə işləyə bilər. Bu yanaşma insan komandalarının əməkdaşlığına bənzər şəkildə mürəkkəb məkan problemlərinin həllinə imkan verəcəkdir. (Agarwal et al., 2024)

İkinci istiqamət öz-özünü yoxlama mexanizmlərinin gücləndirilməsidir. Avtonom CİS hər bir əməliyyatdan sonra nəticənin məntiqli olub-olmadığını yoxlamalı, ara mərhələlərdə səhvləri müəyyən etməli və onları düzəltməlidir. Bu, sistemin etibarlılığını artırmaq üçün əsas şərtlərdən biridir.

Üçüncü istiqamət geospasial bilik bazalarının və bilik qrafiklərinin inteqrasiyasıdır. Süni intellekt modellərinin CİS sahəsinə aid xüsusi bilikləri artırılmalıdır. Bunun üçün retrieval-augmented generation, bilik qrafikləri və sahəyə uyğun incə tənzimləmə üsullarından istifadə oluna bilər.

Dördüncü istiqamət avtonom coğrafi modelləşdirmədir. Gələcəkdə sistemlər müxtəlif modelləri avtomatik sınaqdan keçirə, parametrləri dəyişə, nəticələri müqayisə edə və ən uyğun yanaşmanı seçə bilər. Bu, iqlim, ekologiya, səhiyyə və şəhərsalma kimi sahələrdə mühüm yeniliklər yarada bilər.

Beşinci istiqamət etik və hüquqi çərçivələrin hazırlanmasıdır. Avtonom CİS nəticələri real qərarlara təsir edə bilər. Məsələn, daşqın riski xəritəsi əsasında evakuasiya planı, torpaq istifadəsi qərarı və ya infrastruktur investisiyası müəyyən oluna bilər. Buna görə də bu sistemlərin şəffaflığı, hesabatlılığı və məsuliyyət mexanizmləri aydın olmalıdır.

Nəticə

Süni intellekt əsaslı avtonom Coğrafi İnformasiya Sistemləri CİS sahəsində yeni inkişaf mərhələsini ifadə edir. Bu sistemlər məkan məlumatlarının toplanması, hazırlanması, emalı, təhlili, xəritələşdirilməsi və hesabatlaşdırılması proseslərini avtomatlaşdırmaqla CİS-in funksional imkanlarını genişləndirir. Avtonom CİS ənənəvi CİS-dən fərqli olaraq istifadəçi sorğularını anlamaq, iş axını yaratmaq, uyğun alətləri seçmək, kod və xəritə hazırlamaq, nəticələri qiymətləndirmək və müəyyən hallarda öz səhvlərini düzəltmək potensialına malikdir. LLM-Geo, LLM-Cat və GIS Copilot kimi sistemlər bu sahədə ilkin, lakin mühüm praktik nümunələrdir. LLM-Geo məkan analizlərinin avtomatlaşdırılması, LLM-Cat xəritə hazırlanmasının iterativ təkmilləşdirilməsi, GIS Copilot isə QGIS mühitində mövcud geoişləmə alətlərindən süni intellekt vasitəsilə istifadə baxımından diqqətəlayiqdir. Bu nümunələr göstərir ki, avtonom CİS yaxın gələcəkdə məkan analizlərinin daha geniş istifadəçi kütləsi üçün əlçatan olmasına şərait yarada bilər. Avtonom CİS-in inkişafı bir sıra ciddi problemlərin həllini tələb edir. Məlumat keyfiyyəti, koordinat sistemlərinin düzgün idarə olunması, topoloji əlaqələrin anlaşılması, nəticələrin etibarlılığı, model qərəzliliyi, öz-özünü yoxlama mexanizmləri və insan nəzarəti bu problemlərin əsas istiqamətləridir. Bu səbəbdən

avtonom CİS tam müstəqil və səhsiz texnologiya kimi deyil, insan mütəxəssislə əməkdaşlıq edən ağıllı analitik sistem kimi qiymətləndirilməlidir. Gələcəkdə avtonom CİS-in daha etibarlı, şəffaf və özünü inkişaf etdirə bilən sistemə çevrilməsi üçün geospasial bilik bazalarının yaradılması, xüsusi benchmark testlərinin hazırlanması, sahəyə uyğun incə tənzimləmə üsullarının tətbiqi və etik-hüquqi çərçivələrin formalaşdırılması vacibdir. Ümumilikdə, süni intellekt əsaslı avtonom CİS məkan məlumatlarının idarə olunması və coğrafi qərar qəbul etmə prosesində mühüm transformasiya yarada biləcək perspektivli texnologiya kimi qiymətləndirilməlidir.

İstifadə edilmiş ədəbiyyatlar

1. Agarwal, M., Sun, M., Kamath, C., Muslim, A., Sarker, P., Paul, J., Yee, H., et al. (2024). General geospatial inference with a population dynamics foundation model. arXiv. <https://doi.org/10.48550/arXiv.2411.07207>
2. Akinboyewa, T., Li, Z., Ning, H., & Naser Lessani, M. (2024). GIS Copilot: Towards an autonomous GIS agent for spatial analysis. International Journal of Digital Earth, 18(1), 2497489. <https://doi.org/10.1080/17538947.2025.2497489>
3. Anthropic. (2024, November 25). Introducing the Model Context Protocol. <https://www.anthropic.com/news/model-context-protocol>
4. Atil, B., Chittams, A., Fu, L., Ture, F., Xu, L., & Baldwin, B. (2024). LLM stability: A detailed analysis with some surprises. arXiv. <https://doi.org/10.48550/arXiv.2408.04667>
5. AutoGluon. (2025). AutoGluon/AutoGluon. GitHub. <https://github.com/autogluon/autogluon>
6. Baek, J., Jauhar, S. K., Cucerzan, S., & Hwang, S. J. (2024). ResearchAgent: Iterative research idea generation over scientific literature with large language models. arXiv. <https://doi.org/10.48550/arXiv.2404.07738>
7. Bryson, T. (2024, November 14). From questions to discoveries: NASA's new Earth Copilot brings Microsoft AI capabilities to democratize access to complex data. The Official Microsoft Blog. <https://blogs.microsoft.com/blog/2024/11/14/from-questions-to-discoveries-nasas-new-earth-copilot-brings-microsoft-ai-capabilities-to-democratize-access-to-complex-data/>
8. Colorado General Assembly. (2024). Colorado AI Act: Consumer protections for artificial intelligence, SB24-205. https://leg.colorado.gov/sites/default/files/images/colorado_ai_act_-_public_interest_groups_redline_2024.10.30.pdf
9. Cook, J. (2024, July 16). OpenAI's 5 levels of "super AI" (AGI to outperform human capability). Forbes. <https://www.forbes.com/sites/jodiecook/2024/07/16/openais-5-levels-of-super-ai-agi-to-outperform-human-capability/>
10. Ferrara, E. (2023). Should ChatGPT be biased? Challenges and risks of bias in large language models. First Monday, 28(11). <https://doi.org/10.5210/fm.v28i11.13346>
11. Feurer, M., Eggenberger, K., Falkner, S., Lindauer, M., & Hutter, F. (2022). Auto-Sklearn 2.0: Hands-free AutoML via meta-learning. Journal of Machine Learning Research, 23(261), 1–61. <http://jmlr.org/papers/v23/21-0992.html>
12. Fortnow, L. (2009). The status of the P versus NP problem. Communications of the ACM, 52(9), 78–86. <https://doi.org/10.1145/1562164.1562186>
13. Gahegan, M. (2020). Fourth paradigm GIScience? Prospects for automated discovery and explanation from data. International Journal of Geographical Information Science, 34(1), 1–21. <https://doi.org/10.1080/13658816.2019.1652304>
14. Gahegan, M., & Benjamin, A. (2014). Re-envisioning data description using Peirce's pragmatics. In M. Duckham, E. Pebesma, K. Stewart, & A. U. Frank (Eds.), Geographic information science (pp. 142–158). Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-319-11593-1_10
15. Gallegos, I. O., Rossi, R. A., Barrow, J., Tanjim, M. M., Kim, S., Derroncourt, F., Yu, T., Zhang, R., & Ahmed, N. K. (2024). Bias and fairness in large language models: A survey. Computational Linguistics, 50(3), 1097–1179. https://doi.org/10.1162/coli_a_00524

16. Garikapati, D., & Sudhir Shetiya, S. (2024). Autonomous vehicles: Evolution of artificial intelligence and the current industry landscape. *Big Data and Cognitive Computing*, 8(4), 42. <https://doi.org/10.3390/bdcc8040042>
17. Goodchild, M. F. (1992). Geographical information science. *International Journal of Geographical Information Systems*, 6(1), 31–45. <https://doi.org/10.1080/02693799208901893>
18. Goodchild, M. F., & Li, W. (2021). Replication across space and time must be weak in the social and environmental sciences. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 118(35), e2015759118. <https://doi.org/10.1073/pnas.2015759118>
19. Goodchild, M. F., Fotheringham, A. S., Kedron, P., & Li, W. (2021). Introduction: Forum on reproducibility and replicability in geography. *Annals of the American Association of Geographers*, 111(5), 1271–1274. <https://doi.org/10.1080/24694452.2020.1806030>
20. Google LLC. (2024). Data Science Agent. <https://labs.google.com/code/dsa>
21. Goonewardena, K. (2023). David Harvey, geography and Marxism. *Scottish Geographical Journal*, 139(3–4), 415–436. <https://doi.org/10.1080/14702541.2023.2260824>
22. Gorelick, N., Hancher, M., Dixon, M., Ilyushchenko, S., Thau, D., & Moore, R. (2017). Google Earth Engine: Planetary-scale geospatial analysis for everyone. *Remote Sensing of Environment*, 202, 18–27. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2017.06.031>

KRİTİK İNFORMASIYA İNFRASTRUKTURUNUN VACİB OBYEKTŁƏRİNİN İNFORMASIYA MÜHAFİZƏSİ SİSTEMİNİN TƏDQIQI

Səməndərov Vəqif Elşad

Musayev Emin Vüqar

Şahbazlı Rəvan Namiq

Əsgərov Rəyal Camaləddinoviç

Hüseynli Nihad Aqil oğlu

Elmi rəhbər –

Bayram Qənimət oğlu İbrahimov

Azərbaycan Texniki Universiteti

Xülasə. Kritik informasiya infrastrukturalarının telekommunikasiya şəbəkələrində informasiya mühafizəsi sisteminin effektivlik göstəriciləri və alqoritmləri geniş təhlil edilmişdir. İşdə mühüm obyektin dəyərindən, həmçinin təhlükənin növündən, intensivliyindən və vurduğu zərərdən asılı olaraq informasiya mühafizəsi sistemi üçün zəruri tələblər səviyyəsi müəyyən edilmişdir. Problemin ümumi qoyuluşu verilmiş, informasiya mühafizəsi sisteminə dair tələblər öyrənilmiş və təhlil olunmuş, təhlükəyə qarşı sistemin reaksiyası ilə bağlı telekommunikasiya prosesləri araşdırılmışdır. Aparılmış tədqiqatlar əsasında yeni yanaşma təklif edilmiş, bu yanaşma vasitəsilə kritik informasiya infrastrukturalarının mühüm obyektləri üçün informasiya mühafizəsi sisteminin səmərəlilik göstəricilərinin hesablanma metodları qurulmuşdur. Hesablama metodları əsasında təhlükənin aşkarlanma ehtimalı, neytrallaşdırıcı qrupun vaxtında çatma ehtimalı, təhlükənin hücum müddəti, təhlükələrin təsiri nəticəsində mühüm obyektin dəyər itkiləri, informasiya mühafizəsi sisteminin xərcləri və sistemin təhlükəyə reaksiya müddəti kimi səmərəlilik göstəricilərinin qiymətləndirilməsi üçün mühüm analitik ifadələr əldə edilmişdir.

Açar sözlər. *Kritik informasiya infrastrukturu, informasiya təhlükəsizliyi sistemi, risk, təhdid ehtimalı, effektiv fəaliyyətinin qiymətləndirilməsi.*

Abstract. The effectiveness indicators and algorithms of the information protection system in telecommunication networks of critical information infrastructures have been extensively analyzed. In the work, the level of necessary requirements for the information protection system was determined depending on the value of the important object, as well as the type, intensity and damage caused by the threat. The general statement of the problem was given, the requirements for the information protection system were studied and analyzed, and telecommunication processes related to the system's response to the threat were investigated. Based on the conducted research, a new approach was proposed, through which methods for calculating the efficiency indicators of the information protection system for important objects of critical information infrastructures were established. Based on the calculation methods, important analytical expressions were obtained for assessing efficiency indicators such as the probability of threat detection, the probability of timely arrival of the neutralizing group, the duration of the threat attack, the value losses of the important object as a result of the impact of threats, the costs of the information protection system and the time of the system's response to the threat.

Keywords. *Critical information infrastructure, information security system, risk, threat probability, assessment of effective performance.*

Резюме: В работе проведен всесторонний анализ показателей эффективности и алгоритмов системы защиты информации в телекоммуникационных сетях критически важных информационных инфраструктур. Определен уровень необходимых требований к системе защиты информации в зависимости от ценности важного объекта, а также типа, интенсивности и ущерба, причиненного угрозой. Сформулирована общая постановка проблемы, изучены и проанализированы требования к системе защиты информации, исследованы телекоммуникационные процессы, связанные с реагированием системы на угрозу. На основе проведенного исследования предложен новый подход, с помощью которого разработаны методы расчета показателей эффективности системы защиты информации для важных объектов критически важных информационных инфраструктур. На основе методов расчета получены важные аналитические выражения для оценки таких показателей эффективности, как вероятность обнаружения угрозы, вероятность своевременного прибытия нейтрализующей группы, длительность атаки угрозы, потери ценности важного объекта в результате воздействия угроз, затраты системы защиты информации и время реагирования системы на угрозу.

Ключевые слова: *Критическая информационная инфраструктура, система информационной безопасности, риск, вероятность угроз, оценка эффективности работы.*

Giriş. Hazırda telekommunikasiya sistemləri sahəsində informasiya və kompüter texnologiyalarından istifadə etməklə informasiya təhlükəsizliyi sisteminin konseptual modelinin intensiv inkişafı dövlətlərin, kommersiya müəssisələrinin, elmi-tədqiqat institutlarının, eləcə də müdafiə və təhlükəsizlik qurumlarının fəaliyyətinə və təhlükəsizliyin təmin olunması üsullarına, ümumilikdə isə kritik informasiya infrastrukturalarının mühüm obyektlərinə əhəmiyyətli təsir göstərmişdir [1, 2].

İnformasiya təhlükəsizliyi sisteminin konseptual modeli kritik informasiya infrastrukturalarının mühüm obyektlərinin əhəmiyyətindən – yəni onların dəyəri, rabitə sisteminin aparat və program komplekslərinin (o cümlədən kommunikasiya, terminal və kanal avadanlıqlarının) dəyəri, həmçinin təhlükənin növü – onun intensivliyi və təsir dərəcəsindən asılı olaraq təhlükəsizlik və səmərəlilik səviyyəsinə qoyulan zəruri tələbləri müəyyən etmək üçün nəzərdə tutulmuşdur [2, 3]. NGN və FN arxitektura konsepsiyalarına əsaslanaraq telekommunikasiya sistemləri nəqliyyat, rabitə, səhiyyə, kənd təsərrüfatı, elektrik və nüvə energetikası, maliyyə və iqtisadiyyatın digər sahələri kimi cəmiyyət üçün mühüm olan sahələrə sürətlə tətbiq olunmaqdadır [3, 4].

Kritik informasiya infrastrukturalarının telekommunikasiya şəbəkələrində informasiya mühafizəsi sistemi məxfi və dəyərli məlumatları icazəsiz girişdən, istifadədən, açıqlamadan, güzəştə getməkdən, dəyişdirməkdən və ya məhv etməkdən qorumaq üçün lazımdır [5, 6].

Hal-hazırda, kritik informasiya infrastrukturunu (Kİİ) Kİİ obyektləri arasında qarşılıqlı əlaqə üçün istifadə edilən informasiya sistemləri, informasiya və telekommunikasiya şəbəkələri, avtomatlaşdırılmış idarəetmə sistemləri və telekommunikasiya şəbəkələri toplusudur [7, 8].

Yuxarıda qeyd olunanları nəzərə almaqla, təhlil edilən məqalə kritik informasiya infrastrukturunun vacib obyektlərinin informasiya mühafizəsi sisteminin tədqiqinə həsr edilmişdir.

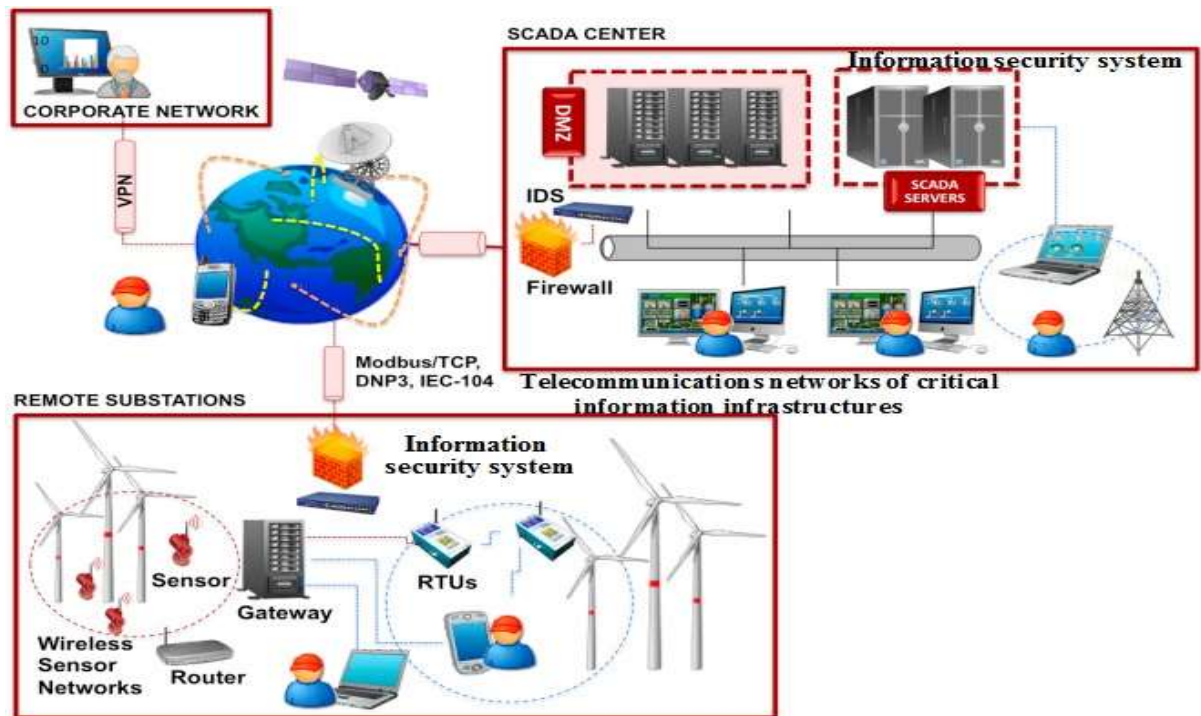
Məsələnin qoyuluşu və həll üsulları. Ölkəmizdə “kritik infrastruktur” anlayışına toxunulduğu zaman ilk öncə ağıla Azərbaycan Respublikası Nazirlər Kabinetinin 31 mart 2014-cü il 91 nömrəli Sərəncamı ilə təsdiq edilmiş “Azərbaycan Respublikasında mühafizə olunmalı həyat təminatlı, mühüm əhəmiyyətli obyektlərin Siyahısı” gəlir [8, 9, 10].

Məlum olduğu kimi, informasiya cəmiyyətinin inkişaf strategiyası yerli və xarici informasiya və kommunikasiya texnologiyalarının kritik informasiya infrastrukturuna (Kİİ) intensiv şəkildə

tətbiqini nəzərdə tutur. Bu texnologiyaların tətbiqi, informasiya emalını təşkil etmək üçün əhəmiyyətli həcmdə məlumatların, çoxsaylı məlumat ötürmə protokolu yığınlarının və vacib informasiya infrastrukturunu obyektləri və subyektləri arasında uzaqdan giriş rejimində qarşılıqlı əlaqədə olan informasiya mübadiləsinin istifadəsini nəzərdə tutur [5, 6, 7].

Son illərdə Azərbaycan Respublikasında kritik informasiya infrastrukturalarının mühüm obyektləri üçün informasiya təhlükəsizliyi sisteminin təkmilləşdirilməsi istiqamətində strateji addımlar atılmışdır. Rəqəmsal platformalar vasitəsilə dövlət xidmətlərinə sürətli çıxış, rabitə sistemləri və məsafədən təhsil informasiya sistemləri vasitəsilə təhsilin təmin olunması, elektron tibb və elektron ticarət artıq həyatımızı təsəvvür etməyin çətin olduğu sahələləndir. Bu baxımdan kritik informasiya infrastrukturalarının mühüm obyektləri üçün informasiya təhlükəsizliyi sisteminin öyrənilməsi məsələsi aktual xarakter almışdır. Eyni zamanda, kritik informasiya infrastrukturunu dedikdə, sıradan çıxması ciddi iqtisadi və ya sosial nəticələrə səbəb ola biləcək infrastruktur başa düşülür [2, 4, 5].

Şəkil 1- də kritik informasiya infrastrukturalarının telekommunikasiya şəbəkələrində informasiya mühafizəsi sisteminin struktur arxitekturası təsvir edilmişdir [1, 2, 5].



Şəkil 1. Kritik informasiya infrastrukturalarının telekommunikasiya şəbəkələrində informasiya mühafizəsi sisteminin arxitekturası

Göründüyü kimi şəkil 1 kritik informasiya infrastrukturalarının telekommunikasiya şəbəkələrində informasiya mühafizəsi sisteminin sadə arxitekturası təsvir olub, üç əsas funksional idarəedici struktur sxemdən ibarət dir. Burada əsas bloklardan biridə telekommunikasiya şəbəkələrində informasiya təhlükəsizliyi üçün istifadə olunan informasiya mühafizəsi sistemidir.

Yuxarıda göstərilənlərlə yanaşı, xüsusi ilə qeyd edək ki, kritik informasiya infrastrukturalarının fəaliyyətinin effektiv, etibarlı və təhlükəsiz idarə olunması üçün ən mühüm aspektlər aşağıdakılar hesab olunur [2, 6]:

- NGN arxitektur konsepsiyası, şəbəkələri, protokolları və sistemləri;
- SCADA idarəetmə sistemləri və aparat-program kompleksləri;
- SiEM təhlükəsizlik və informasiya mühafizə sistemləri və qurğuları.

Kritik informasiya infrastrukturalarının telekommunikasiya şəbəkələrinin sadə arxitekturası bazasında informasiya mühafizəsi sisteminin fəaliyyət keyfiyyətini–effektivliyini qiymətləndirmək və təhlil etmək üçün yeni yanaşma və onun məqsəd funksiyası təklif olunmuşdur:

$$Q_{EF}(\lambda, t, \Lambda) = W \{ \underset{i}{\text{Argmax}} [E_{\text{Kil}}(\lambda_i, t, \Lambda)] \}, \quad i = \overline{1, n}, \quad (1)$$

aşağıdakı uyğun məhdudiyyət şərtləri ilə birlikdə

$$M_{IS}(t) \geq M_{IS.bur.}(t), \quad P_{IIE}(\Lambda_i, t) \leq P_{IIE.bur.}(\Lambda_i, t), \quad V_b(\lambda_i) \geq V_{b.bur.}(\lambda_i), \quad i = \overline{1, n}, \quad (2)$$

burada $M_{IS}(t)$ – verilmiş t – zamanında kritik informasiya infrastrukturlarında rabitə şəbəkələrinin effektiv fəaliyyətini xarakterizə edən informasiya mühafizə sistemlərinin funksiyası hesab olunur; $P_{IIE}(\Lambda_i, t)$ – verilmiş t – zamanında Λ_i imtina intensivliyini nəzərə alan kritik informasiya infrastrukturlarında rabitə şəbəkələrinin aparat-proqram komplekslərinin imtinasız işləmə ehtimalı hesab olunur, $i = \overline{1, n}$;

$E_{\text{Kil}}(\lambda_i, t, \Lambda)$ – verilmiş t – zamanında, idarəetmə trafiklərinin sistemə daxilolma sürəti λ_i və Λ_i imtina intensivliyini nəzərə alan kritik informasiya infrastrukturlarında rabitə şəbəkələrinin aparat-proqram komplekslərinin məhsuldarlığını xarakterizə funksiya hesab edilir; $V_b(\lambda_i)$ – müxtəlif tip trafik paketlərinin axınlarının ötürülməsi zamanı daxil olan sellərin λ_i intensivliyi nəzərə alınmaqla sistemin aparat-proqram komplekslərinin işləmə sürəti;

$M_{IS.bur.}(t)$, $P_{IIE.bur.}(\Lambda_i, t)$ və $V_{b.bur.}(\lambda_i)$ – verilmiş t zamanında Kİİ-da telekommunikasiya şəbəkələrinin effektiv fəaliyyətini xarakterizə edən və informasiya mühafizə sistemlərinin, aparat-proqram komplekslərinin imtinasız işləmə ehtimalı və işləmə sürətlərinin buraxıla bilən parametrlərinin qiymətləri hesab olunur, $i = \overline{1, n}$.

Sonuncu (1) və (2) ifadələri Kİİ-da telekommunikasiya şəbəkələrinin idarəetmə protokolu və siqnallaşma sistemlərindən səmərəli istifadə etməklə informasiya mühafizəsi sisteminin arxitekturasına əsaslanan və sistemin davamlı fəaliyyətinin effektivliyinin yüksəldilməsi üsulunu xarakterizə edir.

Nəticə. Aparılmış tədqiqat nəticəsində kritik informasiya infrastrukturlarının telekommunikasiya şəbəkələrində informasiya mühafizəsi sistemini geniş tədqiq etmək üçün yeni yanaşma təklif olunmuşdur. Bu yanaşma vasitəsilə informasiya təhlükəsizliyi meyarları seçilmiş və kritik informasiya infrastrukturlarının mühüm obyektləri üçün informasiya mühafizəsi sisteminin səmərəlilik göstəricilərinin hesablanma üsulları qurulmuşdur. Rabitə sistemində informasiya mühafizəsi sistemə qoyulan tələblər təhlil edilmiş, həmçinin təhlükəyə qarşı sistemin reaksiyası ilə bağlı telekommunikasiya prosesləri dərinlən öyrənilmişdir.

Hesablama üsulları əsasında təhlükənin aşkarlanma ehtimalı, neytrallaşdırıcı qrupun vaxtında çatma ehtimalı, təhlükənin hücum müddəti, təhlükələrin təsiri nəticəsində mühüm obyektin dəyər itkiləri və informasiya mühafizəsi sisteminin xərcləri, eləcə də müxtəlif hücumlar zamanı mühafizə sisteminin təhlükəyə reaksiya müddəti kimi səmərəlilik göstəricilərinin qiymətləndirilməsi üçün analitik ifadələr əldə edilməsinə zəmin hazırlanmışdır.

ƏDƏBİYYAT

1. Erokhin SD, Petukhov AN, Pilyugin PL. Event-oriented security policy and a formal model of the mechanism for protecting critical information infrastructures. Proceedings of educational institutions of communication. 2019;5(4):99–105.
2. Ибрагимов Б. Г., Мамедов Т. Г. Исследование характеристик защиты информации системы телекоммуникации и управления важного объекта в критических инфраструктурах. Всероссийская НТК «Телекоммуникационные и вычислительные системы». МТУСИ, Москва, 2021. С. 170–173.
3. Kostin VN, Shevchenko SN. Technique of formation of requirements to system of physical protection on the basis of conceptual imitating model. Infocommunication technologies. 2013;12(2):91-98.

4. Peters MD, Wieder B, Sutton SG, et al. Business intelligence systems use in performance capabilities: Implications for enhanced competitive advantage. *International Journal of Accounting Information Systems*. 2021;21:1–17.
5. Ерохин С.Д., Петухов А.Н., Пилюгин П.Л. Управление безопасностью критических информационных инфраструктур. – М.: Горячая линия- Телеком, 2021. – 240с.
6. Ибрагимов Б. Г., Мамедов Т. Г. Исследование характеристик защиты информации системы телекоммуникации и управления важного объекта в критических инфраструктурах // Всероссийская НТК «Телекоммуникационные и вычислительные системы». МТУСИ, Москва, 2021. С. 170–173.
7. Ibrahimov B.G., Мамедов Т.Г. Analysis of the time to establish connections in critical information infrastructures. Сучасні напрями розвитку інформаційно-комунікаційних технологій та засобів управління. Тези доповідей тринадцятої міжнародної науково-технічної конференції. Baku: – Kharkiv: – Zhylyna: – 26 – 27 квітня 2023, – Том 2, – р. 16-17.
8. Ибрагимов Б.Г., Мамедов Т.Г. Анализ методов криптозащиты информации в многоканальных телекоммуникационных системах //Сборник докладов Международной НТК:ИТ-технологии: Развитие и приложения. (декабря 2019), Владикавказ, Россия. Изд-во «Терек», 2019.- с.81-89.
9. İbrahimov B.Q. Telekomunikasiya sistemləri və texnologiyaları. Ali məktəblər üçün dərs vəsaiti. Bakı, AzTU, 2021. – 354 s.
10. Ибрагимов Б.Г., Оруджова М.Я., Javadova M.M., Мамедов Т.Г. Аналитическая модель механизма защиты критических телекоммуникационных инфраструктур // Сборник научных статей – XI-Международная научно-техническая и научно-методическая конференция «Актуальные проблемы инфотелекоммуникаций в науке и образовании» (АПИНО, 14-15 февраль). СПб. : СПбГУТ. Том1. 2022. – с.393-398.

İNFORMASIYA SİSTEMLƏRİNİN ANALİZİ ÜSULLARI

Şıxbalayev Üveys Kərəm

Odlar Yurdu Universiteti, Bakı, Koroğlu Rəhimov küçəsi 13

Açar sözlər: informasiya sistemləri, innovativ yanaşmalar, süni intellekt, verilənlərin analitikası, rəqəmsal transformasiya

Keywords: Information systems, innovative approaches, artificial intelligence, data analytics, digital transformation.

Ключевые слова: Информационные системы, инновационные подходы, искусственный интеллект, аналитика данных, цифровая трансформация.

Müasir qlobal iqtisadi sistemin transformasiyası, rəqəmsal texnologiyaların sürətli inkişafı və bilik iqtisadiyyatının formalaşması informasiya sistemlərinin iqtisadi və texnoloji mahiyyətinin daha dərinədən öyrənilməsinə zəruri etmişdir. İnformasiya sistemləri ilk növbədə texniki vasitələrin və program komponentlərinin məcmusu kimi başa düşülsə də, həmçinin iqtisadi fəaliyyətin təşkili, idarəetmə qərarlarının əsaslandırılması və innovasiya potensialının reallaşdırılması üçün fundamental institusional mexanizm kimi çıxış edir. Müasir elmi yanaşmalarda informasiya sistemləri təşkilati, iqtisadi və texnoloji komponentlərin sinergetik və qarşılıqlı təsirinə əsaslanan çoxsəviyyəli sistem kimi qiymətləndirilir.

İnformasiya sistemlərinin iqtisadi mahiyyəti onların iqtisadi münasibətlər sistemində yeni istehsal amili kimi çıxış etməsi ilə xarakterizə olunur. Klassik iqtisadi nəzəriyyədə istehsalın əsas amilləri torpaq, əmək və kapital hesab edildiyi halda, müasir post-sənaye iqtisadiyyatında informasiya və bilik resursları bu amillərə əlavə edilərək iqtisadi dəyər yaradan əsas elementlərdən biri kimi qəbul olunur. Bu kontekstdə informasiya sistemləri iqtisadi fəaliyyətin təşkilində informasiya resurslarının səmərəli idarə olunmasını təmin edən əsas infrastruktur kimi çıxış edir. İnformasiya sistemlərinin tətbiqi nəticəsində müəssisələrdə iqtisadi proseslərin şəffaflığı artır, resursların bölüşdürülməsi optimallaşdırılır və idarəetmə qərarlarının qəbulunda subyektivlik azalaraq analitik əsaslı yanaşmalar üstünlük təşkil edir.

İnformasiya axınlarının avtomatlaşdırılması və rəqəmsallaşdırılması təşkilatlar arasında əlaqələrin koordinasiyasını sürətləndirir, sənəd dövriyyəsini sadələşdirir və informasiya mübadiləsinin operativliyini təmin edir. Bu isə iqtisadi fəaliyyətin təşkilində vaxt itkilərinin azalmasına, maliyyə resurslarının qənaətinə və idarəetmə effektivliyinin yüksəlməsinə səbəb olur. Müasir müəssisələrdə tətbiq olunan integrasiya olunmuş informasiya sistemləri istehsal, logistika, maliyyə və marketinq proseslərinin vahid informasiya mühitində idarə olunmasını təmin etməklə iqtisadi fəaliyyətin koordinasiyasını gücləndirir.

Makroiqtisadi müstəvidə informasiya sistemlərinin iqtisadi mahiyyəti dövlət idarəetmə mexanizmlərinin modernləşdirilməsi ilə sıx bağlıdır. Müasir dövrdə dövlət idarəetməsində informasiya sistemlərinin tətbiqi büdcə xərclərinin monitorinqini, vergi və gömrük proseslərinin avtomatlaşdırılmasını və iqtisadi statistik məlumatların operativ toplanmasını təmin edir. Elektron hökumət platformalarının inkişafı dövlət xidmətlərinin rəqəmsallaşdırılmasını təmin etməklə iqtisadi fəaliyyətin institusional əsaslarını gücləndirir və vətəndaşların dövlət xidmətlərinə çıxış imkanlarını genişləndirir.

İnformasiya sistemlərinin analizi prosesi informasiya sisteminin layihələndirilməsi və tətbiqi mərhələlərindən əvvəl həyata keçirilən elmi-metodoloji fəaliyyət kimi çıxış edir və sistemin məqsədlərinin, istifadəçi tələblərinin və informasiya axınlarının kompleks şəkildə

müəyyənləşdirilməsinə xidmət edir. Müasir elmi yanaşmalarda informasiya sistemlərinin analizi sistemli yanaşma, proses yönümlü yanaşma və obyekt yönümlü yanaşma prinsipləri əsasında həyata keçirilir. Informasiya sistemlərinin analizi prosesi çoxmərhələli struktur xarakteri daşıyır və hər bir mərhələ sistemin funksional və texnoloji xüsusiyyətlərinin müəyyənləşdirilməsi baxımından xüsusi əhəmiyyət kəsb edir. Bu baxımdan mərhələləri aşağıdakı kimi sıralamaq olar:

problemin qoyuluşu və məqsədlərin müəyyənləşdirilməsi

məlumatların toplanması və mövcud sistemin öyrənilməsi

informasiya axınlarının və məlumat strukturlarının analizi

istifadəçi tələblərinin müəyyənləşdirilməsi

sistem modellərinin qurulması

alternativ həllərin hazırlanması və müqayisəli analizi

analiz nəticələrinin qiymətləndirilməsi və təsdiqi

Mənbə: müəllif tərəfindən tərtib olunmuşdur.

Şəkil : Informasiya sistemlərinin analizinin mərhələləri

Informasiya sistemlərinin analizi üsullarının elmi təsnifatı müasir informasiya cəmiyyətində mürəkkəb sosial-iqtisadi və texniki sistemlərin öyrənilməsi üçün vahid metodoloji baza formalaşdıran fundamental elmi istiqamətlərdən biridir. Informasiya sistemlərinin çoxsəviyyəli (texnoloji–təşkilati–iqtisadi) struktura malik olması onların analizində müxtəlif nəzəri və tətbiqi metodların sintezini zəruri edir. Buna görə də analitik yanaşmaların təsnifatı metodların sadə qruplaşdırılmasına, onların epistemoloji əsaslarının, tətbiq sahələrinin və funksional imkanlarının sistemli şəkildə müəyyənləşdirilməsinə əsaslanır. Elmi ədəbiyyatda informasiya sistemlərinin analizi üsulları ümumilikdə sistemli metodoloji paradigma çərçivəsində təsnif edilir və bu təsnifat bir neçə qarşılıqlı əlaqəli meyar üzrə aparılır: metodoloji baza, formalizasiya səviyyəsi, model tipi, analiz obyektinin xarakteri, zaman perspektivi və qərar qəbuletmə səviyyəsi.

Metodoloji baxımdan informasiya sistemlərinin analizi üsulları sistemli, struktur, funksional və obyekt yönümlü yanaşmalar kimi qruplaşdırılır. Sistemli analiz üsulları informasiya sistemini qarşılıqlı əlaqədə olan elementlərin vahid bütöv sistemi kimi nəzərdən keçirir və əsas diqqəti elementlər arasındakı əlaqələrin və qarşılıqlı təsirlərin öyrənilməsinə yönəldir. Struktur analiz üsulları sistemin daxili təşkilini, komponentlər arasındakı iyerarxik əlaqələri və informasiya axınlarının strukturunu müəyyən edir. Funksional analiz üsulları isə sistemin yerinə yetirdiyi funksiyaların məntiqi ardıcılığını və onların qarşılıqlı asılılığını təhlil edir. Obyekt yönümlü analiz üsulları müasir informasiya sistemlərinin modelləşdirilməsində geniş tətbiq olunaraq sistemin obyektlər və onların qarşılıqlı əlaqələri əsasında təsvirini təmin edir və xüsusilə proqram təminatının layihələndirilməsində əsas metodoloji baza kimi çıxış edir.

Formalizasiya səviyyəsinə görə təsnifat informasiya sistemlərinin analizi üsullarını formal, yarı-formal və qeyri-formal metodlara ayırır. Formal üsullar ciddi riyazi aparat və statistik modellərə əsaslanaraq optimallaşdırma, ehtimal nəzəriyyəsi və qərar qəbuletmə modellərini əhatə edir və yüksək dəqiqlik səviyyəsi ilə seçilir. Yarı-formal üsullar qrafik və semi-formal modelləşdirmə vasitələrinə əsaslanaraq məlumat axınlarının diaqramlar, struktur sxemlər və konseptual modellər vasitəsilə təsvirini təmin edir. Qeyri-formal üsullar isə ekspert qiymətləndirmələri, müsahibələr və

müşahidə metodlarına əsaslanaraq əsasən ilkin analiz mərhələlərində tətbiq olunur və daha çox keyfiyyət xarakterli nəticələrin əldə edilməsinə xidmət edir.

Analiz obyektinə görə təsnifat informasiya sistemlərinin ayrı-ayrı komponentlərinin öyrənilməsinə əsaslanır və informasiya axınlarının analizi, verilənlər strukturunun analizi, proqram təminatının analizi və biznes proseslərinin analizi kimi istiqamətləri əhatə edir. Informasiya axınlarının analizi məlumatların yaranması, ötürülməsi və email proseslərini sistemli şəkildə öyrənərək informasiya dövriyyəsidəki səmərəsiz mərhələləri aşkar etməyə imkan verir. Verilənlər strukturunun analizi verilənlər bazasının təşkilini, normallaşdırılmasını və optimallaşdırılmasını təmin edir. Proqram təminatının analizi sistemin funksional uyğunluğunu və texniki effektivliyini qiymətləndirir, biznes proseslərinin analizi isə təşkilati fəaliyyətin optimallaşdırılması və idarəetmə mexanizmlərinin təkmilləşdirilməsi üçün istifadə olunur.

Modelləşdirmə yanaşmasına görə analitik üsullar deskriptiv, analitik və simulyasiya modellərinə əsaslanan metodlara bölünür. Deskriptiv yanaşma mövcud vəziyyətin təsvirinə yönəldilir, analitik modellər sistemin davranışını riyazi və məntiqi əsaslarla izah edir, simulyasiya modelləri isə real sistemlərin davranışını virtual mühitdə imitasiya etməyə imkan yaradır və müxtəlif idarəetmə ssenarilərinin qiymətləndirilməsində geniş istifadə olunur.

Zaman amilinə görə informasiya sistemlərinin analizi üsulları statik və dinamik analiz metodlarına ayrılır. Statik analiz sistemin müəyyən zaman anındakı vəziyyətini qiymətləndirir və struktur göstəricilərin təhlilinə əsaslanır, dinamik analiz isə sistemin zaman üzrə dəyişməsinə, inkişaf tendensiyalarını və adaptiv davranışını öyrənir.

Qərar qəbul etmə səviyyəsinə görə təsnifat isə analitik üsulları operativ, taktiki və strateji səviyyələrə bölür. Operativ analiz gündəlik idarəetmə proseslərinin optimallaşdırılmasına xidmət edir, taktiki analiz orta müddətli resurs bölgüsü və sistemin effektivliyinin artırılması ilə bağlıdır, strateji analiz isə uzunmüddətli inkişaf istiqamətlərinin müəyyənləşdirilməsi və informasiya sistemlərinin rəqəmsal transformasiya kontekstində inkişaf trayektoriyasının formalaşdırılmasına yönəldilir.

İnformasiya sistemlərinin təhlilində istifadə olunan metodlar olduqca spesifik və mürəkkəb yanaşmalar tələb edir. Metodlar mövcud sistemlərin inkişafı və optimallaşdırılması üçün strateji addımların müəyyənləşdirilməsini təmin edir. Bu baxımdan informasiya sistemlərinin analizi ilə bağlı müəyyən metodları nəzərdən keçirmək olar.

İnformasiya sistemlərinin analizində çoxmeyarlı analiz metodları müasir rəqəmsal iqtisadiyyat şəraitində qərarvermənin formalizasiyası üçün ən güclü elmi-metodoloji yanaşmalardan biri kimi çıxış edir və xüsusilə informasiya sistemlərinin seçimi, müqayisəsi, optimallaşdırılması və arxitektura dizaynı proseslərində kompleks qərar mühitinin modelləşdirilməsinə xidmət edir. Informasiya sistemlərinin analizində çoxmeyarlı metodların elmi strukturu adətən üç fundamental mərhələyə əsaslanan formal qərar modelinə söykənir:

- qərar matrisinin formalaşdırılması,
- meyarların normallaşdırılması,
- alternativlərin reytingi.

Lakin bu strukturun daxilində metodoloji baxımdan çox daha dərin riyazi fərqlər mövcuddur və müxtəlif MCDA metodlarının (AHP, TOPSIS, VIKOR, ELECTRE, PROMETHEE və s.) formalaşmasına səbəb olmuşdur.

AHP metodu informasiya sistemlərinin analizində ən geniş tətbiq olunan iyerarxik çoxmeyarlı yanaşmadır və onun elmi üstünlüyü qərar problemini çoxsəviyyəli dekompozisiya etməsidir. Bu metodda sistem analizi məqsəd–meyar–submeyar–alternativ strukturuna bölünür və hər səviyyə üzrə cüt müqayisə matrisi qurulur. Saaty tərəfindən təklif olunan 1–9 şkalası vasitəsilə ekspertlər meyarlar arasında nisbi üstünlükləri müəyyən edir. Bu müqayisələrdən sonra vektorlar hesablanaraq prioritet vektor formalaşdırılır və ardıcılıq nisbəti vasitəsilə ekspert qiymətləndirmələrinin daxili uyğunluğu yoxlanılır. Informasiya sistemləri kontekstində AHP xüsusilə

ERP sistemlərinin seçimi, müəssisədaxili bulud əsaslı sistem arxitekturalarının müqayisəsi və IT investisiya layihələrinin qiymətləndirilməsində istifadə olunur, burada subyektiv strateji qərarlar formal riyazi strukturla birləşdirilir.

TOPSIS metodu informasiya sistemlərinin qiymətləndirilməsində həndəsi optimallaşdırma prinsipinə əsaslanır və qərar məkanında ideal və anti-ideal nöqtələr konsepsiyasına söykənir. Burada hər bir informasiya sistemi alternativini çoxölçülü Evklid məkanında bir nöqtə kimi qəbul edilir. Normallaşdırılmış çəkili qərar matrisi qurulduqdan sonra ideal həll (hər meyar üzrə maksimum performans) və anti-ideal həll (minimum performans) müəyyən edilir. Daha sonra hər alternativin bu iki nöqtəyə məsafəsi hesablanır və yaxınlıq əmsalı ilə sıralama aparılır. TOPSIS-in spesifik elmi üstünlüyü onun simmetrik məsafə modelinə əsaslanması sayıla bilər.

VIKOR metodu informasiya sistemlərinin analizində kompromis əsaslı qərarvermə modelidir və Pareto optimal həllə yaxınlaşmanı təmin etməyə yönəlmişdir. Metodun elmi fərqləndirici xüsusiyyəti odur ki, qərarvericinin qəbul edilə bilən kompromis həllini müəyyən edir. VIKOR modeli iki əsas komponent üzərində qurulur: S (ümumi fayda) və R (maksimum mümkün nəticə). Bu iki göstərici əsasında Q indeksi formalaşdırılır və alternativlər kompromis optimal yanaşmaya görə sıralanır. Informasiya sistemlərinin analizi kontekstində VIKOR xüsusilə təhlükəsizlik–xərc–performans arasında konflikt mövcud olduqda daha realistik qərar nəticələri verir.

ELECTRE metodu üstünlük münasibətləri nəzəriyyəsinə əsaslanır və klassik sıralama metodlarından fərqli olaraq, alternativlər arasında qismən üstünlük strukturunu qurur. Burada uyğunluq və uyğunsuzluq indeksləri hesablanaraq bir alternativin digərinə üstün olub-olmaması ehtimallı şəkildə müəyyən edilir. ELECTRE metodunun spesifikasiyi qeyri-müəyyən və konfliktli qərar mühitində sərt optimallaşdırma əvəzinə eliminasiya əsaslı seçim mexanizmi yaratmasıdır. Informasiya sistemlərinin ilkin seçim mərhələsində, əsasən də çoxlu vendor və texnoloji həllərin olduğu mühitdə ELECTRE daha effektivdir.

PROMETHEE metodu isə üstünlük axınları əsasında işləyən daha çevik MCDA yanaşmasıdır. Burada hər meyar üçün xüsusi üstünlük funksiyası təyin edilir və nəticədə hər alternativ üçün pozitiv, neqativ və xalis axın hesablanır. PROMETHEE metodunun elmi üstünlüyü onun qeyri-xətti üstünlük modellərini nəzərə almasıdır. Metod informasiya sistemlərinin performans göstəricilərində real davranışın daha dəqiq modelləşdirilməsinə imkan verir. PROMETHEE II tam sıralama təmin etdiyi halda, PROMETHEE I qismən sıralama ilə daha konservativ qərar strukturu yaradır.

Agile yanaşma informasiya sistemlərinin analizi, layihələndirilməsi və inkişafında müasir dövrdə dominant metodoloji paradigmalardan biridir və ənənəvi plan-yönümlü sistem inkişaf modellərindən fərqli olaraq, qeyri-müəyyənlik şəraitində adaptiv idarəetmə və iterativ öyrənmə mexanizminə əsaslanır. Onun elmi mahiyyəti informasiya sistemlərini statik mühəndislik artefaktı kimi deyil, daim dəyişən tələblər, istifadəçi davranışları və texnoloji mühitlə qarşılıqlı təsirdə inkişaf edən dinamik sosial-texniki sistem kimi qəbul etməsində ifadə olunur.

Agile yanaşmanın elmi fundamentini təşkil edən Agile Manifesto dörd əsas prinsip üzərində qurulmuşdur: fərdlər və qarşılıqlı əlaqələr proses və alətlərdən daha vacibdir; işlək proqram təminatı ətraflı sənədləşmədən daha önəmlidir; müştəri ilə əməkdaşlıq müqavilə şərtlərindən daha dəyərlidir; dəyişikliklərə reaksiya əvvəlcədən planlaşdırmaya üstün tutulur. Informasiya sistemlərinin analizi baxımından Agile yanaşmanın ən mühüm xüsusiyyətlərindən biri tələblərin dinamik validasiyasıdır. Klassik modellərdə tələblər ilkin mərhələdə sabit şəkildə qəbul edildiyi halda, Agile-də tələblər hər iterasiyada yenidən yoxlanılır, prioritetləşdirilir və yenilənir. Yanaşma xüsusilə ERP sistemləri, e-hökumət platformaları və böyük korporativ informasiya sistemlərində biznes mühitinin dəyişkənliyinə uyğunlaşmanı təmin edir.

Agile metodologiyasının ən geniş tətbiq olunan çərçivəsi Scrum modelidir. Scrum informasiya sistemlərinin inkişafını sprint adlanan qısa iterativ dövrlərə bölür (adətən 1–4 həftə).

Scrum çərçivəsində üç əsas rol müəyyən olunur: məhsul sahibi, mütəxəssis, təkmilləşdirmə qrupu. Hər sprintdə dörd əsas proses həyata keçirilir: planlaşdırma, gündəlik koordinasiya, nəticələrin təqdimatı və prosesin təkmilləşdirilməsi.

Digər mühüm Agile çərçivəsi isə Kanban sistemidir. Sistem iş axınını vizual idarəetmə modeli üzərində qurur. Burada iş elementləri "Görüləsi işlər – Davam edir – Tamamlandı" lövhəsi üzərində izlənilir və hər mərhələdə WIP (işlər davam edir) limitləri tətbiq edilir. Kanban sistemi vasitəsilə informasiya sistemlərində problem olan hissələrin aşkarlanması və sistem performansının real vaxt rejimində optimallaşdırılması üçün mühüm analitik alət rolunu oynayır.

Sadalanın üsulların hər biri informasiya sistemlərinin təhlilində və inkişafında müxtəlif aspektləri nəzərə alır və hər biri öz növbəsində sistemin uğurlu olmasına töhfə verir. Hər bir metod təhlil edilən sistemin növünə və məqsədinə görə daha detallandırılmış və xüsusi yanaşmalarla tətbiq edilə bilər.

Tədqiqat əsasında belə qənaətə gəlmək olar ki, informasiya sistemlərinin analizi ənənəvi yanaşmalardan fərqli olaraq sistemlərin gələcək inkişaf istiqamətlərinin müəyyənəşdirilməsinə xidmət edir. Müasir şəraitdə analiz prosesi daha çox proqnozlaşdırma, optimallaşdırma və qərarverməni dəstəkləyən kompleks mexanizm kimi çıxış edir. Müxtəlif analiz metodlarının mövcudluğu bəzən onların effektiv tətbiqini çətinləşdirmiş kimi görünsə də, əksinə düzgün seçildikdə və kombinə edildikdə daha dəqiq nəticələrin əldə olunmasına şərait yaradır. O cümlədən gələcək perspektivdə informasiya sistemlərinin analizində avtomatlaşdırma səviyyəsinin artacağı və intellektual texnologiyaların rolunun daha da güclənəcəyi danılmazdır.

Ədəbiyyat

1. Ada M., Çakır H. (2022). Topsis ve AHP çok kriterli karar verme yöntemlerinin personel seçim sürecine uygulanması. *Int. J. of 3D Printing Tech. Dig. Ind.*, 6(2): 186-200
2. Arslankaya S., Göraltay K. (2019). Çok kriterli karar verme yöntemlerinde güncel yaklaşımlar. *IKSAD yayınları*. Ankara. 106 s.
3. Shahar S.M., Safie N., Yusof M. F., Maarif M. Y. (2018). The challenges of implementing Agile Scrum in information systems project. *Journal of Advanced Research in Dynamical and Control Systems*. pp. 2357 – 2363
4. Yanovsky D.V., Graf M.S. (2024). Methods for analyzing the effectiveness of information systems for inventory management. *Radio Electronics, Computer Science, Control*, (3), p. 224
5. <https://i3solutions.com/it-systems-analysis/understanding-it-systems-analysis/>
6. <https://laba.com.tr/blog/395-agile-nedir-agile-calisma-tuerleri-uygulamalari-ve-faydalari>

ANALYSIS METHODS OF INFORMATION SYSTEMS

Shikhbaleyev Uveys Kerem

ABSTRACT

The article extensively examines the essence and application areas of information system analysis methods. The conducted analysis shows that the effective functioning of information systems is ensured through the integrated application of structural, functional, and object-oriented analysis methods. At the same time, factors such as the optimization of data flows, accurate identification of user requirements, and support for decision-making processes play a key role in system analysis. As a result, the efficient use of information system analysis methods contributes to improving the quality of enterprise management, enabling more optimal use of resources, and accelerating digital transformation processes.

МЕТОДЫ АНАЛИЗА ИНФОРМАЦИОННЫХ СИСТЕМ

Шыхбалаев Увейс Керем

РЕЗЮМЕ

В статье всесторонне рассматриваются сущность и направления применения методов анализа информационных систем. Проведённый анализ показывает, что эффективное функционирование информационных систем обеспечивается за счёт комплексного применения структурных, функциональных и объектно-ориентированных методов анализа. В то же время в процессе анализа систем ключевую роль играют такие факторы, как оптимизация потоков данных, корректное определение требований пользователей и поддержка процессов принятия решений. В результате эффективное использование методов анализа информационных систем способствует повышению качества управления предприятиями, более рациональному использованию ресурсов и ускорению процессов цифровой трансформации.

Forensic Identification of Biological Paper Mills: Utilizing Random Forest Classifiers to Detect Structural and Technical Fingerprints

Nurkalam Huseynli

Azerbaijan State Oil and Industry University, Master's degree graduate of Department of Mechatronics and Robotics

Orkhan Mammadli

Azerbaijan State Oil and Industry University, Master's degree graduate of Department of Mechatronics and Robotics. SOCAR Downstream, ERP Department

ABSTRACT

The industrialization of research misconduct through "paper mills" represents a systemic threat to the integrity of the global scientific record. In this paper, we evaluate a forensic machine learning approach to distinguish between authentic biological abstracts and fraudulent, template-generated manuscripts. We sought to quantify the accuracy of a Random Forest classifier while prioritizing high precision to minimize the risk of false accusations against legitimate researchers. We conducted experiments on a balanced dataset of 382 abstracts—comprising 195 authentic life-science papers retrieved via Biopython and 187 fraudulent papers verified by the Retraction Watch database—to identify the "invisible" structural and technical fingerprints of automated fraud.

The classification strategy operates by transforming text into numerical vectors utilizing TF-IDF (Term Frequency-Inverse Document Frequency) with a range of (1,2) n-grams. The Random Forest model demonstrated robust performance, achieving a mean cross-validation accuracy of 92.07% with a stability margin of $\pm 1.37\%$. On unseen test data, the model achieved an exceptional precision of 98.0% for the fraudulent class, correctly identifying 159 paper-mill products while producing only 4 false positives. This prioritized precision highlights the model's suitability as a conservative "gatekeeper" in editorial workflows, where the ethical cost of a false positive significantly outweighs the necessity for total recall.

Feature importance analysis identified a fundamental stylistic divergence between the two classes. Fraudulent abstracts were characterized by document-centric templates and generic academic markers such as "article," "paper," and "conclusion." Furthermore, the model identified "domain bleeding," where computational terms like "fuzzy" and "decision" were misapplied within biological contexts. In contrast, authentic biological abstracts were distinguished by high-density biological nomenclature and the preservation of technical metadata, specifically "sup" and "sub" XML tags, which serve as a proxy for professional database integration and typesetting.

Our findings point towards a balance between forensic sensitivity and editorial safety. While the model showed a 15% rate of false negatives (missed frauds), its near-perfect precision ensures that flagged manuscripts are identified with high certainty. These results provide insights into the industrialized footprints of paper mills and inform the development of automated screening tools that can be integrated into the initial stages of peer review. Future research can explore the application of this framework to full-text manuscripts to identify further inconsistencies in methodology and data reporting.

Keywords: Research integrity, Paper mills, Forensic scientometrics, Random Forest, Biopython, Life sciences, Automated fraud detection.

INTRODUCTION

The Problem: Industrialized Fraud

The integrity of the global scientific record is currently facing a "five-alarm fire" due to the industrialization of research misconduct [1]. At the center of this crisis are "research paper mills"—commercial organizations that manufacture and sell fraudulent manuscripts to researchers under pressure to publish. Once a fringe phenomenon, these mills have now successfully infiltrated mainstream scientific literature, moving from the periphery of the scholarly ecosystem to its core [1].

The velocity of this expansion is unprecedented. Longitudinal data from Richardson et al. [2] reveals that fraudulent entities are evolving at a rate that significantly outpaces the defensive capabilities of academic journals. Their study indicates that while total legitimate publications double every 15 years, suspected paper-mill products are doubling every 1.5 years [2]. This growth is effectively "polluting" the scholarly ecosystem, making it increasingly difficult for researchers to distinguish between empirical findings and fabricated "template" science.

The Gap: Limitations of String-Matching and Domain Bias

Current screening mechanisms, such as iThenticate and Turnitin, remain largely insufficient against this new generation of fraud. As established by Amirzhanov et al. [3], these tools are primarily designed for "verbatim plagiarism" detection using string-matching algorithms like Rabin-Karp. However, modern paper mills now utilize sophisticated AI-driven text synthesis and paraphrasing tools to create unique linguistic structures that bypass traditional similarity checks [3].

The primary forensic indicator identified in recent literature is the emergence of "tortured phrases"—nonsensical lexical substitutes (e.g., "bosom peril" instead of "breast cancer")—which serve as a hallmark of industrialized fraud [4]. Furthermore, there remains a lack of consensus on the specific structural and technical "fingerprints" that differentiate automated manuscripts from authentic research which, we will try to address in case of life sciences.

This study addresses these gaps by utilizing a balanced control group consisted of life sciences papers to isolate structural and technical artifacts from legitimate discourse, achieving a precision of 97% by focusing on the invisible fingerprints of automated fraud.

The Present Study

In response to the limitations identified in current detection frameworks, this study presents a novel forensic approach focused on the biological domain. Our research is predicated on the hypothesis that paper-mill products leave behind structural fingerprints—technical artifacts and cross-domain linguistic contamination—that are distinct from the stylistic nuances of legitimate scientific communication.

Specifically, this study makes three primary contributions to the field of forensic scientometrics:

Domain-Specific Baseline Construction: We utilize a high-fidelity control group of biological abstracts retrieved programmatically via Biopython's Bio.Entrez from the **PubMed** database to minimize the "topic bias" often found in multi-disciplinary models.

Identification of Structural Artifacts: We identify and quantify the importance of non-lexical markers, such as formatting residues (sup, sub).

High-Precision Classification: We demonstrate that a Random Forest-based approach can achieve a precision of 97%, effectively minimizing "False Positives"—a critical requirement for the practical implementation of fraud detection tools in editorial workflows.

METHODOLOGY

Data Collection.

To ensure a high-fidelity classification, two datasets were constructed to represent legitimate scientific discourse and industrialized fraud.

The Healthy Control Group (PubMed): Legitimate biological abstracts were programmatically retrieved from the **PubMed** database using the **Biopython Bio.Entrez** library [5]. PubMed was selected as the source for "Ground Truth" data because it indexes journals that must meet strict criteria for scientific quality and editorial integrity as defined by the **National Library of Medicine (NLM)**. By targeting peer-reviewed articles within the life sciences, we minimized the risk of "topic bias" (as we found out many papers that were retracted due to paper-mill activity were in life sciences), ensuring the model learns to distinguish fraud from legitimate biological terminology rather than simply distinguishing between different scientific fields.

The Paper Mill Dataset (Fraud Group): The fraudulent dataset was curated from papers verified as retracted by the **Retraction Watch** database as it is a reliable source [6] and outperforms other retracted publication's list sources in many cases [7] recognized repositories of paper-mill activity. We focused specifically on papers where the reason for retraction was identified as "systematic manipulation of the publication process" or "unreliable data/authorship," aligning with the classification of paper-mill products. To maintain a balanced class distribution for the classifier, we utilized a 1:1 ratio between the healthy and fraudulent datasets.

The selection of the biological domain for this study is informed by the current landscape of research integrity; longitudinal analysis of retracted literature indicate that the life sciences and clinical medicine remain the primary targets for industrialized paper-mill activity.[8] Consequently, by intentionally constraining our 'Healthy' dataset to biological abstracts, we ensured that the classifier was forced to distinguish between legitimate and fraudulent *structures* rather than merely identifying differences in field-specific nomenclature.

Preprocessing and Feature Engineering.

Abstracts were converted into numerical vectors using **TF-IDF (Term Frequency-Inverse Document Frequency)** vectorization. We utilized a range of (1,2) n-grams (unigrams and bigrams) to capture both individual "tortured" keywords and suspicious word pairings.[9]

A critical step in our preprocessing was the implementation of a **custom stop-word filter**. In addition to standard English stop-words, we removed:

Metadata Artifacts: Digital Object Identifiers (DOIs), publisher names, and institutional IDs.

Non-Linguistic Noise: Specific numeric strings and database tags. This ensured that the model could not "cheat" by identifying a paper as fraud based on its publisher or its DOI format, forcing the algorithm to focus purely on linguistic and structural markers.

Model Selection: Random Forest.

We chose the **Random Forest (RF)** algorithm [10] for this classification task. While several machine learning architectures were considered, RF was selected for two primary reasons:

1. **Handling High-Dimensionality:** RF performs exceptionally well with the sparse, high-dimensional data produced by TF-IDF vectorization without requiring extensive dimensionality reduction.
2. **Forensic Interpretability:** RF provides **Feature Importance** rankings (based on the Gini impurity index). In a forensic context, it is not enough to know *that* a paper is fake; we must understand *why*. This transparency allowed for the discovery of "technical artifacts" (e.g., sup, sub) and cross-domain terminology (e.g., *fuzzy*) as primary markers.

Validation and Robustness.

To prevent overfitting and ensure the model's generalizability to unseen data, we employed a dual-validation strategy [11]:

Hold-out Testing: An 80/20 train-test split was used, where 20% of the dataset was entirely withheld during the training phase.

K-Fold Cross-Validation: We implemented **5-Fold Cross-Validation** on the training set. This involves splitting the data into five subsets and rotating the training/validation roles, ensuring that the reported accuracy is a stable reflection of model performance across the entire dataset.

RESULTS

Performance Metrics and Model Stability

The forensic validation of the Random Forest model demonstrates high efficacy in distinguishing between authentic biological research and fraudulent paper mill abstracts. The model achieved a mean cross-validation accuracy of 92.07% ($\pm 1.37\%$), indicating strong stability and generalization across different subsets of the data.

As shown in **Table 1**, the model exhibits a significant disparity between the two classes regarding the trade-off between precision and recall.

Table 1: Performance Metrics for Forensic Classification

Class	Precision	Recall	F1-Score	Support
0 (Healthy)	0.87	0.98	0.92	195
1 (Paper Mill)	0.98	0.85	0.91	187
Macro Average	0.92	0.91	0.92	382
Weighted Average	0.92	0.92	0.92	382

Prioritizing Precision in Forensic Detection.

In the context of research integrity, the precision of the fraudulent class (Class 1) is of paramount importance. At **0.98**, the model ensures that nearly every manuscript flagged as a "paper mill" is indeed fraudulent. This prioritization is intentional; in a real-world editorial workflow, the cost of a False Positive (wrongfully accusing an honest author) is significantly higher than a False Negative (missing a fraudulent paper).

The results indicate that while the model is slightly more conservative in its detection (85% recall for fraud), the reliability of its "positive" flags is exceptional (Table 2).

Table 2: Evaluation metrics.

Class	Precision	Recall	F1-Score	Support
0 (Healthy)	0.87	0.98	0.92	195
1 (Paper Mill)	0.98	0.85	0.91	187
Macro Avg	0.92	0.91	0.92	382
Weighted Avg	0.92	0.92	0.92	382

Confusion Matrix Analysis.

The distribution of the model’s predictions on unseen test data is further elucidated by the Confusion Matrix (Figure 1).

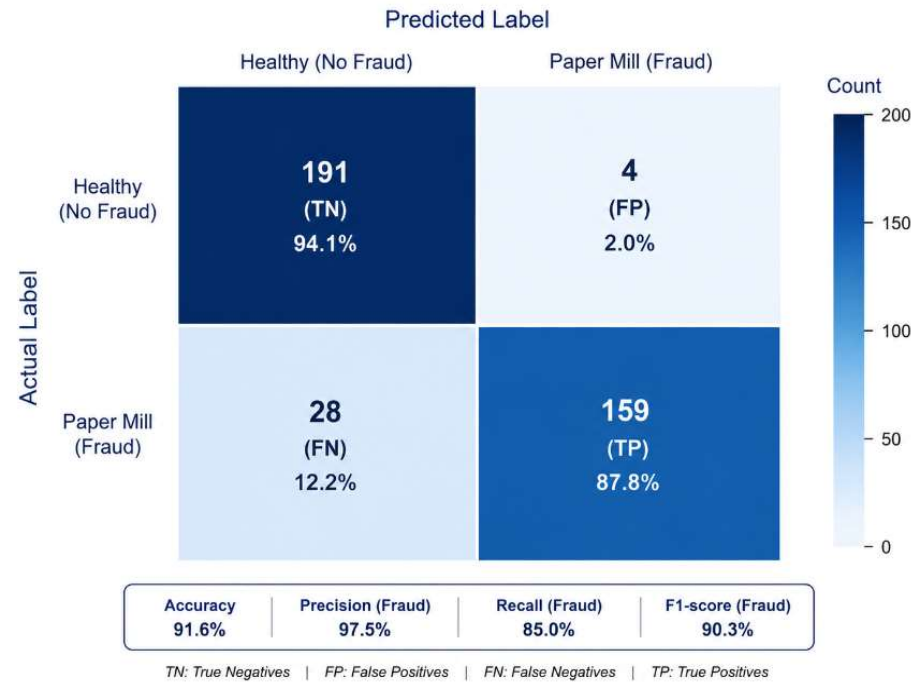


Figure 1. Confusion matrix.

The most critical finding here is the minimal number of **False Positives (n=4)**. This represents a remarkably low error rate for authentic content, confirming that the model effectively filters for the "hollow" linguistic signatures of paper mills without disrupting legitimate scientific discourse. While 28 fraudulent papers were missed (**False Negatives**), these likely represent high-quality frauds that mimic biological terminology more effectively, falling outside the model's current detection threshold for industrialized templates.

DISCUSSION

Linguistic Signatures of Industrialized Fraud.

The feature importance analysis (Table 3) reveals a fundamental stylistic divergence between authentic biological discourse and fraudulent manuscripts. The high ranking of self-referential terms such as "article" and "paper" suggests that paper mills rely heavily on standardized, document-centric templates. In contrast, authentic abstracts (Class 0) are characterized by a higher density of domain-specific nouns such as "species," "molecular," and "cell." This supports the hypothesis that fraudulent authors prioritize the structural appearance of a scientific document over the nuanced technical vocabulary required for genuine scientific reporting.

Table 3: Feature importance and forensic markers

Word	Importance	Associated Class
article	0.039395	1
findings	0.020499	0
remains	0.018308	0
associated	0.015704	0
species	0.014755	0
molecular	0.013077	0
biology	0.012601	0
potential	0.011084	0
fuzzy	0.010834	1
paper	0.010808	1
sup	0.010735	0
sup sup	0.010532	0
sub	0.009499	0
specific	0.009160	0
cell	0.008049	0
key	0.007689	0
including	0.006891	0
conclusion	0.006720	1
therapeutic	0.006658	0
methods	0.006624	1

Metadata Residue as an Authenticity Marker

An unexpected but significant finding was the predictive power of "**sup**" and "**sub**" tags (Table 3) within the healthy dataset. While typically removed during text preprocessing as "noise," these tags served as proxies for professional database integration. Legitimate manuscripts sourced via PubMed preserve chemical and mathematical formatting within their XML metadata. The model's reliance on these tags suggests that paper mill outputs often lack the technical "typesetting footprint" found in professional academic databases, favoring "clean" but structurally simplified text.

The Domain problem.

The prominence of computational and algorithmic terminology—specifically "fuzzy" and "decision" (Table 3) —within the fraudulent cohort warrants a dual interpretation:

a. Forensic Indicator. One interpretation is that these terms represent "cross-domain bleeding," where paper mills recycle linguistic templates from engineering or mathematics and erroneously apply them to biological contexts. This "template recidivism" is a known hallmark of low-effort, industrialized fraud.

b. Methodological Limitation: However, it is also possible that this finding reflects a domain mismatch in the training data. Because the healthy dataset was strictly constrained to life sciences via **Biopython**, while the fraudulent dataset was more heterogeneous, the model may be identifying a thematic shift rather than a purely stylistic fraud signature.

Given the high precision of the model, it is likely that both factors contribute to the detection. However, to isolate stylistic fraud from thematic bias, future research should employ "Pure Bio vs. Pure Bio" datasets to confirm if these computational markers persist in higher-quality biological forgeries.

Implications for Editorial Workflows.

The exceptional precision (0.98) and low false-positive count (n=4) suggest that this model is highly suitable for integration into the initial "gatekeeping" stage of the peer-review process. By prioritizing the avoidance of false accusations, the system provides a reliable, conservative filter that flags high-probability frauds for manual inspection without significantly burdening honest contributors with wrongful rejection.

Conclusion

The results of this study confirm that machine learning, specifically the Random Forest architecture, provides a robust defense against the rising tide of industrialized research fraud. By achieving a 98% precision rate and maintaining a remarkably low false-positive count (n=4), the model demonstrates the necessary reliability for integration into professional editorial workflows. The findings suggest that paper mills leave behind a distinct "industrial footprint"—characterized by a reliance on generic academic templates, the omission of technical metadata (such as sup and sub tags), and the occasional "bleeding" of computational terminology into biological contexts. While further refinement is needed to eliminate thematic biases, this research provides a vital "gatekeeping" tool that prioritizes the protection of honest scientific discourse while effectively flagging high-probability fraud for manual forensic review.

Declarations

The manuscript has not been submitted to any other journal or conference

Competing interests

The authors declare no competing interests.

References

- [1] Brundy, C. and Thornton, J.B. (2024) 'The paper mill crisis is a five-alarm fire for science: what can librarians do about it?', *Insights: the UKSG journal*, 37(1), p. 11. <https://insights.uksg.org/articles/10.1629/uksg.659>
- [2] R.A.K. Richardson, S.S. Hong, J.A. Byrne, T. Stoeger, & L.A.N. Amaral, The entities enabling scientific fraud at scale are large, resilient, and growing rapidly, *Proc. Natl. Acad. Sci. U.S.A.* 122 (32) e2420092122, <https://doi.org/10.1073/pnas.2420092122> (2025).
- [3] Amirzhanov A, Turan C and Makhmutova A (2025) Plagiarism types and detection methods: a systematic survey of algorithms in text analysis. *Front. Comput. Sci.* 7:1504725. doi: 10.3389/fcomp.2025.1504725
- [4] Cabanac, Guillaume & Labbé, Cyril & Magazinov, Alexander. (2021). Tortured phrases: A dubious writing style emerging in science. Evidence of critical issues affecting established journals. 10.48550/arXiv.2107.06751.
- [5] Cock PJ, Antao T, Chang JT, Chapman BA, Cox CJ, Dalke A, Friedberg I, Hamelryck T, Kauff F, Wilczynski B, de Hoon MJ. Biopython: freely available Python tools for computational molecular biology and bioinformatics. *Bioinformatics*. 2009 Jun 1;25(11):1422-3. doi: 10.1093/bioinformatics/btp163.
- [6] Fernandes BBP, Dodurgali MR, Rossetti CA, Pacheco-Barrios K, Fregni F. Editorial- The Secret Life of Retractions in Scientific Publications. *Princ Pract Clin Res.* 2023 Jul 10;9(1):10.21801/ppcrj.2023.91.2. doi: 10.21801/ppcrj.2023.91.2.
- [7] SEBOE, Paul, SEBÖ, Melissa. Comparing the performance of Retraction Watch Database, PubMed, and Web of Science in identifying retracted publications in medicine. In: *Accountability in research*, 2025, p. 1–25. doi: 10.1080/08989621.2025.2484555
- [8] Richard Van Noorden, 2023. "[How big is science's fake-paper problem?](#)," *Nature*, vol. 623(7987), pages 466-467, November. <https://doi.org/10.1038/d41586-023-03464-x>.

[9] Manning et al. (2008)- Manning, C. D., Raghavan, P., & Schütze, H. (2008). *Introduction to Information Retrieval*. Cambridge: Cambridge University Press. <https://www.cambridge.org/highereducation/books/introduction-to-information-retrieval/669D108D20F556C5C30957D63B5AB65C#overview>

[10] Breiman (2001)- Breiman, L. Random Forests. *Machine Learning* 45, 5–32 (2001). <https://doi.org/10.1023/A:1010933404324>

[11] Sylvain Arlot. Alain Celisse. "A survey of cross-validation procedures for model selection." *Statist. Surv.* 4 40- 79, 2010. <https://doi.org/10.1214/09-SS054>

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ВОДНЫХ РЕСУРСОВ ЕСИЛЬСКОГО ВОДОХОЗЯЙСТВЕННОГО БАССЕЙНА ОТРАСЛЯМИ ЭКОНОМИКИ

Жанысов Даулет

магистрант ОП 7М08615-«Управление водными ресурсами», Казахский
Национальный университет водного хозяйства и ирригации

Использование водных объектов

Использование водных объектов [1-7] – это извлечение полезных естественных свойств водных объектов для удовлетворения материальных или иных потребностей физических и юридических лиц.

Основным источником водообеспечения в бассейне реки Есиль являются поверхностные воды. В соответствии с приказом Заместителя Премьер-министра Республики Казахстан – Министра сельского хозяйства Республики Казахстан от 19 августа 2016 года № 367 утверждены лимиты водопользования на 2016-2025 гг., так по Есильской бассейновой инспекции утвержден лимит забора воды в объеме 270 млн. м³, из них по бассейну реки Есиль – 187,5 млн. м³, по междуречью Есиль-Ертіс (включая р. Селеты) – 46,5 млн. м³, по реке Чаглинка – 36,0 млн.м³.

Фактический забор свежей воды за 2025 год составил 467,542 млн. м³, в том числе 22,442 млн. м³ подземной и 439,409 млн. м³ поверхностной воды.

Таблица 1 - Фактический забор воды за 2024 год по Есильскому водохозяйственному бассейну

№п/п	Годы	Объем забора воды, млн.м ³
1	2010	217,78
2	2011	213,31
3	2012	213,05
4	2013	210,62
5	2014	212,63
6	2015	214,52
7	2016	207,815
8	2017	361,609
9	2018	339,344
10	2019	413,974
11	2020	427,394
12	2021	425,086
13	2022	382,843
14	2023	461,853
15	2024	461,851
16	2025	467,542

В зоне Есильской инспекции в 2025 г. из общего объема забранной воды (467,542 млн. м³) - на коммунально-бытовые нужды забрано 157,32 млн. м³, на нужды промышленности – 292,83 млн. м³, сельским хозяйством забрано 10,68 млн. м³, в т.ч.

сельхозводоснабжение – 2,83 млн. м³, орошение регулярное 7,83 млн. м³, рыбным хозяйством – 0,64 млн. м³.

Анализируя использование воды по нуждам экономики за последние годы отмечаем:

- по хозяйственно-питьевым нуждам сохраняется устойчивый рост водопотребления начиная с 2010, в 2024 году наблюдается уменьшение использования воды, но при этом увеличение потерь при транспортировке;

- по производственным нуждам наблюдается постепенное увеличение объемов потребления воды до 2018 года, с 2019 года по 2021 год сохраняется аналогичный объем, в 2023 году наблюдается значительное увеличение, в 2024 году отмечается небольшое уменьшение;

- по забору воды в сельском хозяйстве с 2010 года по 2019 год идет незначительное увеличение, с 2019 года наблюдается рост объемов забора воды, особенно в 2021 году, после 2021 года происходит значительное снижение, в 2024 году продолжается снижение;

- по прудово-рыбному хозяйству использование воды незначительно снизилось.

Объем оборотного использования воды за отчетный период составил 674,428 млн. м³.

Шахтно-рудничные воды использовались в объеме 3,75 млн.м³ на производственные нужды предприятий. Коллекторно-дренажные воды не использовались.

В соответствии со статьей 40 Водного кодекса Есильская бассейновая инспекция заверяет налоговую отчетность по плате за пользование водными ресурсами поверхностных источников. Ставки платы за пользование водными ресурсами поверхностных источников разрабатываются местными исполнительными органы областей и утверждаются местными представительными органами. Так, в 2024 году сумма платы составила – 105,490 млн. тг., при объеме водозабора – 229,255 млн.м³ [2].

Использование водных ресурсов Есильского бассейна на коммунально-бытовые нужды

Численность населения Есильского бассейна по состоянию на 01.12.2024 года составила 2,774 млн. человек, в том числе по областям: Акмолинская – 723,2 тыс. человек, Северо-Казахстанская – 530,089 тыс. человек. В столице республики городе Астана проживает 1520,8 тыс. человек. Необходимо отметить высокую концентрацию населения в 3-х больших городах: Астана, Кокшетау и Петропавловске. В них сосредоточено около 88 % от общей численности городского населения бассейна. В зоне Есильской БИ расположены промышленные города: Степногорск с преимущественно развитой добывающей и обрабатывающей промышленностью, Макинск, Ерейментау с развитым машиностроением, строительством, текстильной и пищевой промышленностью, Акколь, Атбасар, Есиль, Степняк, Булаево, Мамлютка, Сергеевка и Тайынша с преимущественным развитием отраслей, перерабатывающих сельскохозяйственную продукцию. А также Щучинск, выполняющий функцию оздоровительного центра, и постепенно утрачивающий прежние промышленные и непромышленные функции – Державинск.

Коммунальное водоснабжение бассейна базируется на поверхностных и подземных водах. В 2024 году использовано на коммунально-бытовые нужды 131,15 млн. м³ воды: поверхностной – 120,363 млн. м³, подземной – 10,785 млн.м³. Из них: по Акмолинской области – 23,67 млн. м³, по г. Астана – 108,62 млн. м³, по Северо-Казахстанской области – 25,09 млн. м³.

Протяженность водопроводных сетей ТОО «Кызылжар су» составляет 344,3 км, канализационных сетей – 257,8 км с вновь введенными сетями. В среднем по году фактические потери составили – 5,1 %. Это происходит за счет износа водопроводных сетей.

По городу Астана в 2024 году объем забора воды с Астанинского водохранилища на коммунально-бытовые нужды составил 108,144 млн. м³ при заборе в 2023 г. – 100 млн. м³, таким образом, на 8,144 млн. м³ увеличилась подача воды в столицу с Астанинского водохранилища.

Государственное коммунальное предприятие на праве хозяйственного ведения «Астана Су Арнасы» обеспечивает население и предприятия города питьевой и технической водой, а также осуществляет отведение и очистку сточных вод.

Предприятие имеет на балансе 1777 км водопроводных сетей, 3 насосные станции первого подъема, 103 водопроводных насосных станций.

Протяженность сетей канализации и коллекторов на балансе предприятия составляет 1238 км. Отвод стоков жилой и административной застройки района производится 256 канализационными насосными станциями (далее – КНС), имеется накопитель «Карабидаик», находящимися на балансе ГКП «АСА» и обслуживаемым предприятием.

Использование на сельское хозяйство

К орошаемым сельскохозяйственным угодьям относятся земли, пригодные для сельскохозяйственного использования и полива, имеющие постоянную или временную оросительную сеть, связанную с источником орошения.

По сведениям местных исполнительных органов Акмолинской и Северо-Казахстанской областей по состоянию на начало 2024 года площадь земель регулярного орошения составляет – 30,294 тыс. га, в том числе:

- по Акмолинской области – 26,931 тыс. га;
- по Северо-Казахстанской области – 3,363 тыс. га.

В соответствии с водным законодательством РК Инспекция осуществляет выдачу разрешений на специальное водопользование, где к специальному водопользованию также относится пользование поверхностными и подземными водными ресурсами для удовлетворения потребностей в воде сельского хозяйства.

Так, по Есильскому бассейну по выданным разрешениям на специальное водопользование площадь земель регулярного орошения и полива зеленых насаждений составляет 16586,35 га, с объемом водозабора – 7826,71 тыс. м³ в том числе:

- по Акмолинской области включая г.Астана полито – 13607,52 га, с объемом водозабора – 7306,75 тыс. м³;
- по Северо-Казахстанской области полито – 2978,83 га, с объемом водозабора составил – 518,9 тыс. м³.

Следует отметить, что по выданным разрешениям на специальное водопользование на территории бассейна в вегетационный период основными распространенными культурами для полива являются овощные и кормовые культуры, а также картофель, где выращивание продукции невозможно без организации полива.

Наиболее крупными водопользователями на территории Акмолинской области являются – КХ «Саян» (Жаркаинский район, зерновые, зернобобовые культуры, семеноводство) площадью орошения 30 га и объемом водозабора – 15261,1 тыс. м³ и ТОО «Агрофирма «Родина» (Целиноградский район, зерновые, зернобобовые культуры, картофель, семеноводство) площадью орошения 35 га и объемом водозабора – 1781,1 тыс. м³.

На территории Северо-Казахстанской области – ТОО «Тайынша-Астык» (Тайыншинский район, зерновые, бобовые, масличные культуры) площадью орошения 1919 га и объемом водозабора – 268,49 тыс. м³, ТОО «Атамекен Агро» (Есильский район, зерновые и масличные культуры) площадью орошения 30 га и объемом водозабора – 83,64 тыс. м³.

Таким образом, по Инспекции за последние годы полив в областях производился на площадях около 16 000 га, тогда как по данным МИО площади регулярного орошения составляют 30,294 тыс. га.

Одними из возможных причин данных расхождений площадей между МИО и Инспекцией являются:

-использование земельных участков не по целевому назначению, где в случае неиспользования земель землепользователи не принимают мер по переводу земель в неорошаемые участки;

-неполный охват первичных водопользователей разрешениями на специальное водопользование, при этом для мелких крестьянских хозяйств и садоводов одной из проблем оформления разрешения является дороговизна приобретения приборов учета воды и необходимость наличия проектов удельных норм водопотребления и водоотведения, которые также требуют больших финансовых средств [2].

Наличие земель регулярного, лиманного орошения и обводненных пастбищ в разрезе районов Акмолинской области по состоянию на 01.01.2025 г.

Таблица 2 – Площадь орошаемых земель по Акмолинской области

№ п/п	Наименование региона	всего орошаемых земель (га)	в том числе (га)		обводненных пастбищ (га)
			регулярное орошение	лиманное орошение	
1	Аккольский	898	548	350	125586,5
2	Аршалынский	810,1	810,1	-	56314,8
3	Астраханский	16235	2264	13971	128078,3
4	Атбасарский	21124,3	3238,3	17886	99427,0
5	Буландынский	1876,5	1441	2312	35897,9
6	Бурабайский	1338	178	1160	152160,8
7	Егиндыкольский	1070	-	1071	21837,0
8	Биржан сал	1008	1008	-	182619,0
9	Ерейментауский	13322	3377	9945	716557,6
10	Есильский	475,2	475,2	-	76434,0
11	Жаксынський	9293,3	423,3	8870	146098,8
12	Жаркаинский	1170	1170	-	336670,0
13	Зерендинский	1268	1268	-	83433,3
14	Коргалжынский	9608,5	1816,5	7792	86133,8
15	Сандыктауский	800	800	-	4722,0
16	Целиноградский	25554	5573	19981	40324,0
17	Шортандинский	2182	1486	696	36126,3
18	г.Кокшетау	380	380	-	6524,3
19	г.Степногорск	674,5	674,5	-	33044,0
Итого		110965,9	26930,9	84035	2367989,4

Наличие земель регулярного, лиманного орошения и обводненных пастбищ в разрезе районов Северо-Казахстанской области по состоянию на 01.01.2025 г.

Таблица 3 – Орошаемая площадь в разрезе районов Северо-Казахстанской области

№ п/п	наименование региона	всего орошаемых земель (га)	в том числе (га)		обводненных пастбищ (га)
			регулярное орошение	лиманное орошение	
1	Айыртауский	383	383	-	44213
2	Кызылжарский	1118	1118	-	66589
3	Г. Мусрепова	352	352	-	60230
4	Тайыншинский	-	-	-	36635
5	Шал акына	1510	1510	-	26973
Итого		3363	3363	0	234640

Фактический объем забора воды на сельское хозяйство из поверхностных и подземных источников по Есильскому бассейну составил 10654,23 тыс. м³, из них:

- по Акмолинской области – 7794,02 тыс. м³;
- по Северо-Казахстанской области – 2323,62 тыс. м³.
- г. Астана – 527,8 тыс. м³.
- г. Аркалык – 7,8 тыс. м³.

Таблица 3 - Динамика изменения объема водозабора в целом на сельское хозяйство, тыс.м³

Год	Сельское хозяйство	В том числе:			
		Регулярное орошение	Лиманное орошение	Сельхоз водоснабжение	Обводнение пастбищ
2011	33,24	6,28	1,61	25,35	
2012	31,04	6,699	0,875	23,46	
2013	30,638	5,3212	2,461	22,856	
2014	33,479	6,846	4,041	22,592	
2015	38,7715	7,1685	0	29,6	
2016	29525,0	7 003,1	1 325,5	20 815,4	381,0
2017	240055,09	12078,74	0	11789,64	173,89
2018	15871,04	10561,36	0	5309,67	
2019	10543,36	10532,46	0	4076,11	
2020	14226,44	10206,79	0	3994,05	
2021	21297	14021,57	0	3994,05	
2022	9765		0	7275,6	
2023	14939,6	11096,48	0	3832,74	10,4
2024	10654,23	7826,71	0	3209,73	23

Динамика изменения объема водозабора на сельское хозяйство и орошение за последние пять и более лет в разрезе областей и бассейнов рек представлена в таблице 6.

КПД оросительных систем по Есильскому бассейну за последние годы остается на прежнем уровне и составляет в среднем 0,99. Средняя оросительная норма нетто по Акмолинской области – 540,3 м³/га, по Северо-Казахстанской области – 414,3м³/га.

Забор воды на производственные нужды по Есильскому БИ

По Есильской бассейновой инспекции за 2024 год забор воды на производственные нужды составил 292,832 млн.м³, из них 284,340 млн.м³ - поверхностной, 8,491 млн.м³ – подземной, из них 3,754 млн.м³ шахтно-рудничной воды [2].

Использовано на производственные нужды в отчетном году: всего – 290,182 млн. м³, из них 281,690 млн. м³ – поверхностной, 8,491 млн.м³ – подземной, из них 3,754 млн. м³ шахтно-рудничной воды. Использование воды на производственные нужды по бассейнам рек составило: по бассейну Есиль – 264,028 млн. м³, по Селеты и Междуречью – 16,107 млн. м³, по Чаглинке – 10,047 млн.м³. В том числе по областям: Акмолинская – 26,70 млн. м³, г. Астана – 18,054млн. м³, Северо – Казахстанская – 245,428 млн.м³.

В соответствие со статьей 92-3 Водного Кодекса РК системы технического водоснабжения создаются для обеспечения водой производственных нужд индивидуальных предпринимателей и юридических лиц по установленным нормам технологического процесса. При выборе схемы технического водоснабжения предусматриваются повторное использование воды, оборотное водоснабжение.

Кроме того, в соответствии со статьей 72 Водного кодекса РК водопользователи обязаны принимать меры к внедрению водосберегающих технологий, прогрессивной техники полива, оборотных и повторных систем водоснабжения. Согласно статье 103 Водного Кодекса РК промышленные организации обязаны иметь оборотное водоснабжение.

Так, по Есильскому бассейну объем воды, используемой в системах оборотного водоснабжения за 2024 год составил 674,428 млн. м³, что по сравнению с предыдущим 2023 годом на 12 % больше. Крупнейшими предприятиями, применяющие системы оборотного водоснабжения на территории бассейна являются АО «СевКазЭнерго», АО «AltyntauKokshetau», АО «Астана Энергия».

Объем повторного водоснабжения по Инспекции составил 1,605 млн. м³, что по сравнению с предыдущим годом понизился на целых 99 %.

Это связано с тем, что крупный водопользователь АО «СевКазЭнерго», с 2018 года по 2023 год указывал в своем отчете 2ТП-водхоз, около 200 млн. м³ воды, которую он забирает из озера Большое Белое, как повторное водоснабжение. Однако, в отчете 2ТП-водхоз 2024 года данный объем был указан как оборотное водоснабжение и тем самым, доля повторного водоснабжения по Инспекции значительно снизилась, а доля оборотного водоснабжения, наоборот, увеличилась.

АО «СевКазЭнерго» объяснил это тем, что предприятие до 2024 года имели ошибочное представление о разнице повторного и оборотного водоснабжении, в связи с чем недостоверно представлял данные в предыдущие годы.

Использование водных ресурсов реки Есиль на нужды рыбного хозяйства, природоохранные и санитарно-экологические попуски

На территории Есильского водохозяйственного бассейна природные водные экосистемы самые разнообразные по биологической продуктивности от фауны пресных вод до фауны, близкой к морской. Помимо озер на территории имеются пруды, водохранилища и реки, которые также имеют рыбохозяйственное значение.

Право пользования рыбными ресурсами и другими водными животными и ведения рыбного хозяйства на водных объектах или их частях, имеющих важное значение для сохранения, воспроизводства и добычи рыбных ресурсов и других водных животных (в том числе для промыслового рыболовства), предоставляется в соответствии с законодательством Республики Казахстан в области охраны, воспроизводства и использования животного мира.

В 2024 году на территории бассейна водопотребление на нужды рыбного хозяйства составило 635,5 тыс. м³, из них по Акмолинской области – 635,5 тыс. м³ (ГККП «Зерендинское рыбохозяйственное предприятие»).

Для соблюдения требований охраны природной среды, санитарно-эпидемиологической безопасности населения с крупных водохранилищ Есильского бассейна производятся природоохранные и санитарно-экологические попуски.

Таблица 4 – Использование воды реки Есиль на прудово-рыбное хозяйство

Область	Ед. изм.	Использование воды на прудово-рыбное хозяйство											
		2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024
Акмолинская	тыс.м ³	759,7	759,7	759,7	650	585,0	629,4	650	650	650	-	-	635,5
Северо-Казахстанская	тыс.м ³	392,1	419,8	569,8	602,4	259,0	81,5	76,65	75,1	109,7	173,3	38,6	-
Всего по бассейну	тыс.м ³	1151,8	1179,5	1329,5	1252,4	844,0	710,9	726,55	725,1	759,7	173,3	38,6	635,5

Санитарные сбросы в нижний бьеф по крупным водохранилищам Есильской инспекции в 2024 году составили 19653,74 млн. м³, в том числе:

по Астанинскому (Вячеславскому) водохранилищу – 409,53 млн.м³,

по Селетинскому водохранилищу – 417,01 млн.м³,

по Чаглинскому водохранилищу – 135,215 млн.м³,

по Сергеевскому и Петропавловскому водохранилищам, работающим в каскаде –18691,98 млн.м³.

Литература

1. Джолдасов С.К. Мониторинг водных объектов и геоинформационные системы: учебное пособие / С.К.Джолдасов, Г.Кожамкулова. – Алматы: Эверо, 2017. – 184 с.
2. Свод Правил Республики Казахстан 3.04-101-2013 «Гидротехнические сооружения».
3. СП РК 3.01-105-2013 «Благоустройство населённых пунктов».
4. Постановление Правительства Республики Казахстан от 09.11.2012г. №1176 «Об утверждении Программы «Ак-булак» на 2011-2020годы».
5. Сенников М.Н. Решение ключевых вопросов при управлении водными ресурсами в странах ЦА [Текст] / Сенников М.Н., Сагинтаев Ж., Омарова Г.Е., Мухтаров Ж., Рсалиева А. // «VI Үркімбаев оқулары» Халықаралық ғылыми-практикалық конференциясының МАТЕРИАЛДАРЫ, I том, Тараз қ., 26.11.2021ж. Б. 209-213.
6. Сенников М.Н. Прогнозирование запасов поверхностных водных ресурсов исследуемого региона с использованием ГИС-технологий [Текст] / Сенников М.Н., Омарова Г.Е., Койбаков С.М., Турсунбаев Х.И., Нұржанұлы Б., Рсалиева А. // Инновационные и практические решения ускоренного восстановления продуктивности деградированных орошаемых земель: Международная научно-практическая конференция, 20 мая 2022г., г. Тараз, 2022. – С. 92-97.
7. Гричаная Т.С. Основные направления по повышению эффективности использования водных ресурсов в Республике Казахстан [Текст] / Гричаная Т.С., Абдураманов Н.А., Джабаев

К.Е., Кали А.С. // Инновационные и практические решения ускоренного восстановления продуктивности деградированных орошаемых земель: Международная научно-практическая конференция, 20 мая 2022г., г. Тараз, 2022. – С. 64-68.

ХАРАКТЕРИСТИКА УЙДЕНИНСКОЙ ОРОСИТЕЛЬНОЙ СИСТЕМЫ

Икамбаева Асель

магистрант ОП 7М08615-«Управление водными ресурсами», Казахский
Национальный университет водного хозяйства и ирригации

Местоположение объекта

Реконструируемые объекты: Головное водозаборное сооружение, магистральные каналы ЛМК-2 и Р-3 входят в состав Уйденинской оросительной системы. Уйденинская система расположена западнее и северо-западнее г. Зайсан [1]. Оросительную систему с северо-запада на юго-восток пересекает асфальтированная автодорога республиканского значения Омск-Майкапчагай. Ближайшими населенными пунктами, помимо г. Зайсан, являются с. Кенсай (бывш. Мичуринское) и с. Карабулак (рис. 1).

Ближайшей железнодорожной станцией является Жангизтобе. Сообщение с нею и областным центром г. Усть-Каменогорском осуществляется по асфальтированной автодороге республиканского значения Майкапчагай - Зайсан Кокпекты – Георгиевка – Жангизтобе - Усть-Каменогорск. Расстояние от г. Зайсан до ст. Жангизтобе составляет порядка 370 км, а до железнодорожной станции Защита 520 км.

Характеристика Уйденинской оросительной системы (из истории проектирования, строительства и эксплуатации)

Уйденинская оросительная система находится в Зайсанском районе Восточно-Казахстанской области в предгорной зоне Зайсанской котловины (рис. 1).

Источником орошения массива является реки Уйдене, сток которой зарегулирован водохранилищем многолетнего регулирования с полезным объемом 65,5 млн. м³.

Уйденинская оросительная система находится на балансе «ВК Казводхоз» и предназначена для целей орошения земель в Зайсанском районе. Эксплуатацию его осуществляет Зайсанское ПЭУ. Имеется разрешение на специальное водопользование.

Под Уйденинским водохранилищем в настоящее время подвешено орошаемых земель 3-х округов на: 2-х сельских Карабулакского - 4,91 тыс. га, Кенсайского - 3,21 тыс. га и одного городского Зайсанского - 4,22 тыс. га на общей площади 12,34 тыс. га. Согласно [2] сооружения Уйденинской оросительной системы с обслуживаемой площадью 12,34 тыс.га относятся к IV классу.

В настоящее время при поливе сельскохозяйственных культур поливная техника и механизированный полив в фермерских хозяйствах не применяется.

Уйденинская оросительная система построена по проекту института «Ленгипроводхоз» [1] и эксплуатируется с 1967 г. Уйденинская оросительная система представляет собой комплекс гидротехнических сооружений, в который входят:

- а) плотина высотой 65 м с водохранилищем многолетнего регулирования ёмкостью 75 млн.м³;
- б) туннельный водосброс и водовыпуск;
- в) ГЭС мощностью 2,5 тыс. кВт;
- г) головное водозаборное сооружение;
- д) оросительная сеть на площади 12,34 тыс.га.

Оросительная сеть выполнена из параболических лотков. Полив поверхностный по бороздам и полосам с низким расчётным гидромодулем. Из-за принятого низкого гидромодуля была занижена пропускная способность каналов, что не обеспечивало необходимый режим орошения. Для устранения этого недостатка, уже начиная с 1969 г. институтом «Ленгипроводхоз» разработано ряд проектов по реконструкции внутрихозяйственной сети и Левобережного магистрального канала Уйденинской ОС. И ни один из этих проектов не осуществлен в натуре.

Реконструкция Уйденинской ОС началась с Левобережного магистрального канала в 1978 г по проектам Усть-Каменогорского филиала института «Казгипроводхоз». Завершилась реконструкция Левобережного магистрального канала в 1985 г [2]. В результате реконструкции пропускная способность канала в голове достигла 9,1 м³/с.

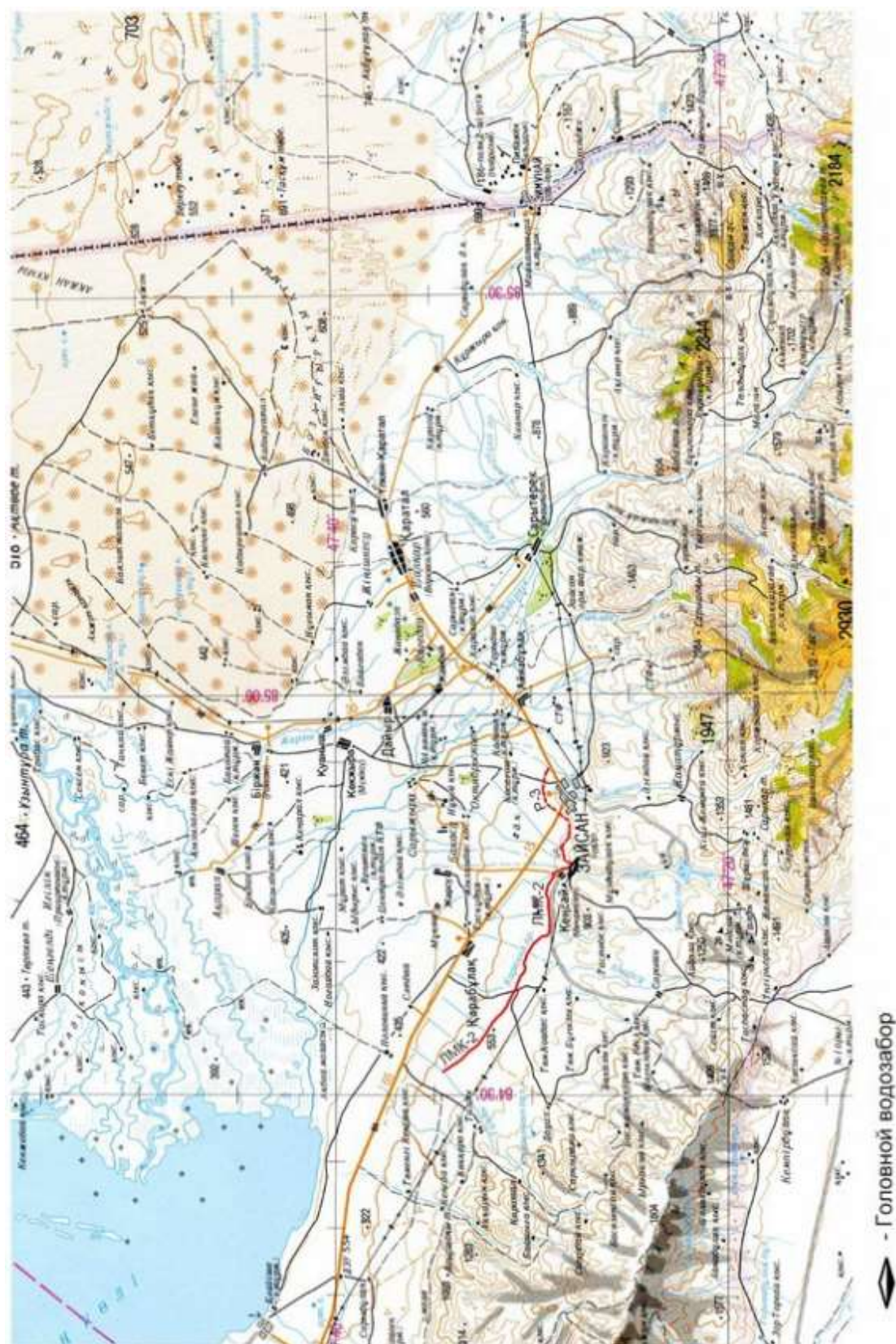


Рис. 1 Обзорный план М 1: 500 000

Рис.1 – Ситуационная схема

В 1984 г. институтом «Ленгипроводхоз» выполнено Гидрологическое и водохозяйственное обоснование водопдачи на орошение земель из Уйденинского водохранилища. В данной работе по биоклиматическому методу уточнены оросительные нормы и выполнены водохозяйственные расчеты. Анализ расчетов показал, что

Уйденинское водохранилище позволяет оросить 13 тыс. га земель с обеспеченностью 87,5 % по числу перебойных лет. Увеличение оросительных норм, рассчитанных биоклиматическим методом, вызвало необходимость увеличения пропускной способности магистральных каналов.

В 1987 году Усть-Каменогорский филиал института «Казгипроводхоз» разработал рабочий проект переустройства правобережного магистрального канала (ПМК) Уйденинской оросительной системы [3]. Этим рабочим проектом предусматривалось строительство параллельно Правобережному магистральному каналу второй нитки канала из труб диаметром 1200 мм и имеет название Р-3. Магистральный канал из труб диаметром 1200 мм и в концевой части диаметром 1000 мм. Целью переустройства являлось повышение водообеспеченности 4445 га орошаемых земель правобережной части путем увеличения пропускной способности каналов Правобережного магистрального, Р-2 и магистрального Р-3 (ранее межхозяйственный распределитель Р-III). Проектными решениями предлагалось Правобережный канал переустроить в виде двух ниток трубопровода. Однако, учитывая, что Магистральный канал Р-2 в ближайшее время не планировался реконструироваться, то существующий Правобережный магистральный канал сохранялся без изменения для подачи воды в Магистральный канал Р-2. Строительство по данному проекту закончено в 1989 г.

После проведенных реконструкций Уйденинская оросительная система имела следующую технологическую схему: Уйденинская плотина с туннельным водосбросом и водовыпуском и приплотинной ГЭС, головной водозаборный гидроузел, оросительная сеть. Настоящим дается только краткое описание водозаборного узла и основных каналов оросительной сети.

Головной водозаборный гидроузел построен в 1967 году, расположен в 3 км выше с. Кенсай при выходе реки из гор. Максимальная пропускная способность 50,0 м³/с.

Гидроузел фронтального руслового типа состоит из щитовой плотины длиной 60,7 м, максимальной высотой 2,6 м и фронтальных водозаборов:

правобережного и левобережного. Щитовая плотина расположена в русле реки, между водозаборами. Водосливной фронт плотины из трёх пролётов по 4,0 м, разделённый двумя быками по 1,0 метру. Пролеты перекрываются забральными стенками высотой 1,5 м и глубинными колесными затворами 4×1,25 м. Правый и левый устои примыкают к напорным железобетонным стенкам, в виде подпорной стенки.

Левобережный водозабор состоит из двух прямоугольных отверстий в напорной стенке размером 1,0×1,5 м, продолжающийся двумя прямоугольными железобетонными трубами такого же размера. Вход затопленный. Каждое входное отверстие оборудовано глубинным плоским скользящим затвором с ручным подъёмником. Ремонтные затворы и специальные пазы для ремонтных шандор не предусмотрены. От труб отходит лотковый прямоугольный канал ЛМК шириной 3,0 м. В 140 м ниже по течению вододелительным сооружением канал ЛМК делится на два магистральных канала — ЛМК-1 и ЛМК-2.

Правобережный водозабор состоит из двух прямоугольных отверстий в напорной стенке размером 0,7×1,0 м, продолжающийся двумя прямоугольными железобетонными трубами такого же размера. Вход затопленный. Каждое входное отверстие оборудовано глубинным колесным затвором с ручным подъёмником. Ремонтные затворы и специальные пазы для ремонтных шандор не предусмотрены. По первому отверстию, от борта долины в створе, вода подаётся в Магистральный канал Р-3. На входе стоит сороудерживающая решётка. По второму отверстию, от борта долины в створе, вода подаётся в Правобережный магистральный канал и Р-2.

Электроснабжение отсутствует. Линия электропередачи и трансформаторная подстанция демонтированы. Служебное здание разобрано. Наружное освещение и телефонная связь отсутствуют.

Техническое состояние головного водозаборного гидроузла. Основано на результатах обследования (Приложение СУ-2012.УОС. Пр).

Затворы и подъемное оборудование в неудовлетворительном состоянии:

уплотнительная резина изнашивается и не держит напоров воды, колеса и винтовые подъемники в нерабочем состоянии — не прокручиваются, стальные конструкции в налетах ржавчины.

Бетон левобережной и правобережной подпорной стенки имеет разрушения в виде поверхностных трещин как вертикального так и горизонтального направления, длиной от 5 до 30 см с наибольшим раскрытием трещин 0,5 до 3 см, имеет разрушения в виде раковин глубиной, глубиной от 2,0 до 15 см.

Бетон устоев нижнего бьефа имеет разрушения в виде поверхностных трещин вертикального и горизонтального направления длиной от 3 до 15 см с раскрытием 0,5 до 2 см, раковины глубиной от 2,0 до 10 см.

Трещины бетона наносоотводящих стенок длиной от 5 до 150 см с раскрытием 0,5 до 5 см, раковины глубиной от 2 до 15 см. Нижняя часть стенок с с напорной стороны подмыта, глубина размыва под основанием от 0,2 до 0,5 м, имеется оголенная арматура в нижней части стенки. Левобережная стенка не имеет примыкания к борту на длине 4-5 м, участок забросан камнями.

Бетон в зоне переменного уровня воды на разделительных бычках имеет разрушения до 3 см, по всему бычку наблюдаются трещины от 2 до 5 см.

В нижнем бьефе щитовой части стенки и днище водобойя и понура имеют разрушенный поверхностный слой до 5 см, в местах сопряжения с основанием имеются глубокие каверны.

Водомерные сооружения на выпусках в каналы отсутствуют. На водовыпуске в ЛМК отсутствует перильное ограждение. Пешеходный мостик имеет каверны в железобетонных плитах.

С левой стороны сооружения имеются остатки фундамента эксплуатационного здания, в 20 м ниже от фундамента размещена скважина питьевого водозабора предприятия «Водоканал» с ограждением. К нему подведена ЛЭП.

Правобережная часть оросительной сети состоит из Магистрального канала Р-3 и Правобережного магистрального канала (ПМК), продолжающего распределительным каналом Р-2, имеющего отдельный водозабор.

Фактически, на правобережной части имеется две независимые друг от друга линии водоподачи на орошаемые земли: по Магистральному каналу Р-3 и Магистральному каналу Р-2.

Магистральный канал Р-3 подаёт воду на площадь 2414 га. Канал выполнен в виде самонапорной трубы подземной прокладки с водовыпусками в участковые распределители, оборудованными затворами. Протяжённость канала 9,23 км. Диаметры труб 1200 – 1000 мм. Расход в голове канала 2,19 м³/с. Опорожнение Р-3 осуществляется в конце по сбросному трубопроводу с отводом на рельеф местности.

Техническое состояние Магистрального канала Р-3. Основано на результатах обследования (Приложение СУ-2012.УОС.Пр).

На трубопроводе имеются отдельными участками порывы в виде выхода воды на поверхность.

Водовыпуски в участковые оросители в нерабочем состоянии, задвижки не работают, отсутствуют водомерные приборы, запорно-регулирующая арматура не электрифицирована.

Химзащита трубопровода отсутствует. Колодец водоучета и домик на гидроступу разобраны.

Выпуск воды осуществляется в колодцы старого лоткового канала. Предохранительная арматура на трубопроводе отсутствует. Имеются пять самовольных подключений к трубопроводу для населения г. Зайсан.

Сбросной трубопровод в нерабочем состоянии: запорно-регулирующая арматура неисправна, смотровой колодец разрушен, выходной железобетонный оголовок отсутствует, русло отводящего канала в период эксплуатации не очищалось.

За время эксплуатации построена объездная автомобильная дорога Омск-Майкапчагай вдоль магистрального канала Р-3.

Состояние участков эксплуатационной дороги, проходящих вдоль канала, удовлетворительное.

В голове канала на ПК 8+15 имеется гидрометрическое сооружение. Прибор для измерения расхода воды «Взлет», располагается в железобетонном колодце размером 4х3,5 м без защитной крышки. Прибор заржавел, не подлежит дальнейшей эксплуатации.

Магистральный канал Р-2 подаёт воду на площадь 2301,0 га. Часть канала, которая раньше называлась Правобережный Магистральный канал (ПМК), длиной 0,4 км построена из параболических железобетонных лотков ЛР-125 на опорах. Магистральный канал начинается от головного водозаборного гидроузла. Пропускная способность канала в голове – 2,32 м³/с. На Магистральном канале Р-2 имеется дюкерный переход под автодорогой Омск-Майкапчагай и дюкерный переход под межхозяйственной дорогой (верхний дюкер), пять водовыпусков в участковые оросительные каналы, которые выполнены из параболических железобетонных лотков ЛР-80 и ЛР-60 на опорах. Водовыпуски в участковые каналы выполнены в виде колодцев из монолитного железобетона и оборудованы плоскими скользящими затворами.

Левобережная часть оросительной сети состоит из Левобережного Магистрального канала ЛМК-1, Левобережного Магистрального канала ЛМК-2, Магистрального канала Р-1, участковых распределителей.

Магистральные каналы ЛМК -1 и ЛМК -2 отходят от вододелителя на ЛМК. Магистральный канал ЛМК-1, который первоначально, до реконструкции, имел название «Левобережный магистральный канал» - ЛМК, был построен в 1967 г по проекту института «Ленгипроводхоз» [1] в параболических лотках ЛР-125 на опорах. В настоящее время ЛМК-1 только на участке от вододелителя до перехода канала дюкером под автодорогой в с. Кенсай протяженностью 1,8 км является действующим.

Левобережный Магистральный канал ЛМК-2 протяжённостью 23,3 км прямоугольного сечения из Г-образных блоков. Расчётный расход в голове канала 9,1 м³/с. На канале имеются водовыпуски, вододелители, ливнепроемы.

Техническое состояние магистрального канала ЛМК-2. Основано на результатах обследования (Приложение, СУ-2012.УОС. Пр).

На участке протяжённостью около 3 км (с ПК 46+71) Г-образные блоки за время эксплуатации на канале потеряли устойчивость и склонились внутрь канала, требуют замены.

Монолитный железобетон дна канала имеет трещины, разрушения по всей трассе канала. Деформационные швы устарели, потеряли герметичность.

Вододелители на магистральном канале и водовыпуски в участковые оросители в неудовлетворительном состоянии, имеют течи, трещины и сколы.

Затворы и подъемное оборудование в непригодном состоянии.

Гидропосты отсутствуют.

Подсыпка с внешней стороны канала на некоторых участках отсутствует.

Ливнепропуски в нерабочем состоянии: засорены мусором и наносами. Трубчатые ливнепропуски забиты и засорены наносами, входные и выходные оголовки отсутствуют или разрушены. У ливнепропусков, проложенных над каналом бетонные стенки имеют трещины и сколы с частичным разрушением. Ливнепропуск на ПК 144+29 - бетонное крепление плитами разрушено, часть смыта паводковыми водами.

Мостовые переходы не пригодны для эксплуатации, в связи с минимальным опиранием на устои, частичным обрушением переездов, требуют замены на новые с сейсмическими решениями.

Электрифицированная запорно-регулирующая арматура отсутствует. Линии электропередачи отсутствуют.

Эксплуатационная дорога вдоль канала по трассе, предусмотренной проектом, отсутствует. Существующая грунтовая дорога, используемая для проезда к сооружениям канала в неудовлетворительном состоянии, имеет ямы и размытые участки.

Магистральный канал Р-1 начинается от дюкера Левобережного Магистрального канала ЛМК-1 в с. Кенсай. На выходе из дюкера под автомобильной дорогой Магистральный канал Р-1, из параболических лотков.

По сложившейся традиции службы эксплуатации, участок канала ЛМК-1, каналы Р-1 и ОХ-1 носят единое название Магистральный канал Р-1. Под каналом подвешено 2189,2 га. В 2010 году ТОО «Су-проект» разработал рабочий проект «Реконструкция Уйденинского канала Р-2, Р-1 и ПМК (Правобережного магистрального канала Зайсанского района ВКО)». Данным проектом предусматривается строительство, магистральных каналов Р-1 и Р-2 открытого типа из сборных железобетонных блоков, параллельно существующим. Для коммерческого водоучета на этих каналах предусмотрены расходомеры-счетчики «Взлет РСЛ-212». Электропитание расходомеров-счетчиков предусмотрено от ветроэнергетических установок W3 (ВЭУ). Реализация данного проекта намечена на 2012-2013 годы [1-6].

Литература

1. Рабочий проект «Реконструкция Уйденинского головного водозабора в Зайсанском районе ВКО» разработан ТОО «Су-проект» по Договору №83 от 28.03.2011 г. и Дополнительному соглашению №83-д от 07.11.2011 г.
2. Свод Правил Республики Казахстан 3.04-101-2013 «Гидротехнические сооружения».
3. СП РК 3.01-105-2013 «Благоустройство населённых пунктов».
4. Постановление Правительства Республики Казахстан от 09.11.2012г. №1176 «Об утверждении Программы «Ак-булак» на 2011-2020годы».
5. Сенников М.Н. Решение ключевых вопросов при управлении водными ресурсами в странах ЦА [Текст] / Сенников М.Н., Сагинтаев Ж., Омарова Г.Е., Мухтаров Ж., Рсалиева А. // «VI Үркімбаев оқулары» Халықаралық ғылыми-практикалық конференциясының МАТЕРИАЛДАРЫ, I том, Тараз қ., 26.11.2021ж. Б. 209-213.
6. Гричаная Т.С. Основные направления по повышению эффективности использования водных ресурсов в Республике Казахстан [Текст] / Гричаная Т.С., Абдураманов Н.А., Джабаев К.Е., Кали А.С. // Инновационные и практические решения ускоренного восстановления продуктивности деградированных орошаемых земель: Международная научно-практическая конференция, 20 мая 2022г., г. Тараз, 2022. – С. 64-68.

МАГИСТРАЛЬНЫЕ КАНАЛЫ «ЖАНА-ТОГАМ» И «КОКТОГАМ» ТАРБАГАТАЙСКОГО РАЙОНА ВОСТОЧНО-КАЗАХСТАНСКОЙ ОБЛАСТИ

Турсынханов Айдар

магистрант ОП 7М08615-«Управление водными ресурсами», Казахский Национальный университет водного хозяйства и ирригации

Существующее состояние канала «Жана-Тогам» и «Коктогам» не удовлетворяет условиям эксплуатации, так как канал заилен донными твердыми наносами, которая попадает в канал, вследствие разрушенных косонаправленных порогов. Фактическая пропускная способность правобережного регулятора Жана-Тогам - $Q = 1,5 \text{ м}^3/\text{с}$. (заилен донными наносами). После реконструкции будет $Q = 2,5 \text{ м}^3/\text{с}$., соответствовать показателям технической характеристики (Технического паспорта).

Состояние канала в настоящее время: орошаемая вода подается в малом количестве. Проектом предусмотрен демонтаж существующих лотковых каналов из «Г» образных блоков и монтаж новых «Г» образных блоков.

В местах соединения блоков предусмотрен установка параизола, диаметром 5см., а в местах омоноличивание дно канала устроена доска пропитанное креозотом толщиной 2 см., в конечном итоге параизол и доска будет служит и температурным швом, которое для каналов устраивается через каждые 6-12м. (для линейных магистральных каналов).

В период реконструкции гидроузла и магистральных каналов Жана-Тогам и Коктогам, согласно технического задания п. 7.2 «Обеспечить подачу воды водопотребителям на период строительства» строительные работы будут производиться поздней осенью после завершении вегетационного сезона или ранней весной перед началом поливного сезона.

Параметры каналов не изменится, просто будут меняться на новые. Омоноличивание дна канала между ножками блоков производится путем устройства монолитного железобетона, предварительно армировав 16 мм арматурой, с ячейками 20x20см., (Согласно СНиПа 2.06.08-87 «Бетонные и железобетонные конструкции гидротехнических сооружений» страница 9 пункт 3.23. – открытые поверхности бетонных сооружений, находящиеся в зоне переменного уровня воды и подвергающиеся воздействию отрицательных температур, а также открытые поверхности сооружений допускается армировать сетками из арматуры класса А III диаметром 16мм), включая гидрометрические мосты.

На головной части магистральных каналах «Жана-Тогам» и «Коктогам» предусмотрены ж/б порог и смывочные шлюзы, для предупреждения попадания донных наносов в канал.

Промывной шлюз устроен сечением - квадратное 1x1,5м, покрытое защитной конструкцией, уклон рукавного канала $i = 0,2$.

Существующее состояние дюкерного перехода (переход через реку Тебиске – труба 1000мм), которое расположено на ПК 16+07м МК Жана-Тогам ответвляется левую сторону, подпитывая МК Коктогам, находится в неудовлетворительном состоянии.(быки имеет разрушение, трубы диаметром 1000мм заржавели, в местах залатанных частей трубы течет вода).

Проектом предусмотрена продолжить МК Коктогам до гидроузла так, как до реконструкции МК Коктогам подпитывался от канала «Жана-Тогама» через дюкерный переход.

Обоснование продолжения магистрального канала «Коктогам»:

1. Изначально дюкер был предназначен для создание напорного трубопровода, для полива с/х культур дождевальной машиной «Фрегат», но технические решения не были достигнуты в связи с развалом союза, вместо ранее задуманного полив дождевальной машиной, перешли на поверхностный полив (дикий полив) то есть достроили канала из «Г» образных блоков – лотковая сеть.

2. При эксплуатации дюкера ежегодно и в настоящее время, в местах перехода через реки где труба диаметром 1000 мм ложиться на отдельные бычки образуются микротрещины и увеличиваясь день за днем образуются большие щели и дырки диаметром более 1 см. В конце вегетационного периода через вышеуказанные щели вода переливаясь через всю конструкцию вызывает коррозию металла разрушению поверхностей бетона и потери воды в пределах от 10-15 л/с. Проводятся сварочные работы латаются щели и дырки, однако приходится повторять эту работу ежегодно.

3. Требование к эксплуатации дюкера очень высоки и требуются постоянный уход подготовка к зимнему и весеннему периоду, подготовка к поливному сезону и т.д.

4. В случаи аварии на дюкере напорного трубопровода, нет возможности обеспечить оросительной водой водопотребителей по запасному или резервному каналу.

5. Преимущество продолжения лоткового канала – это разделение водозаборной части магистральных каналов и подача оросительной воды, без загроможденности канала «Жана-Тогама».

6. Небольшое расстояние место примыкания водозаборного канала «Коктогам» с существующим каналом – 1559м.

7. Рельеф местности позволяет запроектировать продолжение МК Коктогам не прибегая к сложным инженерным сооружениям, (водобойный колодец) так как гидравлический уклон и критическая глубина в пределах допустимого. (Расчетная записка).

8. Письмо заказчика.

Фактическая пропускная способность левобережного регулятора Коктогам - $Q = 1,1 \text{ м}^3/\text{с}$. (заилен донными наносами, Г образные блоки усели). После реконструкции будет $Q = 2,2 \text{ м}^3/\text{с}$., соответствовать показателям технической характеристики (Технического паспорта).

Проектом предусмотрен замена всех существующих шлюз-затворов на новые. Для учета оросительной воды проектом предусмотрены гидрометрические посты (ГП) в количестве 8 шт. На гидроступе имеются по 1 шт. водомерных колодцев по отдельности для учета воды. На водомерном колодце будут установлены пропорционально интегрально дифференцированные (ПИД) датчики уровня воды, которые выдерживают морозы до 40° , - шт и водомерная рейка в каждом колодце водомерном. Для учета воды сечение канала примет вид – фиксированное русло (ФР). Уклон фиксированного русла - $i = 0,010$. Длина фиксированного русла согласно правил установки водомерных постов 6-10б, примем $L = 9$ метров.

Проектом вся протяженность магистральных каналов разбиты на нижеследующие реконструируемые участки:

1. Участок №1 (МК Жана-Тогама) с ПК0+00м до ПК4+31м длиной $L = 431\text{м} + 20\text{м} = 451\text{м}$. Вид работы- демонтаж и монтаж «Г» образных блоков, устройство шлюз-затвора для смыва донных наносов, устройство гидрометрических постов, демонтаж рыбозащитного сооружения.

2. Участок №2 (МК Жана-Тогама) с ПК15+03м до ПК19+48м., длиной $L=445+27=472$ м. Вид работы- демонтаж и монтаж «Г» образных блоков, устройство гидрометрических постов.

3. Участок №3 (МК Коктогама) с ПК0+00м до ПК15+59м., длиной $L=1559$ м. Вид работы- монтаж «Г» образных блоков, устройство гидрометрических постов.

4. Участок №4 (МК Коктогама) с ПК15+59м. до ПК 18+75м, длиной $L=316$ м. Вид работы- ремонт дна канала, демонтаж разрушенных частей ж/б дна канала.

5. Участок №5 (МК Коктогама) с ПК18+75м до ПК19+65м., длиной $L=90$ м. Вид работы- демонтаж и монтаж «Г» образных блоков.

6. Участок №6 (МК Коктогама) с ПК19+65м. до ПК 65+00м, длиной $L=4535$ м. Вид работы- ремонт дна канала, демонтаж разрушенных частей ж/б дна канала.

7. Участок №7 (МК Жана-Тогама) с ПК65+00м до ПК65+90м длиной $L=90+9+9=108$ м. Вид работы- монтаж «Г» образных блоков, устройство гидрометрических постов.

Для учета и контроля выделяемой оросительной воды на магистральных каналах «Жана-Тогама» и «Коктогама» предусмотрены устройство гидрометрических мостов (ГП) в количестве:

Магистральный канал «Жана-Тогама»

1. ГП-1, на ПК 0+19,5м., название точка водовыдела «Жана-Тогама», $Q=2,5 \text{ м}^3/\text{сек.}$, $F=760$ га;

2. ГП-2, на ПК 19+48м., название точка водовыдела «Иса», $Q=0,10 \text{ м}^3/\text{сек.}$, $F=50$ га;

3. ГП-3, на ПК 19+48м., название точка водовыдела «Жанна», $Q=0,15 \text{ м}^3/\text{сек.}$, $F=80$ га;

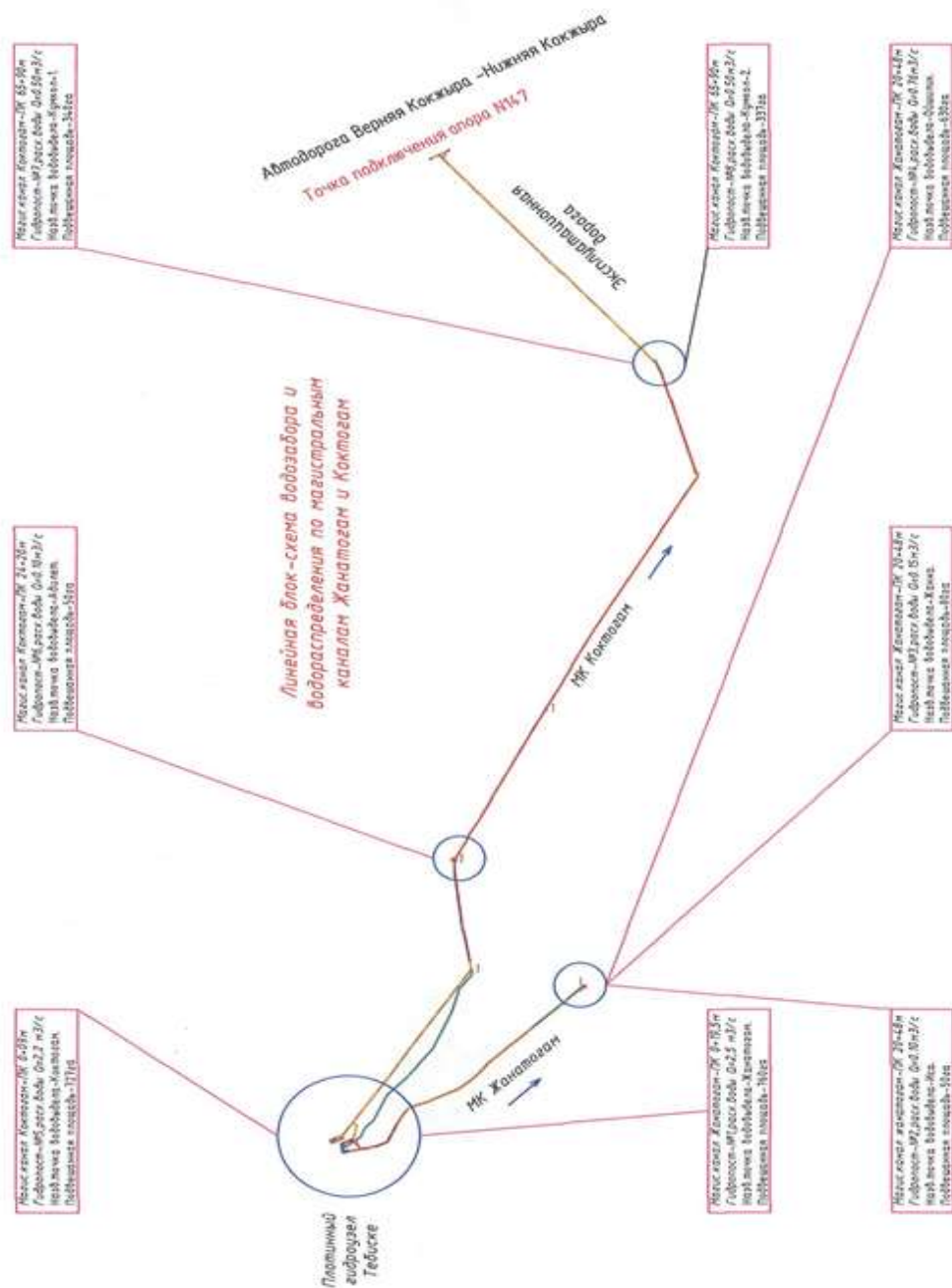


Рис.1 – Схема МК Коктогам и Жантогам

4.ГП-4, на ПК 19+48м., название точка водовыдела «Ойшилиик»,
га;

$Q=0,76\text{ м}^3/\text{сек.}$, $F=630$

Магистральный канал «Коктогам»

1.ГП-5, на ПК 0+09м., название точка водовыдела «Коктогам»,
га;

$Q=2,2\text{ м}^3/\text{сек.}$, $F=727$ га;

2.ГП-6, на ПК 24+20м., название точка водовыдела «Адилет»,
га;

$Q=0,10\text{ м}^3/\text{сек.}$, $F=50$ га;

3.ГП-7, на ПК 65+90м., название точка водовыдела «Кумкол-1»,
га;

$Q=0,50\text{ м}^3/\text{сек.}$, $F=340$ га;

4.ГП-8, на ПК 65+90м., название точка водовыдела «Кумкол-2»,
га;

$Q=0,50\text{ м}^3/\text{сек.}$, $F=337$

В местах устройства гидрометрических постов и установки шлюз-регуляторов производится устройство монолитного железобетона, предварительно армировав 16 мм арматурой, с ячейками 20х20см, (Согласно СНиП 2.06.08-87 «Бетон. и железобет. конструкции гидротехнических сооружений» страница 9 пункт 3.23. – открытые поверхности бетонных сооружений, находящиеся в зоне переменного уровня воды и подвергающиеся воздействию отрицательных температур, а также открытые поверхности сооружений допускается армировать сетками из арматуры класса АЗ.

Эксплуатационная дорога

Существующее состояние эксплуатационной дороги не удовлетворяет условиям эксплуатации, так как из-за дождевых и талых вод местами имеют место ямы и разрушено дорожное полотно.

Участок эксплуатационной дороги длиной вдоль магистрального канала «Жана-Тогам» $L = 2032\text{м.}$ и «Коктогам» $L = 8578\text{м.}$ с общей длиной $L = 10610,0\text{м.}$ подлежит реконструкции.

Согласно СНиП 2.05.07-91* настоящая эксплуатационная дорога относиться к IV категории. Расчетная скорость движения автотранспорта – 30/40 км/час. Для межплощадочных автомобильных дорог IV категории ширину обочин принимаем 0,75м.

Поперечные уклоны проезжей части и обочин принимаем односкатное – 30 0/00 промилле. Колесная формула расчетного автомобиля – 4х4 и 6х6. Ширину проезда примем согласно руководящих нормативных документов $b = 6,5\text{м.}$

Проектом предусмотрено служебный монолитный мост в местах пересечения канала с эксплуатационной дорогой в количестве – 4 шт.

После гидроузла ниже по течению воды, на пересечении реки Тебиске с эксплуатационной дорогой проектом предусмотрено автомобильный мост.

При строительстве моста руководствоваться с типовыми строительными конструкциями, изделиями и узлами «Серии 3.501.1-177.93» Трубы водопропускные железобетонные прямоугольные сборные для автомобильных и железных дорог. Выпуск 0-3. Трубы для автомобильных и железных дорог в особо суровых климатических условиях. Материалы для проектирования.

Проектом предусмотрено гравийно-песчанное покрытие эксплуатационной дороги. Слой планировочный толщиной покрытия 15 см.

Прогноз орошения сельхозкультур в ближайшее будущее

Плотинный гидроузел Тебиске должен осуществлять суточное регулирование стока, поскольку полезной емкости гидроузла недостаточно для накопления.

В расчете водопотребления на орошение заложены условия средnezасушливого года (75% обеспеченности) – коэффициент увлажнения $K_{увл} = 0,25-0,30$. («Рекомендации по определению оросительных норм сельскохозяйственных культур на орошаемых землях Казахстана» РГП «Казахский научно-исследовательский институт водного хозяйства» стр.8-13 2001 год.).

По данным инженерно-гидрологического отчета в период маловодье сток или расход воды имеет:

Q. м ³ /сек	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
месяцы	0,064	0,10	0,27	0,35	1,98	0,83	0,37	0,29	0,26	0,24	0,30	0,21

Это означает, что в период маловодье источник не может обеспечить оросительной водой весь подвешенный площадь.

Рекомендация относительно данного гидроузла, чтобы поднять процент водообеспеченности водопотребителей – это путем аккумуляции речного стока посредством строительства водохранилища, можно будет выйти из сложившейся ситуации.

ВЫВОД: Для того чтобы обеспечить оросительной водой сельскохозяйственных культур в вегетационный период в полном объеме (потребности воде), необходимо урегулировать сток воды, увеличив накопления речного стока с помощью строительства водохранилища.

Литература

1. СНиП РК 3.04-01-2008 «Гидротехнические сооружения».
2. Свод Правил Республики Казахстан 3.04-101-2013 «Гидротехнические сооружения».
3. СП РК 3.01-105-2013 «Благоустройство населённых пунктов».
4. Постановление Правительства Республики Казахстан от 09.11.2012г. №1176 «Об утверждении Программы «Ак-булак» на 2011-2020годы».
5. Гричаная Т.С. Основные направления по повышению эффективности использования водных ресурсов в Республике Казахстан [Текст] / Гричаная Т.С., Абдураманов Н.А., Джабаев К.Е., Кали А.С. // Инновационные и практические решения ускоренного восстановления продуктивности деградированных орошаемых земель: Международная научно-практическая конференция, 20 мая 2022г., г. Тараз, 2022. – С. 64-68.
6. СНиП РК 3.02-05-2010 «Автоматизированная система мониторинга зданий и сооружений».
7. СНиП РК 3.04-02-2008 Плотины из грунтовых материалов.

SELECTION OF TRANSPORTATION EQUIPMENT FOR ORE TRANSPORTATION IN THE DEVELOPMENT OF THE QADIR GOLD DEPOSIT

Aliyarova Kh.E

Azerbaijan State Oil and Industry University

Mamedova S.B

Azerbaijan State Oil and Industry University

Dzhafarova E.N

Azerbaijan State Oil and Industry University

Ahmadov R.Sh.

Azerbaijan State Oil and Industry University

Abstract

The article covers the technical, economic and environmental aspects of loading and hauling processes in the mining industry. The efficiency of these processes, which account for 40–60% of the total operating costs in underground mines, directly determines the competitiveness of the mine.

The article provides a comparative analysis of hydraulic and skid-steer excavators, wheeled and tracked loaders, dump trucks of various capacities and conveyor systems. Modern intelligent control systems, payload monitoring technologies, autonomous (driverless) equipment, GPS-based Fleet Management System (FMS) solutions and predictive maintenance approaches are reviewed in detail. The increasing role of electric and hybrid transport equipment in world mining, requirements for compliance with environmental standards and the concept of "green mining" are also important aspects of the article [1,6,7].

The current technological level of the Azerbaijani mining industry (Dashkasan, Gadabay, Chovdar, Qadir and Karabakh mines) is assessed in comparison with international standards; the influence of local climate, relief and infrastructure features on the choice of equipment is particularly emphasized. The article ultimately concludes that automation, digitalization and energy efficiency form the long-term development vector of the industry [1,3,14].

Keywords: mining industry, loading and unloading equipment, excavator, dump truck, autonomous equipment, intelligent management, Fleet Management System, electrical equipment, Azerbaijani mining.

Introduction

Gold mining is a process that is hundreds, even thousands of years old. Since ancient times, people have been extracting gold veins and using the precious metal for various purposes- from jewelry and household items to creating monetary reserves for states. From the objects found during archaeological excavations in our republic, we have learned that these lands have been mined since ancient times. Looking at the map of gold reserves of our country, it is easy to see that the main reserves of the yellow metal are concentrated mainly in the West of our Republic.

The mining industry in Azerbaijan has a fairly rich history. As early as the 1950s, the copper mining industry developed in the Gadabay-Dashkasan zone. In 1855, Kiryakov and Mekhov

launched a small factory in Gadabay and produced copper here. At that time, considerable progress was achieved in the mining sector with the arrival of the Siemens brothers in our country. At that time, the Siemens brothers' processing plant in Gadabay was built with the most modern technologies. As can be seen, looking at history, it is possible to observe that the mining sector was the base in our country.

Our republic has always been in the spotlight of the world with its wealth of natural resources and diversity of geological resources. Of course, while oil and gas reserves occupy the first place in this list, the mining industry also has great potential. Azerbaijan has large reserves of raw materials for the non-ferrous and ferrous metallurgy industries. Dashkesan has large deposits of alunite and iron ore, and Nakhchivan Autonomous Republic has deposits of tungsten-molybdenum ore, lead-zinc ore and gold. The presence of large reserves of gold and mercury in the territory of the Kalbajar-Lachin regions has been known since the Soviet era.

Today, projects related to the development of gold deposits play an important role in increasing the economic potential of our republic. Geologists of our country have discovered gold reserves in Tovuz, Gadabay, Dashkesan, Balakan districts and in the Nakhchivan Autonomous Republic. Currently, certain works are being carried out in our republic to develop the mining industry. The establishment of "AzerGold" CJSC in 2015 has led to the discovery and exploitation of a number of promising deposits in our country. One of these deposits is the Gadir gold deposit.

The article is devoted to the study of the selection and justification of transport equipment for transporting ore in the development of the Gadir gold deposit.

Brief mountain-geological characteristics of the deposit. The Gadir mineralization area is located 400 m northwest of the Gadabay gold-copper pyrite deposit. Previously, a small number of exploration wells were drilled in this area, and the geology of the area was studied superficially. The mineralization area resembles a horst, the northern and southern borders are limited by a latitudinal parallel fault zone. In the west, subvolcanic rhyolites of the Upper Bajos age, rhyolite-dacites, which cut the volcanogens of the Lower Bajos, develop. The rocks have changed in the contact zone. In 2013, several wells were drilled here by the AIMKL company in order to determine the mineralization of the north-western flank of the Gadabay deposit (Gadir area), the first well No. 86 intersected the volcanogens of the Lower Bajos in the intervals of 0-223 m and 254.2 m-666.0 m, and ore-bearing derivative quartzites in the interval of 223.0- 254.2 m. After positive results were obtained from this well, several more wells were drilled to determine the boundaries and shape of the mineralization area. A brief description of them from a lithological perspective is given in Figure 1 below.



Figure 1. Location diagram of the Gadir mineralization area relative to the Gadabay deposit (via Google Earth)

The Gadabay ore region (Figure 2) is part of the Tethys belt and is considered the largest porphyry region in the country (Figure 2). It is located in the central part of the Lok-Karabakh archipelago.

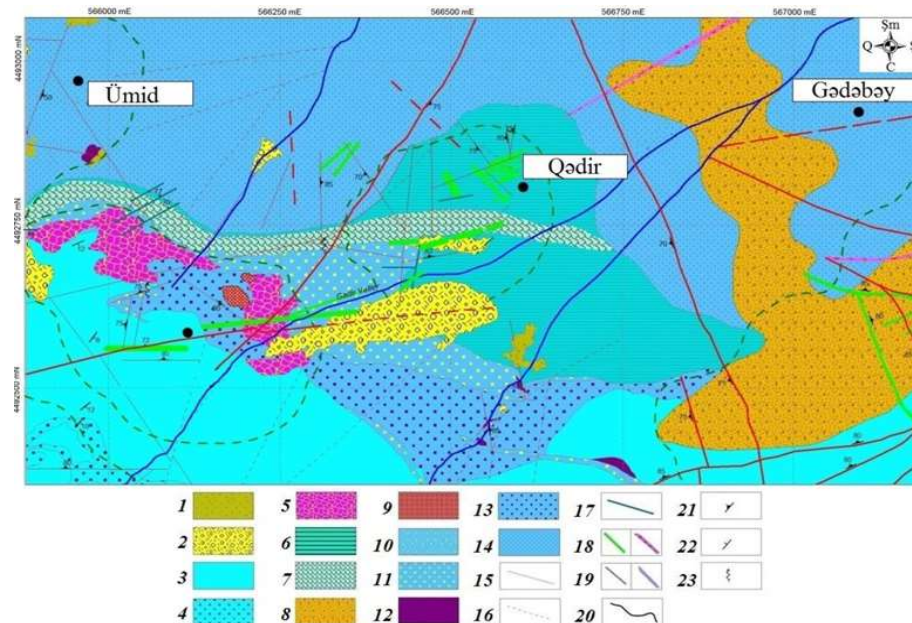


Fig. 2.1.1. Geological-structural map of the Gadir field

- 1) Quaternary sediments; 2) alluvial-delluvial sediments; 3) alternation of andesidite and andesite-porphyry lava flows; 4) lava facies of andesite porphyries; 5) presumed hydrothermal eruption breccia field; 6) alternation of siliceous and low-siliceous tuff layers; 7) siliceous layers; 8) metasomatites (sericite-quartz facies); 9) presumed rhyolite subvolcanic facies; 10) quartz andesite porphyries; 11) siliceous andesite porphyries; 12) hornfelsified andesites; 13) effusive andesite porphyries; 14) andesites; 15) faults; 16) presumed faults; 17) dykes; 18) diorite-granodiorite dikes; 19) andesite-type dikes; 20) rivers and streams; 21) structural elements of faults and dikes; 22) structural elements of layers; 23) springs

Purpose Of The Work

One of the main technological processes during the development of mineral deposits is the selection of transport equipment, loading and unloading operations. Because, the loading and unloading of minerals and waste is one of the most labor-intensive and time-consuming processes [4-6]. Effective organization of loading and unloading operations in mining enterprises is important to ensure the efficiency and safety of operations [7-9].

The costs of these works and related auxiliary works constitute 30-40% of the total costs of mining operations, and in some cases 50-60%. The efficiency of transportation works depends on the optimization of the applied technological processes, and its intensity is characterized by the load turnover of the quarry [10-12]. Errors in the design and determination of parameters during mining operations lead to large economic losses [13-15].

The Gadir gold deposit is currently being developed underground. The efficiency of the deposit's development largely depends on the efficient operation of transport and is characterized by the quarry's cargo turnover. The scale of mining operations is determined by the volume of cargo turnover.

Taking into account the geological and mining-technical conditions of the Gadir gold deposit, a transport-based development system is applied in its development. In accordance with the requirements of the development system, the opening rocks and waste mass extracted during the exploitation of the deposit are loaded onto trucks and placed in a natural valley with an area of 9.39 hectares, 80 m west of the central quarry of the deposit (2 km along the vehicle trajectory).

According to the technological scheme, the crushed rock mass is extracted and loaded at the next stage and transported to the appropriate positions. Here, the rock mass is extracted and loaded with reverse mechanical belt and hydraulic excavators.

The ore mass obtained from the Gadir deposit is transported and processed by self-loading trucks to the Chovdar Integrated Regional Processing Area (CHIRES), located 51 km from the quarry site. Here, the ore undergoes various technological processes.

During the underground exploitation of mineral deposits, certain overburden works are carried out to reach the ore body. The overburden, that is, the loose rocks extracted during this overburden work, are placed in special dumps. The equipment and vehicles that transport this loose mass to the dump are called dump facilities. The process of storing waste rocks through complex mechanization is called waste utilization. At the Gadir gold deposit, rocks are currently stored in an external dump. For the complex mechanization of the loose rock mass at the Gadir deposit, an excavator-transport-dump complex (CAT excavator, HOWO as a vehicle) and CAT bulldozers are used to cut the rocks transported to the dump there.

The rocks sent to the landfill are separated according to their composition (sand layer, clayey rocks, and ores that do not meet the condition) so that these rocks can be used efficiently in future years. The upper fertile layer of the soil (topsoil) is usually used in the biological reclamation process, while the subsoil layer is often used in technical reclamation in filling works.

The loading and transportation equipment used in the Azerbaijani mining industry is mainly concentrated in open pit mines. The Dashkesan iron ore deposits, the Gadabay and Chovdar gold mines, as well as the newly commissioned mines in the Gadir gold deposit and Karabakh are considered to be key examples in this regard. Hydraulic excavators, medium and large-capacity dump trucks, wheel loaders and auxiliary equipment are widely used in these mines. Although the level of technology is not exactly the same as the most advanced mines in the world, it is at a level that will ensure the main production processes.

In the conditions of Azerbaijan, the road profile, climate, relief and location of reserves have a significant impact on the choice of equipment. The slope angles of mining roads in mountainous areas, the temperature regime in winter and seasonal weather conditions determine the operational characteristics of the equipment. Therefore, international experience is not directly transferred but is adapted to local conditions. In the future, in parallel with the development of the country's mining industry, a wider application of intelligent management systems, GPS monitoring and energy-efficient equipment is expected. In this direction, international partnership and technology transfer can be considered the main driving force for the modernization of Azerbaijani mining.

Environmental Impact And Compliance With Ecological Standards. Mining has historically been known as an area with a high impact on the environment. However, in modern times, environmental standards have become one of the main planning criteria for mining projects. Loading and transportation equipment forms a large part of this impact, since dozens of heavy machines operating continuously in the mine simultaneously emit emissions into the atmosphere, transmit vibrations to the soil and spread noise to the surrounding areas. Emissions, noise and vibration of diesel engines are the main factors that negatively affect the environment. Therefore, engines that meet Euro Stage and Tier standards are used in equipment that meets international standards.

These standards keep engine emissions of nitrogen oxides, particulate matter and carbon monoxide within strict limits. In addition, electric and hybrid technology, water spraying systems for dust suppression and soundproof cabins are also included in the list of environmental measures. The concept of "green mining" has been formed in foreign mining experience, and this approach has become not only an environmental responsibility, but also an important indicator of investment attractiveness. Thus, compliance with environmental standards has ceased to be a regulatory obligation for modern mining companies and has become an integral part of their strategic competitive advantage.

Global Brands And Technological Innovations. The development of loading and transportation equipment in the global mining industry is mainly driven by a few large brands. Caterpillar, Komatsu, Sandvik, Epiroc and BelAZ are considered leading companies in this field. Each brand is distinguished by its own technological advantages, target markets and development priorities.

Caterpillar remains one of the most recognizable brands in the global mining equipment market. The company's main advantage is its intensive investments in automation, digital control and fuel efficiency. Caterpillar's modern dump trucks are equipped with payload monitoring, automatic speed control and predictive maintenance systems. The company is also one of the leaders in the development of autonomous dump truck technology. Komatsu is known as the company that has implemented the largest-scale applications in the world in the field of autonomous equipment. The autonomous dump truck project implemented jointly with Rio Tinto in Australia is considered a turning point in the industry in this field. Komatsu's "Smart construction" platform allows you to manage all equipment in the mining sector within a single digital ecosystem.

Sandvik and Epiroc are the leaders in underground mining equipment. Their electric and battery-powered underground machines are increasingly being used in mines around the world. Electric LHD machines and underground dump trucks significantly reduce ventilation costs, improve the quality of the working environment and minimize carbon emissions. BelAZ is especially widespread in the post-Soviet space and developing countries. The company's main competitive advantage is its extremely high carrying capacity and relatively low operating costs. BelAZ's 450-ton dump truck is among the largest in the world.

RESULT

The wide range of equipment, from excavators to dump trucks, from conveyor systems to autonomous machines, shows that there is no universal solution in modern mining. The geographical structure, production volume, financial capabilities and environmental conditions of each mine differentiate the choice of equipment. Therefore, the adoption of international experience should not be understood as a mechanical transfer, but as a conscious adaptation process tailored to local conditions.

Intelligent control systems, payload monitoring, GPS-based Fleet Management Systems and predictive maintenance technologies are now standard in advanced mines. These technologies increase productivity, reduce maintenance costs and minimize risks caused by the human factor. Autonomous machinery and electric transport vehicles stand out as the strongest trends defining the future model of mining.

Ultimately, investing in loading and hauling equipment is not just about purchasing equipment, but a strategic investment in the long-term competitiveness, safety and environmental responsibility of mine. As the global mining industry evolves towards a more digital, automated and environmentally friendly direction, Azerbaijan's timely and prepared participation in this transformation is crucial for the future of the industry.

LITERATURE

1. Efendiyeva Z.C. "Fundamentals of mining", Textbook. 2023.250 p.
2. Aliyev F.I., Agakishiyev A.M., Murtuzayev N.S. Report on "The results of the search for gold and gold-bearing complex ore deposits in the Tulallar field in 2004-2006". Baku, 2007
3. Guliyev E.E., Isayev E.N. "Tulallar Gold Project Exploration Report for the period October 2018 until 12 June 2020". AZERGOLD CJSCo, COPA, 2020.
4. Burmistrov K.V., Zalyadnov V.Yu. Open-pit mining processes. Study guide. Publishing house of Magnitogorsk State Technical University, Magnitogorsk. 2014. 222 p.
5. Ermolaev V.A. Open-pit mining technology. Study guide. KuzSTU, Kemerovo. 2012. 70 p.
6. National Research Council. Evolutionary and Revolutionary Technologies for Mining. Washington, DC: The National Academies Press. 2002. 102 p
7. Repin N.Ya., Repin L.N. Open-pit mining processes. Part 3. Movement and storage of rocks. Textbook. Mining book. Moscow. 2013. 221 p.
8. Kuleshov N. A. Open-pit mining technology. Textbook Nedra, M. 2012. 400 p.
9. Robert Stevens Mineral Exploration and Mining Essentials. Institute of Technology of British Columbia. 2011. p.322.
10. Sheshko E.E. Mining and transport machines and equipment for open-pit mining. Moscow State Mining University. 2003. 264 p.
11. Joel L., Johansson B., Andersson E., Johansson J. Mechanization, Automation, and NewTechnology in Mining. 2018. p.67-84
12. Rakishev B.R. Technological complexes of open-pit mining. Textbook. Almaty. 2015. 313 p.
13. Rzhovsky, V. V. Open-pit mining: technology and complex mechanization. Textbook. Publishing house Lenand, 2019. 549 p.
14. Howard L. Hartman, Jan M. Mutmanský Introductory Mining Engineering Technology & Engineering. 2002. 592 p.
15. Vokin V.N., Sinichkovskaya E.V., Sinichkovsky V.N. Open-pit mining technology. Study guide. Published by SFU, Krasnoyarsk. 2007. 527 p.
16. Caterpillar Inc. — Performance Handbook. Caterpillar Global Mining.
17. H. L. Hartman, J. M. Mutmanský — Introductory Mining Engineering. John Wiley & Sons, 2002.
18. W. Hustrulid, M. Kuchta, R. Martin — Open Pit Mine Planning and Design. CRC Press, 2013.
19. Komatsu Mining Corp. — Surface Mining Equipment Technical Specifications.
20. Society for Mining, Metallurgy & Exploration — SME Mining Engineering Handbook. SME Publications, 2011.

Решение проблемы динамического обнуления свойства ChildObject в виртуальном моделировании роботизированных паллетизационных ячеек на платформе ABB RobotStudio

Амиров Али Ермуратулы

студент 2 курса магистратуры Атырауского университета нефти и газа им. С. Утебаева, г. Атырау, Казахстан

Аннотация

В работе описана разработка виртуальной модели роботизированной паллетизационной ячейки в среде ABB RobotStudio с использованием робота IRB 660 и контроллера IRC5. Выявлена и решена принципиальная архитектурная проблема — динамическое обнуление свойства ChildObject при работе SmartComponent с потоком динамически создаваемых объектов. Предложен универсальный шаблон Source.Copy → LastBox → ChildObject, обеспечивающий стабильную ссылку на объект на протяжении всего цикла его перемещения. Решение валидировано на полном цикле паллетизации 24 коробок: время цикла 153 ± 3 с, точность позиционирования 0,07 мм, 10 последовательных циклов без сбоев. Сформулированы практические рекомендации для разработчиков виртуальных моделей.

Ключевые слова: ABB RobotStudio, SmartComponents, виртуальная пуско-наладка, паллетизация, IRB 660, цифровой двойник, ChildObject, LastBox.

1. Введение

Виртуальная пуско-наладка (Virtual Commissioning, VC) стала стандартной методологией проектирования роботизированных производственных ячеек. Подход переносит отладку программ управления на программную модель, что сокращает время реальной пуско-наладки на 40–60% и снижает риски повреждения оборудования при ошибках в логике [1, 2]. Среди коммерческих платформ для виртуальной пуско-наладки наиболее распространена ABB RobotStudio благодаря бинарной совместимости виртуального контроллера с реальным IRC5 и встроенному фреймворку SmartComponents для моделирования динамики периферийных подсистем [3].

Базовые компоненты SmartComponents (Attacher, Detacher, Source, LinearMover, PlaneSensor, LogicSRLatch) достаточны для большинства задач, однако при моделировании потока динамически создаваемых объектов — типичная ситуация для упаковочных и паллетизационных линий — стандартная архитектура даёт сбой. Свойство ChildObject компонентов Attacher/Detacher, привязанное к выходу датчика PlaneSensor.SensedPart через Property Binding, обнуляется при выходе объекта из зоны действия датчика. Команда Detacher.Execute не находит объекта для отсоединения, и цикл прерывается.

Эта проблема не описана явно в официальных учебных материалах ABB и решается каждым разработчиком методом проб и ошибок. В настоящей работе:

1. Формально описана проблема динамического обнуления ChildObject.
2. Предложено универсальное решение через введение свойства LastBox с привязкой к стабильному выходу Source.Cory.
3. Решение валидировано на полной модели паллетизации 24 коробок на стандартный поддон EUR-1.
4. Сформулированы практические рекомендации для разработчиков.

2. Разработанная виртуальная модель

2.1. Состав ячейки

Виртуальная модель построена в среде ABB RobotStudio с использованием следующих компонентов:

— робот ABB IRB 660 (4-осный паллетизатор, грузоподъёмность 180 кг, радиус действия 3,15 м); — виртуальный контроллер IRC5 на базе RobotWare 6.15 с опциями 888-2 PROFINET, 687-1 Advanced Robot Motion, 608-1 World Zones, 616-1 PC Interface, 617-1 FlexPendant Interface, 623-1 Multitasking; — два подающих конвейера, расположенных под прямым углом друг к другу, ориентированы вдоль осей Y и X базовой системы координат; — главный конвейер длиной 4 м, на котором собирается штабель и который отводит готовую паллету; — стек пустых паллет в углу ячейки; — вакуумный захват FlexGripper 2.0 для коробок и механический захват PalletPicker для паллет.

Параметры технологической задачи: коробки 400 × 300 × 300 мм массой ~30 кг; паллета EUR-1 (1200 × 800 × 144 мм); схема укладки — колоночная, 24 коробки в 3 слоя по 8 (4 ряда × 2 столбца). Высота штабеля 900 мм. Чередование конвейеров — нечётные коробки с конвейера №1, чётные с конвейера №2.

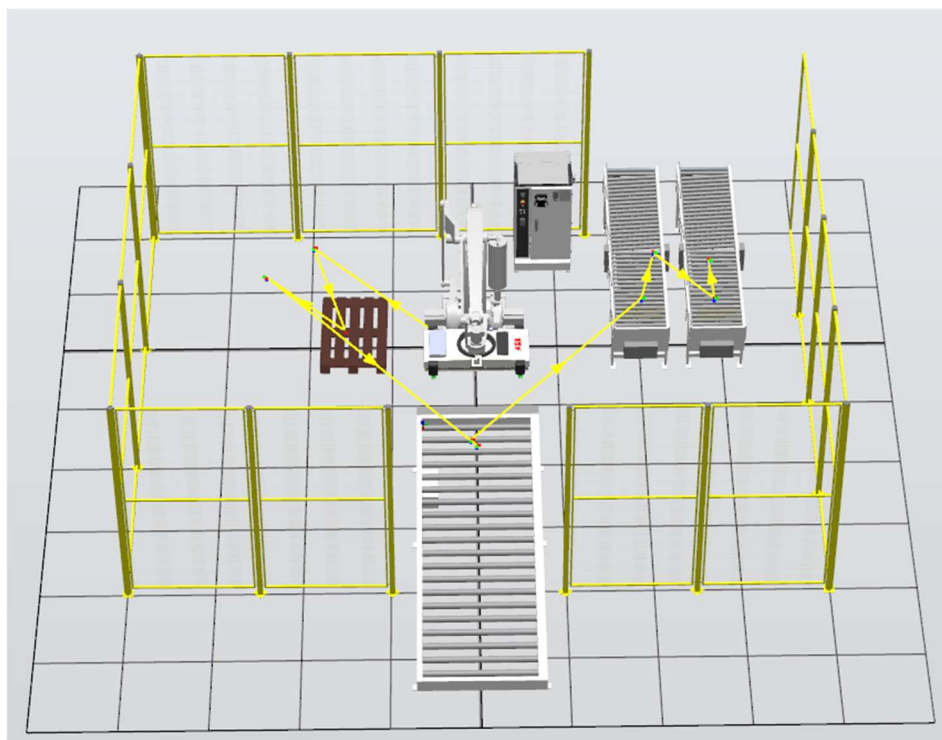


Рисунок 1. Модель сделанная в RobotStudio

2.2. Архитектура SmartComponents

В составе модели разработаны шесть пользовательских SmartComponents:

— **MyGripper** — захват для паллет, статический ChildObject; — **MyGripper_Box1**, **MyGripper_Box2** — захваты коробок с двух конвейеров; — **ConveyorSystem_1**, **ConveyorSystem_2** — подающие конвейеры с генерацией коробок; — **MainConveyor** — главный конвейер для отвода паллеты.

Каждый из захватов содержит компоненты Attacher, Detacher (с KeepPosition = TRUE) и логический шлюз LogicGate. Каждый из подающих конвейеров содержит Source (генерация коробок), LinearMover (движение со скоростью 200 мм/с), PlaneSensor (детектирование коробки в точке захвата, размещён на 5 мм выше ленты), LogicSRLatch (удержание состояния «коробка готова»).

2.3. Архитектура сигналов

Координация виртуального контроллера и SmartComponents организована через стандартный механизм Station Logic и включает 13 I/O Connections и 3 Property Bindings. Контроллер использует 12 сигналов (10 цифровых выходов с префиксом do_ и 2 цифровых входа с префиксом di_).

2.4. Управляющая программа на RAPID

Программа объёмом около 200 строк построена по модульному принципу с разделением на пять процедур: InitializeSystem (сброс сигналов), PickAndPlacePallet (захват пустой паллеты), StartConveyors (запуск подающих линий), PickBoxFromConv1/PickBoxFromConv2 (захват коробки с конвейера), PlaceBoxOnPallet (укладка с параметрическим расчётом координат). Все основные параметры цикла вынесены в виде констант (ROWS, COLS, LAYERS, BOX_LENGTH, BOX_WIDTH, BOX_HEIGHT, STEP_X, STEP_Y), что позволяет адаптировать программу под другие задачи паллетизации без переписывания основной логики. Основной цикл паллетизации построен через тройное вложение FOR layer ... FOR row ... FOR col с автоматическим чередованием конвейеров через nBoxCount MOD 2.

3. Проблема динамического обнуления ChildObject

3.1. Постановка проблемы

В модели с одной паллетой (статической) и одним типом захвата проблем не возникает: ссылка MyGripper.ChildObject устанавливается один раз и сохраняется на протяжении всей работы. Принципиально иная ситуация возникает с захватом коробок, поскольку коробки приходят непрерывным потоком — каждая создаётся источником Source в начале конвейера, проезжает по ленте, захватывается роботом, переносится на паллет, где остаётся навсегда. Объект, на который ссылается ChildObject, постоянно меняется.

Интуитивная архитектура работает следующим образом. PlaneSensor в составе ConveyorSystem_X детектирует прибытие коробки в точку захвата и заполняет своё свойство SensedPart ссылкой на обнаруженный объект. Через Property Binding это значение транслируется на свойство ChildObject захватного SmartComponent. Когда программа RAPID отдаёт команду do_AttachBox, Attacher использует ссылку из ChildObject и прикрепляет коробку к захвату.

На бумаге схема выглядит работоспособной. На практике она ломается на первой же коробке. После того как захват поднимает коробку с конвейера и она покидает зону действия PlaneSensor, свойство SensedPart сбрасывается в null. Через синхронную семантику Property Binding это null-значение мгновенно распространяется на ChildObject. Когда робот доставляет коробку к точке укладки и отдаёт команду do_DetachBox, компонент Detacher не находит ссылки на объект — ChildObject пуст. Команда отсоединения либо не выполняется,

либо приводит к некорректному поведению (коробка остаётся прикреплённой к захвату на всех последующих циклах). Цикл паллетизации фактически невозможен.

3.2. Анализ возможных решений

Рассмотрены несколько стандартных подходов к обходу проблемы.

Промежуточный буфер. Введение SmartComponent с собственной reference-переменной для буферизации значения. Не работает, поскольку Property Bindings распространяют значения синхронно — при обнулении источника обнуляется и буфер.

Логический шлюз с защёлкой. Компоненты LogicGate и LogicSRLatch поддерживают удержание значения, но работают только с цифровыми сигналами, не со ссылками на объекты.

Конфигурация PlaneSensor. Изучение параметров стандартного PlaneSensor показало отсутствие настройки для удержания SensedPart после выхода объекта из зоны.

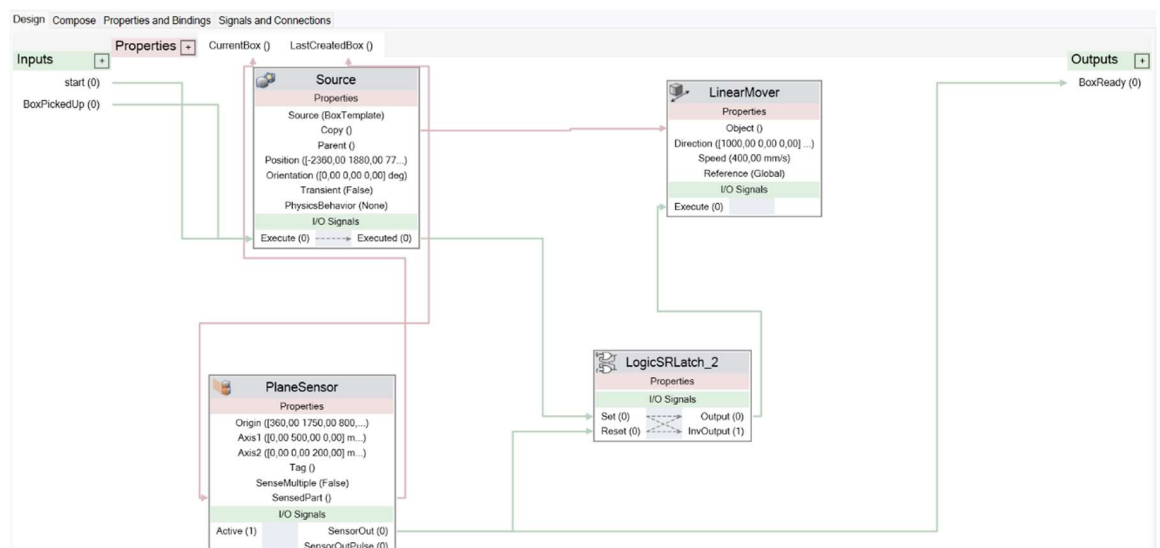
Программное обновление из RAPID. Технически реализуемо, но требует переноса логики отслеживания объектов на уровень контроллера, что увеличивает сложность программы примерно на 30% и нарушает принцип разделения уровней «контроллер — SmartComponents».

Ни один из перечисленных подходов не даёт удовлетворительного решения. Это привело к необходимости поиска другого источника ссылки — такого, который не зависит от текущего положения объекта в сцене.

3.3. Найденное решение через свойство LastBox

Внимательный анализ документации RobotStudio [3] показал, что компонент Source имеет выходное свойство Copy, которое автоматически заполняется ссылкой на последнюю созданную копию шаблонного объекта. Принципиальное свойство Source.Copy — оно **не сбрасывается** при движении объекта в сцене и сохраняется до момента генерации следующей копии. Иными словами, Source.Copy представляет собой **стабильный** источник ссылки на актуальный объект, в отличие от волатильного PlaneSensor.SensedPart.

На основе этого наблюдения предложена следующая архитектура. В составе SmartComponent ConveyorSystem_X создаётся новое свойство LastBox типа Reference, экспонируемое наружу как Expose Child Property. Внутри ConveyorSystem_X устанавливается Property Binding Source.Copy → LastBox. На уровне Station Logic создаётся Property Binding ConveyorSystem_X.LastBox → MyGripper_BoxX.ChildObject. Архитектура решения проиллюстрирована на рис. 1.



Name	Type	Value	Attributes
CurrentBox	Part		
LastCreatedBox	GraphicComponent		

Source Object	Source Property	Target Object	Target Property or Signal
Source	Copy	LinearMover	Object
Source	Copy	PlaneSensor	SensedPart
PlaneSensor	SensedPart	ConveyorSystem_1	CurrentBox
Source	Copy	ConveyorSystem_1	LastCreatedBox

Рисунок 2. Архитектура решения через LastBox: вместо нестабильного PlaneSensor.SensedPart источником ссылки выступает стабильный Source.Copy.

Полный цикл работы при этом выглядит следующим образом. При срабатывании сигнала do_StartConveyor1 запускается Source.Execute, который создаёт первую коробку и заполняет Source.Copy. Через Property Binding значение распространяется на LastBox, оттуда — на ChildObject захвата. Коробка движется по конвейеру под действием LinearMover, доезжает до зоны датчика, PlaneSensor срабатывает и активирует выходной сигнал готовности — но **только** для информирования контроллера; роль источника ссылки за этим сенсором уже не закреплена. Программа RAPID после ожидания сигнала готовности отдаёт команду do_AttachBox, Attacher обращается к ChildObject (где лежит правильная ссылка) и прикрепляет коробку. Робот переносит коробку на паллет, отдаёт do_DetachBox, Detacher корректно отсоединяет именно ту коробку, с которой работал. После успешной укладки программа отдаёт do_BoxPickedUp_1, который сбрасывает состояние LogicSRLatch и активирует Source.Execute для генерации новой коробки. Source создаёт новую копию, обновляет Source.Copy, через Property Binding обновляется LastBox, оттуда — ChildObject. Цикл замкнут.

Принципиальное преимущество предложенной архитектуры: цепочка задействует только свойства, которые обновляются по явным событиям (команда Source.Execute), а не на основе волатильного состояния датчика. Поэтому ссылка остаётся стабильной на протяжении всего цикла «захват — перенос — укладка — регенерация».

3.4. Дополнительные требования к конфигурации

Для корректной работы решения необходимо соблюсти ряд дополнительных условий конфигурации, выявленных в ходе экспериментов:

- параметр KeepPosition у Detacher должен быть явно установлен в TRUE, иначе отсоединённая коробка «телепортируется» обратно на исходную позицию;
- Property Binding ChildObject должен быть подключён к **обоим** входам Attacher.Child и Detacher.Child; пропуск второй привязки — частая ошибка, ведущая к сбою отсоединения даже при корректном захвате;
- PlaneSensor располагается на 5 мм выше плоскости конвейерной ленты, иначе датчик ложно срабатывает на ленту;
- начальная позиция Source должна быть удалена от зоны датчика не менее чем на 1,5 м, чтобы коробка имела время естественного движения и контроллер успевал сбросить сигналы предыдущего цикла;
- в программе RAPID применяется защитный паттерн WaitDI di_BoxReady, 0; WaitDI di_BoxReady, 1 вместо одиночного ожидания, чтобы исключить срабатывание на остаточном сигнале от предыдущего цикла;
- для каждого подающего конвейера создаётся **отдельный**

SmartComponent захвата с собственным ChildObject — попытки использовать один общий захват с переключением источника привели к гонкам сигналов.

Совокупность этих условий вместе с шаблоном Source.Copy → LastBox → ChildObject составляет полный рецепт работоспособного решения.

4. Экспериментальная валидация

Проведено тестирование разработанной модели по программе из шести сценариев возрастающей сложности: проверка достижимости ключевых точек, изолированное тестирование захвата паллеты, изолированное тестирование конвейерной подсистемы, цикл захвата с одного конвейера, один полный цикл укладки 24 коробок, многократный запуск без перезапуска контроллера. Все сценарии успешно пройдены после устранения выявленных проблем синхронизации и геометрической расстановки. Сводные количественные характеристики приведены в табл. 1.

Таблица 1. Количественные характеристики работы модели.

Параметр	Значение
Полное время цикла паллетизации	153 ± 3 с
Среднее время укладки одной коробки	5,4 с
Расчётная пропускная способность	24 паллеты/час, 576 коробок/час
Максимальное расхождение фактических и расчётных координат	0,07 мм
Среднее расхождение координат	0,03 мм
Число последовательных циклов без сбоев	10 (предел не достигнут)
Полнота укладки	240/240 коробок (100%)
Корректность чередования конвейеров	240/240 коробок (100%)

Полученная производительность ~11 коробок в минуту находится в верхней части типового диапазона реальных 4-осных паллетизаторов класса IRB 660 (8–14 циклов в минуту), что объясняется идеализированной физикой виртуальной среды. При переносе на реальное оборудование производительность ожидаемо снизится до 8–9 коробок в минуту за счёт реальных задержек срабатывания вакуума, инерции механики и дополнительных операций. Точность позиционирования 0,07 мм соответствует паспортной точности реального робота IRB 660 (±0,05 мм), что подтверждает корректность реализации параметрического расчёта в процедуре PlaceBoxOnPallet. Десять последовательных циклов (240 укладок) выполнены без сбоев, что подтверждает архитектурную устойчивость решения.

Декомпозиция времени укладки одной коробки (5,4 с): ожидание готовности и стабилизация коробки — 3,2 с (наибольшая составляющая); движение робота к точке захвата — 0,8 с; опускание-захват-подъём — 0,7 с; перенос к точке укладки — 0,4 с; опускание-отсоединение-подъём — 0,3 с. Видно, что основное время цикла занимают не движения робота, а ожидания и активации захвата. Это означает, что потенциал оптимизации лежит в области сокращения пауз стабилизации, а не в области увеличения скорости движения робота.

5. Универсальность решения и практические рекомендации

Описанная проблема не является специфичной для конкретной задачи паллетизации — она возникает в любом проекте, где SmartComponent с Attacher/Detacher должен работать с потоком динамически создаваемых объектов. Это значит, что аналогичная проблема

возникнет в задачах моделирования упаковочных линий, сборочных производств, мест склеивания/сваривания/маркировки изделий — везде, где объекты приходят на робот потоком. Найденное решение `Source.Copy` → `LastBox` → `ChildObject` представляет собой универсальный архитектурный шаблон, применимый к любым подобным задачам. Принципиальное условие применимости — чтобы источником объектов выступал стандартный компонент `Source` (с его выходным свойством `Copy`), что является типовым случаем в `RobotStudio`.

На основе систематизации опыта разработки сформулированы восемь практических рекомендаций для инженеров, работающих с `SmartComponents`:

1. Использовать `Source.Copy` через промежуточное `Expose Child Property` как источник ссылки на динамические объекты, не использовать `PlaneSensor.SensedPart`.
2. В `Detacher` всегда явно устанавливать `KeepPosition = TRUE`.
3. Для каждой подающей подсистемы создавать отдельный `SmartComponent` захвата с собственным `ChildObject`.
4. Разделять во времени операции отсоединения и регенерации новых объектов через промежуточное движение или явную паузу.
5. Использовать защитную проверку «`WaitDI ..., 0` → `WaitDI ..., 1`» вместо одиночного ожидания.
6. `PlaneSensor` располагать на 5 мм выше поверхности ленты конвейера.
7. `Source` располагать в начале ленты, не ближе 1–1,5 м от зоны датчика готовности.
8. Использовать встроенные средства `Reachability Test` и `Collision Detection` на этапе тестирования.

По известным авторам публикациям и материалам сообщества `RobotStudio` систематизированный список таких рекомендаций в открытых источниках отсутствует. В обучающих материалах АВВ обычно рассматриваются упрощённые случаи со статическим `ChildObject`, не выявляющие описанную проблему. Соответственно, систематизация и описание данного шаблона представляет собой прикладной научный результат, который может быть предложен сообществу разработчиков виртуальных моделей роботизированных систем.

6. Заключение

В работе представлена виртуальная модель роботизированной паллетизационной ячейки на платформе `ABB RobotStudio` с использованием робота `IRB 660` и контроллера `IRC5`. Выявлена принципиальная архитектурная проблема — динамическое обнуление свойства `ChildObject` при работе `SmartComponent` с потоком динамически создаваемых объектов. Предложено решение через введение свойства `LastBox` с привязкой к `Source.Copy`, обеспечивающее стабильную ссылку на объект на протяжении всего цикла. Решение валидировано на полном цикле паллетизации 24 коробок: время цикла 153 ± 3 с, точность 0,07 мм, 10 последовательных циклов без сбоев. Шаблон `Source.Copy` → `LastBox` → `ChildObject` универсален и применим к широкому классу задач моделирования упаковочных и сборочных производств. Сформулированы восемь практических рекомендаций для разработчиков виртуальных моделей в среде `ABB RobotStudio`.

Перспективные направления развития включают преобразование модели в полноценный цифровой двойник через двунаправленную связь с реальным оборудованием, интеграцию системы технического зрения для сценариев `mixed-case palletizing`, расширение на многороботную конфигурацию через опцию `MultiMove`, применение методов искусственного интеллекта для оптимизации траекторий и адаптивных алгоритмов укладки.

Список литературы

1. Müller C. World Robotics 2025: Industrial Robots. Frankfurt am Main: IFR Statistical Department, 2025. ISBN 978-3-8163-0771-6.
2. Aivaliotis P., Lotsaris K., Michalos G., Makris S. Applicability of Virtual Commissioning Concepts in Industrial Robotics // Applied Sciences. 2025. Vol. 15, Iss. 4. Article 2033. DOI: 10.3390/app15042033.
3. Operating manual — RobotStudio. ABB Robotics, 2026. Document ID: 3HAC032104-001 Revision: BA.
4. Raffaeli R., Mengoni M., Germani M. Engineering Method and Tool for the Complete Virtual Commissioning of Robotic Cells // Applied Sciences. 2022. Vol. 12. Article 3164. DOI: 10.3390/app12063164.
5. Wang G., Zhang C., Liu S., Zhao Y., Zhang Y. Robot digital twin systems in manufacturing // Robotics and Computer-Integrated Manufacturing. 2025. Vol. 95. Article 103004.
6. Operating manual — IRC5 with FlexPendant. ABB Robotics, 2018. Document ID: 3HAC050941-001 Revision: G.
7. Product specification — IRB 660. ABB Robotics, 2023. Document ID: 3HAC081955-PS.
8. Mahajan R.V., Bagde S.T. Palletizing Systems for Integrated Manufacturing Plants // International Journal of Engineering Research & Technology. 2013. Vol. 2, Iss. 2. ISSN 2278-0181.

OBJEKT-MƏRKƏZLİ HADİSƏ JURNALLARI VƏ OCEL STANDARTININ PROCESS MINING ÜZRƏ TƏHLİL İMKANLARI

Zəhra Əsgərova Faiq qızı

Magistrant, Azərbaycan Dövlət İqtisad Universiteti (UNEC)

Annotasiya. Məqalədə obyekt-mərkəzli hadisə jurnallarının process mining sahəsində yaratdığı imkanlar təhlil olunur. Ənənəvi hadisə jurnalları çox vaxt hər hadisəni yalnız bir case anlayışı ilə əlaqələndirdiyi üçün real biznes proseslərində, xüsusilə sifariş, məhsul, qaimə, ödəniş və müştəri kimi bir neçə obyektin eyni prosesdə iştirak etdiyi hallarda məlumatın tam mənzərəsini göstərməkdə məhdud qalır. Bu məhdudiyyətlər konvergensiya və divergensiya problemlərinə səbəb olur. OCEL standartı isə hadisələrin birdən çox obyektə əlaqələndirilməsinə imkan verdiyi üçün mürəkkəb proseslərin daha düzgün modelləşdirilməsinə şərait yaradır. Məqalədə OCEL-in konseptual quruluşu, hadisə və obyekt səviyyəsində məlumatların ayrılması, JSON/XML əsaslı saxlanma formaları, alət dəstəyi və maliyyə prosesləri üçün tətbiq imkanları sistemləşdirilmişdir.

Açar sözlər: process mining, event log, OCEL, obyekt-mərkəzli analiz, XES, ERP, maliyyə prosesləri.

Abstract. This article analyzes the role of object-centric event logs in process mining. Traditional event logs usually associate each event with a single case notion, which becomes restrictive in real business processes where several objects such as orders, items, invoices, payments and customers participate in the same process. Such restrictions may lead to convergence and divergence problems. The OCEL standard makes it possible to connect events with multiple objects and therefore provides a more suitable basis for modeling complex processes. The article summarizes the conceptual structure of OCEL, the separation of event-level and object-level data, JSON/XML serialization, tool support and possible applications in financial processes.

Keywords: process mining, event log, OCEL, object-centric analysis, XES, ERP, financial processes.

GİRİŞ

Müasir informasiya sistemləri gündəlik əməliyyatları yalnız yekun nəticə kimi deyil, həm də ardıcıl hadisələr şəklində qeydə alır. Bu hadisələr proses miningi üçün əsas məlumat mənbəyidir. Process mining yanaşmasının məqsədi informasiya sistemlərində yaranan hadisə məlumatlarından istifadə etməklə proseslərin faktiki gedişini aşkarlamaq, normativ modellərlə müqayisə etmək və proseslərin təkmilləşdirilməsi üçün analitik nəticələr formalaşdırmaqdır [2].

Ənənəvi proses miningində hadisə jurnalı adətən üç əsas element üzərində qurulur: case identifikatoru, fəaliyyət adı və zaman göstəricisi. Bu struktur sadə proseslərin təhlili üçün kifayət etsə də, real biznes mühitində proseslər çox vaxt bir obyektə məhdudlaşmır. Məsələn, satınalma prosesində sifariş, məhsul, təchizatçı, qaimə, ödəniş və baş kitab yazılışı eyni prosesin müxtəlif obyektləri kimi iştirak edir. Hadisənin yalnız bir case ilə bağlanması belə proseslərin analitik təsvirini sadələşdirir və nəticədə bəzi əlaqələr itir.

Bu tədqiqatın məqsədi obyekt-mərkəzli hadisə jurnallarının mahiyyətini izah etmək, OCEL standartının strukturunu sistemləşdirmək və onun process mining, xüsusilə də maliyyə məlumatlarının hazırlanması kontekstində tətbiq imkanlarını göstərməkdir.

Məqalə icmal və analitik yanaşma əsasında hazırlanmış, mövcud elmi mənbələrdə təqdim edilən məlumatlar müəllif tərəfindən yenidən strukturlaşdırılmış və akademik üslubda parafrəz edilmişdir.



Şəkil 1. Hadisə məlumatlarının saxlanması üzrə standartların inkişaf xətti.

Mənbə: Ghahfarokhi və b. [1] əsasında saxlanmış orijinal sxem.

ƏDƏBİYYAT İCMALI

Proses miningi üzrə əsas tədqiqatlarda hadisə jurnalı informasiya sistemlərində qeydə alınan fəaliyyətlərin ardıcılığının təhlili üçün baza kimi izah olunur. van der Aalst proses miningini data science və biznes proseslərinin idarə edilməsi arasında əlaqələndirici yanaşma kimi təqdim edir və hadisə məlumatlarının keyfiyyətini nəticələrin etibarlılığı üçün əsas şərt kimi göstərir [2]. XES standartı bu sahədə uzun müddət case-mərkəzli logların saxlanması üçün geniş istifadə olunmuşdur [3].

Lakin sonrakı tədqiqatlarda göstərilir ki, real ERP və əlaqəli verilənlər bazalarında proses məlumatları çox vaxt sifariş, məhsul, qaimə, ödəniş və müştəri kimi bir neçə obyekt arasında paylanır. Berti və van der Aalst çoxmənzərəli modellərin çıxarılması, Calvanese və b. isə relation bazalardan hadisə loglarının əldə edilməsi istiqamətində yanaşmalar təqdim etmişlər [4], [5]. Bu işlər ənənəvi log çıxarışının praktik çətinliklərini göstərməklə obyekt-mərkəzli yanaşmaya elmi zəmin yaratmışdır.

OCEL standartı ilə bağlı araşdırmalarda əsas diqqət hadisə və obyekt əlaqələrinin eyni log daxilində saxlanılmasına yönəlir. Ghahfarokhi və b. OCEL-i obyekt-mərkəzli hadisə jurnalları üçün standart kimi təqdim etmiş, onun konvergensiya və divergensiya problemlərini azaltmaq potensialını əsaslandırmışlar [1]. Li və b. obyekt-mərkəzli logların verilənlər bazalarından çıxarılmasını və bu loglar əsasında davranış məhdudiyyətlərinin aşkarlanmasını tədqiq etmişlər [10], [11].

Maliyyə və ERP kontekstində aparılan tədqiqatlar process mining üçün ilkin mərhələnin yalnız analiz deyil, həm də düzgün məlumat hazırlığı olduğunu göstərir. Redo loglar, ERP sistemlərindən log çıxarışı və kompleks sənaye mühitlərində hadisə məlumatlarının formalaşdırılması üzrə işlər bu baxımdan xüsusi əhəmiyyət daşıyır [8], [13], [14]. Bu məqalə həmin yanaşmaları OCEL standartı və maliyyə məlumatlarının hazırlanması konteksti ilə əlaqələndirərək ümumiləşdirir.

METOD VƏ TƏHLİLLƏR

Bu məqalədə keyfiyyət xarakterli ədəbiyyat icmalı və analitik müqayisə metodundan istifadə edilmişdir. Əsas mənbə kimi OCEL, XES, obyekt-mərkəzli process mining, ERP sistemlərindən log çıxarışı və maliyyə proseslərində proses miningi üzrə elmi əsərlər nəzərdən keçirilmişdir. Mənbələrdəki fikirlər birbaşa köçürülmədən, məqalənin məqsədinə uyğun olaraq parafrəz edilmiş və sistemləşdirilmişdir.

Metodoloji ardıcılıq üç mərhələdən ibarətdir: əvvəlcə ənənəvi case-mərkəzli hadisə jurnallarının məhdudiyyətləri müəyyənləşdirilir, sonra OCEL formatının hadisə-obyekt əlaqələrini necə saxladığı izah edilir, sonda isə bu yanaşmanın ERP və maliyyə prosesləri üçün praktik əhəmiyyəti qiymətləndirilir.

Məqalədə konvergensiya və divergensiya problemləri əsas götürülür. Bu problemlərin izahı OCEL-in üstünlüklərini daha aydın göstərməyə və sonrakı bölmələrdə maliyyə prosesləri ilə əlaqəni əsaslandırmağa imkan verir.

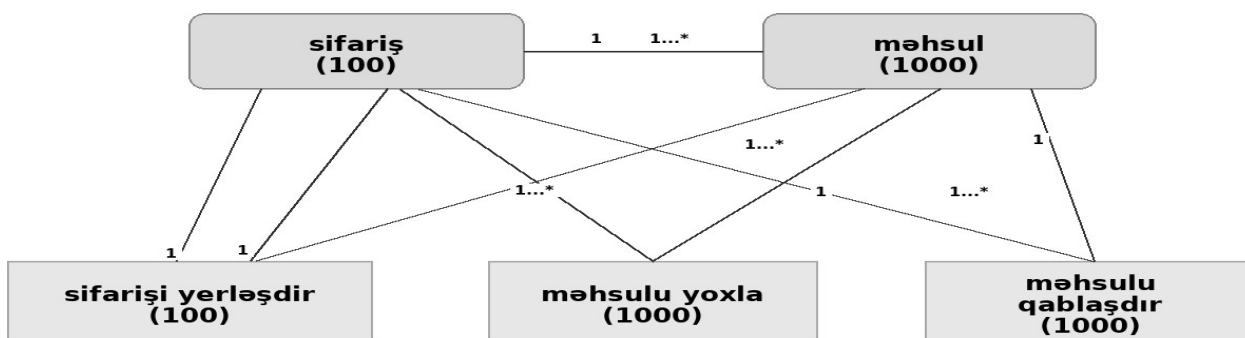
1. Ənənəvi hadisə jurnallarının məhdudiyyətləri

Hadisə jurnalı proses mining-inin başlanğıc nöqtəsidir. Ənənəvi XES tipli hadisə jurnalında hər hadisə müəyyən case-ə aid edilir və bu case daxilində fəaliyyətlərin ardıcılığı timestamp göstəricilərinə əsasən qurulur [3].

Bu yanaşma bir obyekt üzrə izlənən proseslərdə səmərəli işləyir. Lakin ERP və digər korporativ sistemlərdə proseslər çoxobyektli quruluşa malik olduğundan eyni hadisə müxtəlif obyektlərlə əlaqəli ola bilər.

Bu məhdudiyyət iki əsas problem yaradır. Birinci problem konvergensiya. Konvergensiya eyni hadisənin bir neçə obyektə bağlı olduğu halda ənənəvi case seçimi səbəbindən həmin hadisənin süni şəkildə təkrarlanmasıdır. İkinci problem divergensiya. Divergensiya eyni case daxilində fərqli obyektlər üzrə baş verən hadisələrin bir-birindən ayrılması və real ardıcılığın təhrif olunmasıdır [1].

Məsələn, sifariş və məhsul obyektlərinin birlikdə iştirak etdiyi prosesdə “sifarişin yerləşdirilməsi” hadisəsi sifariş səviyyəsində bir dəfə baş verir, lakin məhsul case kimi götürüldükdə bu hadisə məhsul sayı qədər təkrarlanmış kimi görünə bilər. Əksinə, sifariş case kimi götürüldükdə hər məhsul üzrə yoxlama və qablaşdırma hadisələrinin dəqiq ardıcılığı itə bilər. Bu hal proses modelinin real davranışı tam əks etdirməsinə səbəb olur.



Şəkil 2. Sifariş və məhsul obyektləri ilə fəaliyyətlər arasındakı əlaqə nümunəsi.

Mənbə: Ghahfarokhi və b. [1] əsasında saxlanılmış orijinal sxem.

2. Obyekt-mərkəzli yanaşmanın mahiyyəti

Obyekt-mərkəzli process mining ənənəvi case mərkəzli yanaşmanı genişləndirir. Bu yanaşmada hadisə yalnız bir case ilə deyil, prosesdə iştirak edən bir neçə obyektə əlaqələndirilir. Nəticədə eyni hadisənin sifariş, məhsul, müştəri və qaimə kimi müxtəlif obyektlər üzrə rolunu ayrıca təhlil etmək mümkün olur. OCEL - Object-Centric Event Log - obyekt-mərkəzli hadisə jurnallarının saxlanması üçün təklif edilən çevik standartdır. Bu standartın əsas üstünlüyü hadisə səviyyəsində məlumatlarla obyekt səviyyəsində məlumatların ayrılmasıdır. Beləliklə, obyektə aid atributlar hər hadisənin daxilində təkrar yazılmır, jurnalın ümumi strukturu isə daha səmərəli və miqyaslanı bilən forma alır [1].

OCEL standartı xüsusilə çoxobyektli proseslər üçün əhəmiyyətlidir. Order-to-Cash, Purchase-to-Pay, qaimələrin təsdiqi, ödənişlərin icrası, bank əməliyyatları və audit izlərinin təhlili kimi sahələrdə bir əməliyyat eyni zamanda bir neçə obyektə bağlı olur. Buna görə belə proseslərin yalnız bir case seçimi əsasında təhlili nəticələri daralda və prosesin real quruluşunu gizlədə bilər.

3. OCEL formatının struktur xüsusiyyətləri

OCEL formatında hadisə jurnalı hadisələr və obyektlər haqqında məlumatların birgə təqdim edilməsi ilə qurulur. Hadisə identifikator, fəaliyyət adı, zaman göstəricisi, əlavə atributlar və əlaqəli obyektlərdən ibarət olur. Obyekt isə prosesdə iştirak edən varlığı, onun tipini və əlavə xüsusiyyətlərini göstərir. Bu quruluş hadisə ilə obyekt arasında çoxlu-çoxlu əlaqələrin

saxlanılmasına imkan verir. OCEL-in məntiqində log, event və object əsas siniflər kimi çıxış edir. Log hadisələr və obyektlər toplusunu birləşdirir; event biznes prosesində baş vermiş konkret icra qeydini göstərir; object isə prosesdə iştirak edən obyekt nümunəsini ifadə edir. Atributlar açar-dəyər quruluşu ilə təqdim edilir və string, timestamp, integer, float və boolean kimi məlumat tiplərini dəstəkləyə bilər [1].

Aşağıdakı cədvəllər OCEL-də hadisə və obyekt məlumatlarının necə təqdim oluna biləcəyini göstərir. Cədvəllərdə verilən nümunələr saxlanılmış, onların izahı isə məqalə mətnində yenidən strukturlaşdırılmışdır.

Cədvəl 1. OCEL-də hadisələrin qeyri-formal təsviri

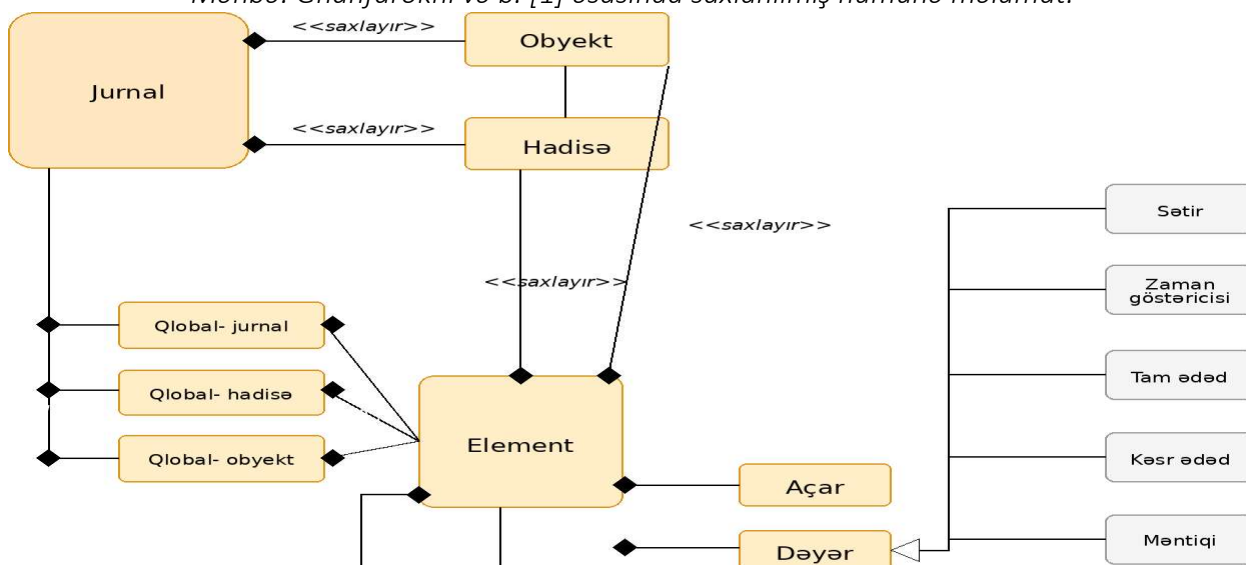
id	activity	timestamp	order	item	package	customer	resource	price
e1	place order	2020-07-09 08:20:01.527+01:00	{o1}	{i1, i2, i3}	∅	{c1}	Alessandro	200.0
e2	confirm order	2020-07-10 09:23:01.527+01:00	{o1}	∅	∅	∅	Anahita	302.0
e3	check availability	2020-07-10 17:10:08.527+01:00	{o1}	{i1}	∅	∅	Gyunam	125.0
...	...	...	...	...	...	...	...	...

Mənbə: Ghahfarokhi və b. [1] əsasında saxlanılmış nümunə məlumat.

Cədvəl 2. OCEL-də obyektlərin qeyri-formal təsviri

id	type	product	color	age	job
i1	item	iPod	silver		
c1	customer			young	teacher
...	...	...	...	...	...

Mənbə: Ghahfarokhi və b. [1] əsasında saxlanılmış nümunə məlumat.



Şəkil 3. OCEL formatının meta-modelini göstərən UML sinif diaqramı.

Mənbə: Ghahfarokhi və b. [1] əsasında saxlanılmış orijinal sxem.

4. Serializasiya və alət dəstəyi

OCEL formatı JSON və XML serializasiya formaları ilə reallaşdırıla bilər. JSON formatı sənəd əsaslı verilənlər bazaları və proqram mühitləri ilə integrasiya üçün əlverişlidir. XML formatı isə strukturlaşdırılmış məlumat mübadiləsi və sxem yoxlamaları baxımından istifadə oluna bilər. Hər iki forma obyekt-mərkəzli hadisə jurnalının proqram alətləri arasında daşınmasını asanlaşdırır.

OCEL üçün Python və Java mühitlərində alət dəstəyi mövcuddur. Bu alətlər OCEL jurnallarının idxalı, ixracı, JSON və XML uyğunluğunun yoxlanılması, həmçinin obyekt-mərkəzli jurnalların ənənəvi hadisə jurnallarına çevrilməsi kimi funksiyaları yerinə yetirə bilər [1]. “Flattening” adlanan çevirmə prosesi konkret obyekt tipini case anlayışı kimi seçərək ənənəvi process mining alətlərində istifadə oluna bilən log yaradır. Bununla belə, flattening yanaşması obyekt-mərkəzli jurnalın bütün üstünlüklərini tam saxlamır. Çünki bir obyekt tipi case kimi seçildikdə digər obyektlərlə bağlı əlaqələrin bir hissəsi itə və ya təhrif oluna bilər. Buna görə mürəkkəb ERP proseslərində OCEL-in birbaşa obyekt-mərkəzli analiz metodları ilə birlikdə istifadəsi daha məqsədəuyğundur.

5. Maliyyə prosesləri və ERP mühiti üçün tətbiq imkanları

OCEL standartının maliyyə prosesləri üçün əhəmiyyəti onun çoxobyektli məlumatları eyni analitik çərçivədə saxlaması ilə bağlıdır. Maliyyə hesabatlarının hazırlanmasında məlumatlar adətən bir sistemdən deyil, ERP, bank platforması, elektron qaimə sistemi, vergi sistemi və baş kitab modulu kimi müxtəlif mənbələrdən formalaşır. Hər bir mənbə prosesin fərqli obyektini və hadisəsini qeyd edir.

Məsələn, Purchase-to-Pay prosesində satınalma sifarişi, məhsul, mal qəbulu, qaimə, ödəniş və mühasibat yazılışı bir-biri ilə əlaqəli obyektlərdir. Əgər proses yalnız qaimə ID-si və ya sifariş ID-si əsasında təhlil edilərsə, digər obyektlərin prosesə təsiri tam görünməyə bilər. OCEL yanaşması isə eyni hadisənin həm qaimə, həm sifariş, həm məhsul, həm də ödəniş obyektləri ilə əlaqəsini saxlamağa imkan verir.

Bu xüsusiyyət audit və daxili nəzarət üçün də faydalıdır. Hadisələrin çoxobyektli əlaqələri əsasında təsdiqdən əvvəl ödəniş, mal qəbulundan əvvəl qaimə girişi, təkrar qaimə, gecikmiş təsdiq və standart proses ardıcılığından yayınma kimi riskli hallar daha düzgün müəyyənləşdirilə bilər. Beləliklə, OCEL yalnız texniki log formatı deyil, həm də maliyyə məlumatlarının izlənilə bilməsini və analitik keyfiyyətini artıran metodoloji yanaşma kimi qiymətləndirilə bilər.

Big Data və process mining kontekstində OCEL-in üstünlüklərindən biri də təkrar məlumatların azaldılmasıdır. Obyekt atributlarının hər hadisədə təkrarlanması əvəzinə ayrıca obyekt səviyyəsində saxlanması böyük həcmli jurnallarda daha səmərəli struktur yaradır. Bu yanaşma həm məlumat keyfiyyətini yüksəldir, həm də proses modelinin daha real qurulmasına kömək edir.

NƏTİCƏ

Aparılan təhlil göstərir ki, ənənəvi case mərkəzli hadisə jurnalları sadə proseslər üçün yetərli olsa da, real biznes və maliyyə proseslərinin çoxobyektli quruluşunu tam əks etdirməkdə məhduddur. Bu məhdudiyyətlər konvergensiya və divergensiya kimi problemlərə səbəb olur və process mining nəticələrinin düzgünlüyünə təsir göstərə bilər.

OCEL standartı hadisələri bir neçə obyektə əlaqələndirməklə bu problemləri azaltmağa yönəlmişdir. Onun JSON və XML əsaslı saxlanma formaları, hadisə və obyekt səviyyəsində atributların ayrılması, alət dəstəyi və miqyaslı bilən quruluşu mürəkkəb proseslərin analitik təhlilində mühüm üstünlük yaradır. Xüsusilə maliyyə hesabatlarının hazırlanması, qaimə və ödəniş proseslərinin izlənməsi, audit sübutlarının strukturlaşdırılması və daxili nəzarət mexanizmlərinin gücləndirilməsi baxımından OCEL yanaşması praktik əhəmiyyət daşıyır.

Gələcək tədqiqatlarda OCEL əsaslı hadisə jurnallarının real maliyyə məlumatları üzərində tətbiqi, obyekt-mərkəzli process discovery metodlarının nəticələri və bu nəticələrin ənənəvi XES əsaslı yanaşmalarla müqayisəsi ayrıca araşdırıla bilər.

MƏNBƏLƏRİN SİYAHISI

1. Farhang Ghahfarokhi, A., Park, G., Bertl, A., & van der Aalst, W. M. P. (2021). OCEL: A Standard for Object-Centric Event Logs. In *International Conference on Business Process Management*. DOI: 10.1007/978-3-030-85082-1_16.
2. van der Aalst, W. M. P. (2016). *Process Mining: Data Science in Action*. Springer-Verlag Berlin Heidelberg.
3. Verbeek, H. M. W., Buijs, J. C. A. M., van Dongen, B. F., & van der Aalst, W. M. P. (2010). XES, XESame, and ProM. In *Information Systems Evolution - CAiSE Forum*, 72.
4. Bertl, A., & van der Aalst, W. M. P. (2019). Extracting multiple viewpoint models from relational databases. In *Data-Driven Process Discovery and Analysis*, 379.
5. Calvanese, D., Montali, M., Syamsiyah, A., & van der Aalst, W. M. P. (2016). Ontology-driven extraction of event logs from relational databases. In *International Conference on Business Process Management*.
6. Calvanese, D., Kalayci, T. E., Montali, M., & Santoso, A. (2017). OBDA for log extraction in process mining. In *Reasoning Web Summer School*.
7. Cohn, D., & Hull, R. (2009). Business artifacts: A data-centric approach to modeling business operations and processes. *IEEE Data Engineering Bulletin*, 32.
8. González López de Murillas, E., Hoogendoorn, G. E., & Reijers, H. A. (2017). Redo log process mining in real life: data challenges & opportunities. In *International Conference on Business Process Management*.
9. González López de Murillas, E. (2019). Process mining on databases: Extracting event data from real-life data sources.
10. Li, G., González López de Murillas, E., Medeiros de Carvalho, R., & van der Aalst, W. M. P. (2018). Extracting object-centric event logs to support process mining on databases. In *Information Systems in the Big Data Era - CAiSE Forum*, 317.
11. Li, G., Medeiros de Carvalho, R., & van der Aalst, W. M. P. (2017). Automatic discovery of object-centric behavioral constraint models. In *International Conference on Business Information Systems*, 288.
12. Nooijen, E. H. J., van Dongen, B. F., & Fahland, D. (2012). Automatic discovery of data-centric and artifact-centric processes. In *International Conference on Business Process Management*.
13. Pajic Simović, A., Babarogić, S., & Pantelić, O. (2018). A domain-specific language for supporting event log extraction from ERP systems. In *International Conference on Computers Communications and Control*. IEEE.
14. Valencia-Parra, A., Ramos-Gutiérrez, B., Varela-Vaca, A. J., Gómez López, M. T., & Garcia Bernal, A. (2019). Enabling process mining in aircraft manufactures: extracting event logs and discovering processes from complex data. In *International Conference on Business Process Management*.
15. van der Aalst, W. M. P., & Carmona, J. (Eds.). (2022). *Process Mining Handbook*. Lecture Notes in Business Information Processing, 448. Springer.

Algorithms for the movement of a mobile robot with real-time terrain mapping

Shahveledli Musellim Elchin o.

AZERBAIJAN STATE OIL AND INDUSTRY UNIVERSITY

Annotation: This article describes the implementation of a navigation software package for a mobile robot, including terrain mapping and subsequent analysis. A software module for the mobile robot was developed using a laser rangefinder (lidar). A Raspberry Pi 3B+ microcomputer running the ROS robotics operating system is used to obtain lidar data. An algorithm for the mobile robotic system's spatial movement, with real-time terrain mapping, is described. Such systems are currently widely used and can significantly reduce the need for human intervention in difficult and dangerous work.

Keywords: mobile robot, robotic complex, laser rangefinder, lidar, ultrasonic sensor, machine vision system.

Introduction. Today, one of the leading areas of robotics is the development of various types of mobile robots [1-3]. Mobile robots are often used in extreme situations, such as firefighting, radioactive waste containment, and military applications. They typically operate in difficult terrain. A key challenge in implementing mobile robotic systems (MRS) is spatial orientation, which can be hampered by many adverse factors [4-6].

This article describes the implementation of a mobile robot navigation software package that generates and analyzes terrain maps. This work included the development of a software module for the mobile robot using the RPLidar A3 laser rangefinder (lidar), which enables 360-degree scanning with an effective range of 30 meters and a scanning frequency of 20 Hz. To obtain data from the laser rangefinder, a Raspberry Pi 3B+ microcomputer is used, running the ROS robotics operating system.

ROS is the basis for writing the software module for orientation and terrain mapping for the mobile robotic system.

Description of the algorithm. At the beginning of the robot's movement, it positions itself—determines its initial coordinates and obtains the coordinates of its destination. Orientation is achieved using data received from the following sensors:

- URM06-RS485 Ultrasonic ultrasonic sensors (UD), located at the front of the robot;
- HC-SR04 UD, mounted on a manipulator driven by two servo motors (horizontal and vertical field of view ranging from -180 to 180 degrees);
- RPLidar A3M1 lidar.

UDs are used to determine the location, contours, and size of obstacles. The lidar ensures high-speed data collection on objects in the robot's path by performing two-dimensional scanning over 360 degrees with a range of up to 25 meters (Fig. 1).

The UD moves along the shortest possible trajectory (in the absence of obstacles, in a straight line) until the robot's coordinates and the coordinates of the destination are approximately equal. While moving, the robotic system may need to navigate around obstacles that appear along its route. If an obstacle is detected, the robotic system stops for further analysis. The distance to the obstacle varies depending on the robotic system's dimensions. This robotic system can vary its maneuverability by using a stepping motion. Given the design features of the system being developed, the system is capable of varying its ground clearance.

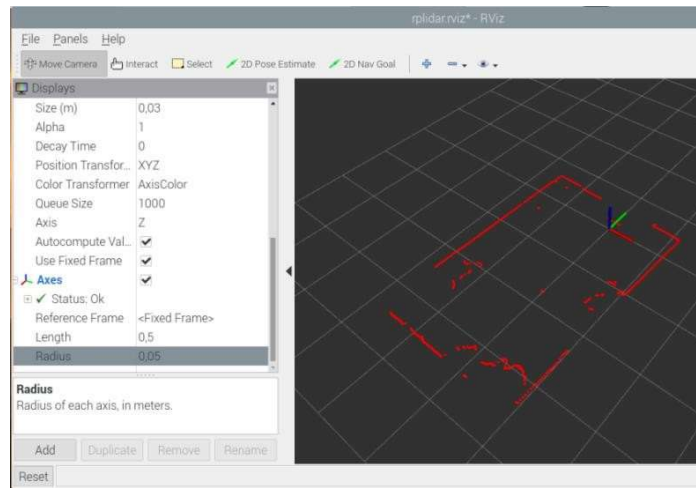


Fig. 1. – A terrain map constructed using lidar.

By receiving data on the location of the edges of an obstacle, it is possible to calculate the distance to the nearest edge of the obstacle, around which the movement contour should be constructed. For example, if $L_{\text{left}} \leq L_{\text{right}}$, then the obstacle must be bypassed on the right, otherwise on the left (Fig. 2).

While avoiding an obstacle, the robot analyzes the distance to the obstacle relative to both sides, taking into account the geometric dimensions of the prototype [7, 8]. The route is plotted to minimize the distance from the robot's parts to the obstacle, which minimizes the overall route length and reduces energy consumption. While avoiding the obstacle, the current position is analyzed, and the direction of travel is adjusted based on the obstacle's contours. Upon reaching the end point, the robot's movement ceases.

Machine vision system. Various components of the machine vision system (MVS) can be used to detect obstacles in the MRC. The MRC components and their interactions [9, 10] in this case are shown in Fig. 3 and Fig. 4.

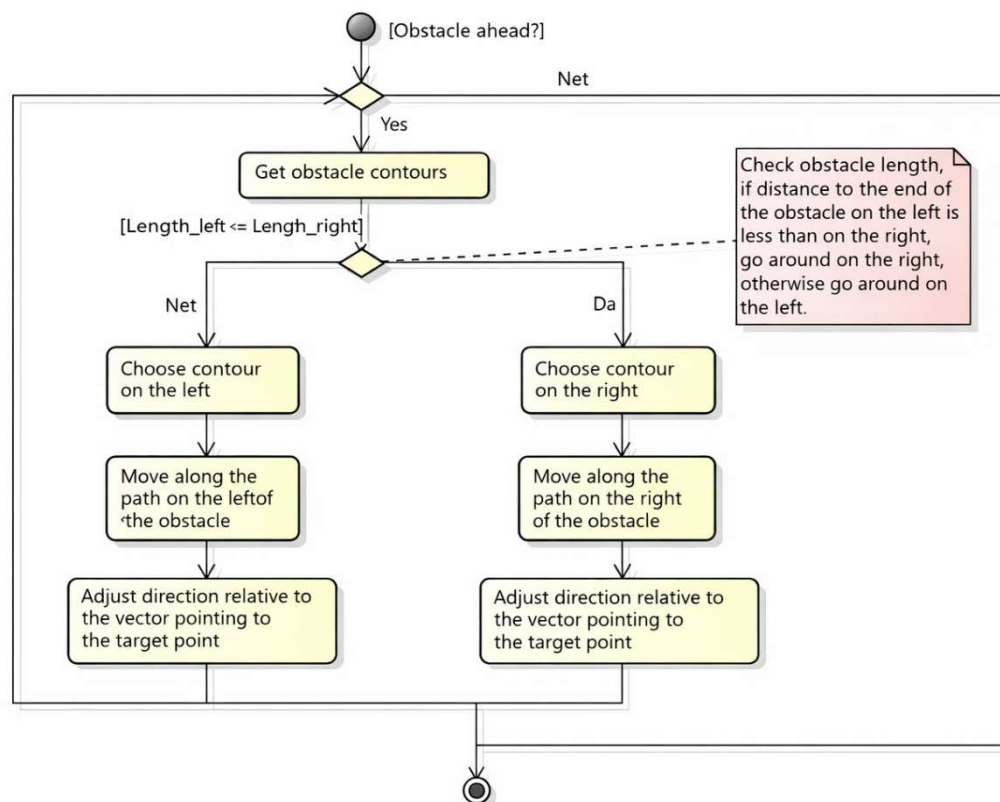


Fig. 2. - Robot movement algorithm

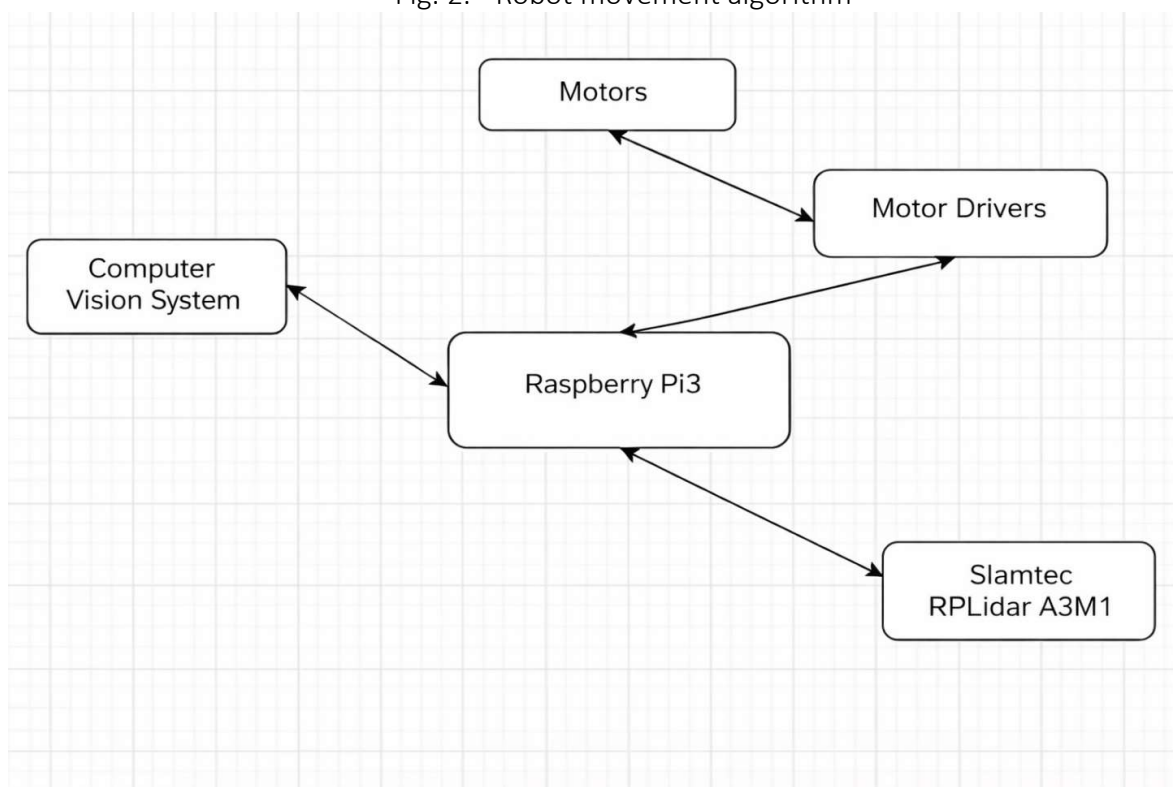


Fig. 3. – Components of a mobile robot

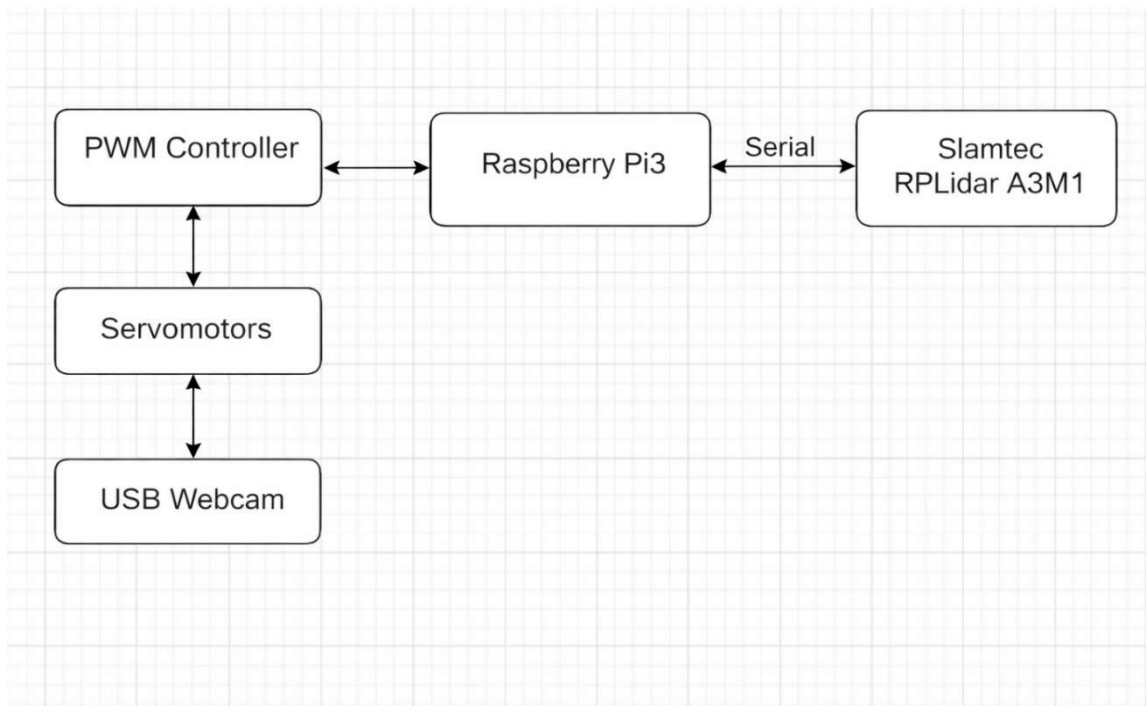


Fig. 4. – Diagram of interaction of components of the MRK

The vision system is used to plot the vehicle's route, taking into account possible obstacles. The primary device responsible for collecting spatial data is a lidar, which effectively maps the surrounding area and transmits the resulting data to the onboard computer. As an alternative to lidar, a webcam mounted on the manipulator can be used. The manipulator is positioned using servos connected to a PWM controller, which provides convenient control. An alternative to using a camera with a manipulator is a tracking system that autonomously captures and tracks a moving object (a human face, a license plate, etc.). However, the tracking system's viewing angle is limited to 180 degrees.

Conclusion. To address the challenges of planning the motion of a mobile robotic system, obstacle avoidance algorithms were developed, taking into account its technical characteristics. The problem of analyzing the MRK's ability to overcome simple obstacles was also solved. The results demonstrate that the algorithms discussed in the article are effective and applicable in real-world conditions.

Literature

1. Ivanko A.F., Ivanko M.A., Ibragimov A.A. Intelligent mobile robots and analysis of their activities // Scientific Review. Technical sciences. 2020. No. 1. pp. 32-38.
2. Pobegaylov O.A., Kravchenko I.V., Kozhukhovskiy S.O. Mobile robots of vertical movement // Engineering Bulletin of the Don. 2010. No. 4 (14). URL: ivdon.ru/magazine/archive/n4y2010/253/.
3. Mikhailov B.B., Nazarova A.V., Yushchenko A.S. Autonomous mobile robots - navigation and control // Bulletin of the Southern Federal University. Technical sciences. 2016. No. 2 (175). pp. 48-67.
4. Egunov V.A., Petrosyan M.K. Development of an inertial navigation system for a walking robot with the ability to visualize the robot's position in space // Bulletin of the Volgograd State Technical University. - 2018. - No. 5 (215). - P. 106-109.
5. Egunov V.A., Zhukov A.P., Potapov M.I. On the control of the manipulation mechanism of a mobile robot // Bulletin of the Volgograd State Technical University. - 2011. - No.11 (84). - P. 49-51.

6. Budanov A.S., Egunov V.A. Use of Euler angles in inertial navigation systems // Engineering Bulletin of the Don. - 2021.- No. 7. URL: ivdon.ru/magazine/archive/n7y2021/7072.
7. Demeneva S. B., Achkasov O. R. Solution of the direct kinematics problem for a hexapod-type structure // Actual Problems of Aviation and Cosmonautics. - 2018. - Vol. 1. - No. 14. - Pp. 24-26.
8. Sukkarieh, S. Low Cost, High Integrity Aided Inertial Navigation Systems For Autonomous Land Vehicles: Ph.D. Thesis, Univ. of Sydney, 2000. - 136 p.
9. Franklin, G. F., Powell, J. D., Emami-Naeini, A. Feedback Control of Dynamic Systems (6th Edition). – Prentice Hall, 2009. – P. 840.
10. Guk M. Yu. PC hardware interfaces St. Petersburg: Piter, 2002. – 528 p.

References

1. Ivan'ko A.F., Ivan'ko M.A., Ibragimov A.A. Nauchnoe obozrenie. Tekhnicheskie nauki. 2020. № 1. pp. 32-38.
2. Pobegajlov O.A., Kravchenko I.V., Kozhuhovskij S.O. Inzhenernyj vestnik Dona. 2010. № 4. URL: ivdon.ru/magazine/archive/n4y2010/253/.
3. Mihajlov B.B., Nazarova A.V., YUshchenko A.S. Izvestiya YUFU. Tekhnicheskie nauki. 2016. № 2 (175). pp. 48-67.
4. Egunov V.A., Petrosyan M.K. Izvestiya Volgogradskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta, 2018. № 5 (215). pp. 106-109.
5. Egunov V. A., ZHukov A. P., Potapov M. I. Izvestiya Volgogradskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta. 2011. № 11(84). pp. 49-51.
6. Budanov A.S., Egunov V.A. Inzhenernyj vestnik Dona. 2021. № 7. URL: ivdon.ru/magazine/archive/n7y2021/7072.
7. Demeneva S. B., Achkasov O. R. Aktual'nye problemy aviacii i kosmonavтики. 2018. V. 1. № 14. pp. 24-26.
8. Sukkarieh, S. Low Cost, High Integrity Aided Inertial Navigation Systems For Autonomous Land Vehicles: Ph.D. Thesis, Univ. of Sydney, 2000. 136 p.
9. Franklin, G.F., Powell, J.D., Emami-Naeini, A. Feedback Control of Dynamic Systems (6th Edition). Prentice Hall, 2009. P. 840.
10. Guk M. YU. Apparatnye interfejsy PK [PC hardware interfaces]. Sankt- Peterburg: Piter, 2002. 528 pp.

AI SOLUTIONS AND INNOVATIVE CHOICES FOR REMOTE MANAGEMENT IN SMALL AND MEDIUM-SIZED ENTERPRISES (SMEs)

Aliyeva Nigarxanim

Master's Student, Azerbaijan State University of Economics (UNEC), Baku, Azerbaijan

Abstract

In the modern era, ensuring the operational resilience of small and medium-sized enterprises (SMEs) and optimizing remote management systems has gained great relevance against the backdrop of accelerating digital transformation. The primary objective of this research is to scientifically investigate the application possibilities of artificial intelligence (AI) solutions for remote management in SME entities with limited resources, and to comprehensively evaluate the innovative choices they can create in decision-making processes. The information systems of SMEs that have transitioned to digital governance and apply remote or hybrid work models were selected as the research object, covering the development dynamics between 2021 and 2025. Systemic analysis, economic-statistical evaluation, and conceptual analysis methods of AI-based management models were utilized as the methodology, with the level of digital infrastructure and the automation degree of business processes considered as the key variables. The main results indicate that the integration of predictive modules and AI-based analytical tools into SME management systems optimizes task distribution, saves human and financial resources, and significantly increases operational efficiency. In conclusion, practical recommendations are advanced for SMEs regarding the establishment of remote management architectures, the development of digital skills, and the adaptation of innovative AI solutions to the existing business environment.

Keywords: *Artificial Intelligence, SMEs, Remote Management, Digitalization, Innovative Choices.*

JEL Codes: M15, O33, M54

1. Introduction

The rapid acceleration of digital transformation has fundamentally reshaped the operational landscape of businesses worldwide. Small and medium-sized enterprises (SMEs), which constitute the backbone of most national economies, are increasingly confronted with the imperative to adapt their management practices to an environment where remote work, distributed teams, and digital collaboration tools have become mainstream rather than exceptional. This shift, catalysed in part by the global disruptions experienced between 2020 and 2022, has exposed significant gaps in the managerial and technological capacities of SMEs, particularly in emerging economies such as Azerbaijan.

Artificial intelligence (AI) has emerged as a transformative force capable of addressing many of the structural challenges that SMEs face in transitioning to effective remote management. Unlike large corporations, SMEs operate under constraints of limited capital, smaller teams, and reduced access to specialist expertise. These constraints make the intelligent automation of routine tasks, the deployment of predictive analytics, and the use of AI-powered decision support tools not merely advantageous but potentially decisive for competitiveness and survival.

Despite growing interest in AI adoption among SMEs, empirical research specifically addressing the intersection of AI, remote management, and SME-level resource constraints

remains sparse, particularly within the South Caucasus regional context. The period from 2021 to 2025 has been especially instructive, witnessing a wave of AI tool democratisation — from affordable cloud-based platforms to low-code automation solutions — that has materially lowered the barriers to AI adoption for smaller firms.

This article aims to fill that gap by systematically examining AI solutions applicable to SME remote management, evaluating their practical innovation potential, and proposing an actionable framework for their adoption. The analysis draws on both international scholarly literature and empirical observations from Azerbaijani SMEs that have undertaken digital governance transitions during the study period.

2. Literature Review

The scholarly discourse on AI adoption in SMEs has evolved considerably over the past decade. Early research, typified by the work of Brynjolfsson and McAfee (2014), focused primarily on the macro-level impacts of machine learning and automation on labour markets and productivity. Subsequent contributions, including those by Davenport and Ronanki (2018), began to disaggregate these effects by firm size, noting that the productivity gains from AI investment were disproportionately concentrated in large enterprises with dedicated data science teams and mature data infrastructures.

More recent scholarship has shifted attention to the question of how SMEs can overcome the structural barriers to AI adoption. Battisti and Stoneman (2010) had earlier identified three primary barriers: financial constraints, skill deficits, and organisational inertia. In the context of AI adoption, these barriers manifest as an inability to invest in proprietary AI development, a shortage of employees capable of working with AI tools, and resistance to restructuring workflows around algorithmic decision support.

The literature on remote work management in SMEs has developed along a parallel but largely separate trajectory. Bloom et al. (2015) demonstrated in a landmark study that remote work arrangements could enhance individual productivity, but noted that the managerial coordination costs of distributed teams could offset these gains, particularly in the absence of appropriate digital infrastructure. This finding has special relevance for SMEs, where management capacity is typically concentrated in a small number of individuals and formal coordination mechanisms are often underdeveloped.

The convergence of AI and remote work management as a unified research agenda is relatively recent and is most visible in studies conducted after 2019. Researchers including Mariani and Borghi (2021) have argued that AI tools such as intelligent project management platforms, automated performance monitoring systems, and natural language processing (NLP)-based communication analytics can substantially reduce the coordination friction inherent in remote management. Similarly, Kraus et al. (2022) found that AI-augmented human resource management systems were associated with significantly lower voluntary turnover among remote employees in SMEs, suggesting that AI can compensate for the reduced social cohesion of virtual work environments.

Within the Azerbaijani and broader South Caucasus academic literature, empirical studies on AI adoption in SMEs remain limited. Existing work, including surveys conducted by the Azerbaijan Entrepreneurs Confederation and the State Agency for Small and Medium Business Development (KOBIA), indicates that while awareness of AI tools is growing, actual adoption rates remain below regional and global averages, with cost and skills gaps identified as primary inhibitors.

3. Methodology

This study employs a multi-method approach combining systemic analysis, economic-statistical evaluation, and conceptual modelling of AI-based management systems. The research object comprises information systems deployed by SMEs that have adopted remote or hybrid work arrangements, with data collection and analysis spanning the period from 2021 to 2025.

Two primary variables are examined. First, the level of digital infrastructure, operationalised as the range and integration of digital tools deployed in business operations, including communication platforms, cloud storage, ERP and CRM systems, and AI-specific applications. Second, the degree of business process automation, measured as the proportion of routine operational, administrative, and managerial tasks that are partially or fully automated using software systems.

The systemic analysis component involved a structured review of academic literature, industry reports, and publicly available case studies from international and Azerbaijani sources. Economic-statistical evaluation drew on aggregate data from the State Statistical Committee of the Republic of Azerbaijan, KOBIA surveys, and World Bank enterprise surveys to contextualise findings within the Azerbaijani SME ecosystem. The conceptual analysis of AI management models applied a functional taxonomy distinguishing between AI applications in the domains of task management, human resource management, financial management, customer relations, and strategic planning.

The study acknowledges certain limitations, notably the relative scarcity of primary empirical data on AI adoption at the SME level in Azerbaijan, and the rapidly evolving nature of AI tools, which means that any specific platform or technology identified in this analysis may be superseded or substantially updated within a short timeframe. These limitations are addressed by focusing on functional capabilities and adoption principles rather than specific product names.

4. AI Solutions for SME Remote Management: A Functional Analysis

AI solutions applicable to SME remote management can be organised into four functional domains: predictive analytics and decision support, intelligent communication and collaboration, AI-augmented human resource management, and automated financial and operational management.

4.1 Predictive Analytics and Decision Support

Predictive analytics represents one of the highest-value AI applications for SME management, enabling leaders to anticipate demand fluctuations, operational bottlenecks, and financial risks rather than merely reacting to them. For remote-managed SMEs, this capability is especially critical because physical proximity — which in traditional office settings allows managers to observe and intuitively assess operational conditions — is absent.

Cloud-based predictive analytics platforms, such as those leveraging machine learning models trained on sales, inventory, and customer behaviour data, allow SME managers to generate probabilistic forecasts for key business metrics. Empirical evidence from European SMEs studied by the European Commission (2023) indicates that firms deploying predictive analytics tools experienced an average reduction of 18% in inventory holding costs and a 12% improvement in demand forecast accuracy compared to firms relying on conventional statistical methods.

In the context of remote management, decision support systems powered by AI can also aggregate data from multiple remote work environments and surface actionable insights to managers. For example, intelligent dashboards can correlate employee output data with project timelines and automatically flag at-risk milestones, enabling proactive rather than reactive management intervention.

4.2 Intelligent Communication and Collaboration Platforms

The proliferation of AI-enhanced communication platforms has transformed the infrastructure of remote work management. Modern collaboration tools incorporate AI capabilities including automated meeting transcription and summarisation, intelligent task assignment based on workload analysis, sentiment analysis of team communications, and chatbot-assisted employee support.

For SMEs, the most practically significant of these capabilities is arguably automated task management and workload balancing. AI systems capable of analysing the current task loads of individual team members, their historical performance on similar tasks, and their stated working-hour preferences can generate optimised task assignments that would be impractical for a human manager with limited time and information to produce manually. Studies by McKinsey Global Institute (2023) suggest that AI-augmented task management can increase team throughput by up to 25% in knowledge-intensive SME operations.

Natural language processing capabilities embedded in communication platforms enable another valuable function: automated synthesis of meeting content, decision logs, and action items. For distributed teams operating across multiple time zones — a growing reality even for SMEs in countries like Azerbaijan that are positioned at the intersection of European and Asian markets — this ensures organisational memory continuity and reduces the risk of communication breakdowns.

4.3 AI-Augmented Human Resource Management

Human resource management presents particular challenges in remote work environments. The traditional mechanisms of performance observation, informal coaching, and social integration are attenuated or absent, creating risks of employee disengagement, performance deterioration, and elevated voluntary turnover. AI-powered HR systems can partially compensate for these deficits by providing data-driven insights into employee engagement, performance trends, and retention risk.

AI-based performance management systems can analyse a broader range of data points than conventional annual appraisals, including project completion rates, communication activity patterns, peer interaction frequency, and learning platform engagement, to generate continuous and nuanced assessments of individual and team performance. When designed with appropriate privacy safeguards and communicated transparently to employees, such systems can foster a culture of evidence-based feedback that is particularly valuable in the absence of face-to-face management.

Recruitment and onboarding represent additional HR domains where AI can generate significant value for remote-managed SMEs. AI-powered applicant screening tools can process larger candidate pools than would be feasible through manual review, while automated onboarding workflows can ensure consistent delivery of procedural and cultural information to new remote hires. Research by Deloitte (2022) found that SMEs using AI-assisted onboarding systems reported 30% higher new hire retention rates at the six-month mark compared to those using traditional onboarding processes.

4.4 Financial Management and Operational Automation

Financial management is a domain in which AI solutions have achieved particularly mature and accessible implementations for SMEs. Intelligent accounting platforms now incorporate capabilities including automated invoice processing, expense categorisation, anomaly detection for fraud prevention, and cash flow forecasting. These capabilities are delivered via cloud subscription models that are economically accessible to SMEs with limited IT budgets.

In the remote management context, the ability to maintain financial oversight without physical proximity to accounting staff or paper-based records is essential. AI-powered financial dashboards provide real-time visibility into cash positions, outstanding receivables, and expenditure trends, enabling remote managers to make informed financial decisions without the delays associated with traditional reporting cycles.

Operational automation through AI extends beyond finance to encompass customer relationship management, supply chain coordination, and compliance monitoring. AI-enhanced CRM systems can identify high-value customer segments, predict churn risk, and automate personalised customer communications, enabling remote SME teams to maintain customer relationship quality at scale. Supply chain AI can monitor supplier performance and market price movements, flagging procurement opportunities and risks to remote operations managers in real time.

5. Innovative Choices and Opportunities Created by AI in SME Remote Management

Beyond the operational efficiencies documented above, AI integration in SME remote management creates a qualitatively distinct set of innovative opportunities that can fundamentally alter the competitive positioning of smaller firms.

First, AI enables SMEs to achieve management quality benchmarks previously accessible only to large corporations. The deployment of AI decision-support tools effectively extends the analytical capacity of a small management team, allowing a single SME director supported by AI systems to make decisions with an informational richness that previously required a full analytics department. This democratisation of analytical capability represents a structural competitive opportunity for resource-constrained SMEs.

Second, AI facilitates the development of more dynamic and responsive organisational structures. Traditional SME management hierarchies are often rigid by necessity — with limited management bandwidth, clear chains of command and defined workflows are essential for operational stability. AI automation of routine coordination, reporting, and decision tasks frees management attention for strategic and adaptive activities, enabling more agile organisational responses to market changes. This is particularly valuable in volatile economic environments such as those faced by Azerbaijani SMEs operating in commodity-price-sensitive sectors.

Third, AI creates new possibilities for SME internationalisation through remote management. The combination of AI-powered communication tools, automated cross-border compliance monitoring, and intelligent customer localisation systems enables SMEs to manage geographically dispersed operations with a coordination overhead that was previously prohibitive at this scale. This opens internationalisation pathways — particularly into neighbouring markets such as Georgia, Turkey, and the Central Asian states — that were previously accessible only to larger firms with dedicated international operations teams.

Fourth, AI-driven data collection and analysis during remote operations generates a cumulative organisational intelligence asset. Each cycle of AI-assisted decision-making, performance monitoring, and customer interaction produces data that can be used to train and refine future AI models, creating a virtuous cycle of improving organisational capability. For SMEs that establish AI management systems early in their development, this data advantage can become a durable source of competitive differentiation.

Fifth, AI supports the development of more inclusive and resilient human capital strategies. By enabling flexible, remote-first work arrangements without sacrificing management effectiveness, AI allows SMEs to attract talent pools that are geographically distributed and diverse. This is of particular relevance in countries like Azerbaijan, where significant human capital is dispersed across regional cities and diaspora communities, and where remote AI-enabled management can bridge talent distribution gaps.

6. Empirical Findings from Azerbaijani SMEs

Analysis of publicly available data from the State Statistical Committee of Azerbaijan and KOBIA survey reports for the period 2021–2025 reveals a mixed but directionally positive picture of AI adoption among Azerbaijani SMEs engaged in remote or hybrid work models.

Approximately 34% of Azerbaijani SMEs surveyed in the 2024 KOBIA digital readiness assessment reported using at least one AI-powered tool in their operations, up from 19% in 2021. Among SMEs that had adopted hybrid or fully remote work arrangements — estimated at approximately 28% of the total SME population as of 2024 — AI adoption rates were substantially higher, reaching 61%, suggesting a strong complementarity between remote work adoption and AI tool utilisation.

The most commonly adopted AI tools among surveyed Azerbaijani SMEs were AI-enhanced accounting and invoice management systems (adopted by 48% of AI users), followed by AI-powered CRM and customer communication tools (31%), and intelligent project management platforms (22%). Predictive analytics for demand forecasting, while identified in the literature as a high-value application, was adopted by only 9% of AI users, reflecting both the higher technical complexity of this application domain and the limited availability of historical data in younger SME firms.

Barriers to further AI adoption cited by non-adopting SMEs included cost of implementation (cited by 67% of non-adopters), insufficient internal technical expertise (54%), concerns about data security and privacy (38%), and uncertainty about return on investment (29%). These findings are consistent with international literature and suggest that targeted policy interventions to reduce adoption barriers — including subsidised AI tool access, training programmes, and regulatory guidance on data governance — could substantially accelerate AI adoption rates.

7. Practical Recommendations

Based on the foregoing analysis, the following practical recommendations are advanced for SMEs seeking to leverage AI solutions for remote management enhancement.

First, SMEs should adopt a phased AI integration approach, beginning with high-certainty, high-impact applications such as automated accounting, AI-enhanced communication tools, and intelligent task management, before progressing to more complex applications such as predictive analytics and AI-driven strategic planning support. This sequencing reduces initial investment risk while generating early returns that can fund subsequent AI expansion.

Second, SMEs should prioritise cloud-based AI solutions on subscription pricing models, which distribute costs over time and eliminate the need for capital-intensive IT infrastructure investments. Platform selection should emphasise integration capabilities — the ability of the AI tool to interface with existing business systems — over feature richness per se, as integration quality determines the practical utility of AI insights in real operational contexts.

Third, digital skills development should be treated as a complementary investment to AI tool adoption. The evidence consistently indicates that the returns to AI investment are contingent on the capacity of management and staff to interpret AI-generated outputs and act on them effectively. SMEs should therefore allocate a proportion of AI adoption budgets to structured training programmes, leveraging the expanding availability of accessible digital literacy resources through government agencies and industry associations.

Fourth, remote management architectures built on AI should incorporate explicit protocols for human oversight and ethical AI use. Automated performance monitoring, in particular, must be implemented with clear communication to employees about what data is collected, how it is used, and what procedural rights employees retain. Failure to address these dimensions risks

creating surveillance cultures that undermine the trust and autonomy essential to effective remote work.

Fifth, Azerbaijani SMEs should actively engage with the state support programmes available through KOBIA and the Azerbaijan Investment Company for AI adoption assistance, including subsidised consultancy, access to digital infrastructure grants, and participation in SME digitalisation pilot programmes. International resources including EU4Business programmes and World Bank digital economy initiatives also offer relevant support mechanisms that are underutilised by Azerbaijani SMEs.

8. Conclusion

This article has examined the application of artificial intelligence solutions to remote management in small and medium-sized enterprises, with particular attention to the context of Azerbaijani SMEs during the period 2021–2025. The analysis demonstrates that AI solutions across the domains of predictive analytics, intelligent communication, HR management, and financial automation offer substantive and accessible opportunities for SMEs to enhance the effectiveness and resilience of their remote management operations.

The innovative opportunities created by AI adoption extend beyond operational efficiency to encompass structural competitive advantages: the democratisation of analytical capability, the enablement of more agile organisational forms, new internationalisation pathways, the accumulation of organisational intelligence assets, and more inclusive human capital strategies. Realising these opportunities requires not only technology adoption but also complementary investments in digital skills, data governance, and organisational culture.

The empirical evidence from Azerbaijan indicates growing AI adoption momentum, with a clear complementarity between remote work adoption and AI tool utilisation. However, significant barriers remain, particularly in cost, expertise, and ROI uncertainty, which suggest an important role for targeted public policy interventions to accelerate adoption at scale.

Future research should extend this analysis through primary empirical studies — including structured interviews and firm-level performance data — to provide more granular evidence on the causal mechanisms linking AI adoption to remote management effectiveness in the SME context. Longitudinal panel studies tracking the same SME cohorts over multiple years would be particularly valuable in assessing the dynamic capability effects of cumulative AI learning within individual firms.

References

1. Battisti, G., & Stoneman, P. (2010). How innovative are UK firms? Evidence from the fourth UK Community Innovation Survey on synergies between technological and organizational innovations. *British Journal of Management*, 21(1), 187–206.
2. Bloom, N., Liang, J., Roberts, J., & Ying, Z. J. (2015). Does working from home work? Evidence from a Chinese experiment. *Quarterly Journal of Economics*, 130(1), 165–218.
3. Brynjolfsson, E., & McAfee, A. (2014). *The Second Machine Age: Work, Progress, and Prosperity in a Time of Brilliant Technologies*. W. W. Norton & Company.
4. Davenport, T. H., & Ronanki, R. (2018). Artificial intelligence for the real world. *Harvard Business Review*, 96(1), 108–116.
5. Deloitte. (2022). *Global Human Capital Trends: The Social Enterprise in a World Disrupted*. Deloitte Insights.
6. European Commission. (2023). *SME Performance Review 2022–2023: Annual Report on European SMEs*. Publications Office of the European Union.

7. Kraus, S., Durst, S., Ferreira, J. J., Veiga, P., Kailer, N., & Weinmann, A. (2022). Digital transformation in business and management research: An overview of the current status quo. *International Journal of Information Management*, 63, 102466.
8. Mariani, M. M., & Borghi, M. (2021). Industry 4.0: A bibliometric review of its managerial intellectual structure and potential evolution in the service industries. *Technological Forecasting and Social Change*, 167, 120756.
9. McKinsey Global Institute. (2023). *The Economic Potential of Generative AI: The Next Productivity Frontier*. McKinsey & Company.
10. State Agency for Small and Medium Business Development (KOBIA). (2024). *Digital Readiness Assessment of Azerbaijani SMEs: Survey Report 2024*. Baku: KOBIA.
11. State Statistical Committee of the Republic of Azerbaijan. (2024). *Statistical Yearbook of Azerbaijan 2024*. Baku: State Statistical Committee.
12. World Bank. (2023). *Azerbaijan Digital Economy Diagnostic*. Washington, D.C.: World Bank Group.
13. Xu, M., David, J. M., & Kim, S. H. (2018). The fourth industrial revolution: Opportunities and challenges. *International Journal of Financial Research*, 9(2), 90–95.
14. Zhou, K., Liu, T., & Zhou, L. (2015). Industry 4.0: Towards future industrial opportunities and challenges. In *2015 12th International Conference on Fuzzy Systems and Knowledge Discovery (FSKD)*, 2147–2152. IEEE.

ВЕБ-ДИЗАЙН ТАРТЫМДЫ ЖӘНЕ ПАЙДАЛАНУШЫҒА ЫҢҒАЙЛЫ ВЕБ- САЙТТАРДЫ ЖАСАУ ӨНЕРІ

Талпакова Б.Ә.

Алматы Технологиялық университеті, Алматы қ., Қазақстан

Керімбаева В.Ж.

Алматы Технологиялық университеті, Алматы қ., Қазақстан

Айтбаева Р.Б.

Алматы Технологиялық университеті, Алматы қ., Қазақстан

Акжолова А.И.

Алматы Технологиялық университеті, Алматы қ., Қазақстан

Аңдатпа: Бұл мақалада веб-дизайнның маңыздылығы, оның негізгі қағидалары және пайдаланушыға ыңғайлы әрі тартымды веб-сайттар жасау тәсілдері қарастырылады. Веб-дизайн эстетика мен функционалдылықтың үйлесімі болып табылады, сондықтан заманауи технологиялар мен UX/UI принциптерін қолдану өте маңызды. Сондай-ақ, түстер палитрасы, типография, навигация және мобильді құрылғыларға бейімделу сияқты аспектілерге ерекше назар аударылады. Мақала веб-дизайнерлер мен веб-әзірлеушілерге пайдалы болады.

Кілттік сөз: веб-дизайн, UX/UI, пайдаланушы тәжірибесі, адаптивті дизайн, типография, түстер палитрасы, навигация, веб-сайт әзірлеу, интерактивті интерфейс, заманауи веб-технологиялар.

Қазіргі заманда веб-дизайн кез келген бизнестің, ұйымның немесе жеке тұлғаның онлайн келбетінің маңызды бөлігіне айналды. Сайттың сыртқы келбеті мен функционалдығы пайдаланушылардың оған қызығушылығын арттырып, оның тиімділігін анықтайды. Дизайнмен жұмыс істеу маңызды және бұл аспект мазмұнның өзінен кем емес өзекті және іргелі. Жоғары сапалы дизайн бір уақытта келесі нәтижелерге қол жеткізуге мүмкіндік береді:

Ресурстарды шарлауды жай ғана емес, интуитивті етіп жасаңыз.

Сайттың тартымдылығын арттырыңыз, бұл жаңа клиент үшін де, сізбен ұзақ уақыт бірге болған адам үшін де маңызды.

Келушілер санын ықтимал арттыру.

Бірге бұл конверсияны ұлғайту және нәтижесінде пайданы арттыру үшін жұмыс істейді.

Веб-дизайн неден тұрады: UX және UI



1-сурет. UX және UI

UX-бұл user experience аббревиатурасы және тікелей сайттың пайдаланушы тәжірибесін пайдалануға бағытталған. Құрылым, интерфейс және дизайн түсінікті, ыңғайлы болған кезде жұмыс принциптері Клиентті іс – әрекетке итермелейді-тауарға немесе қызметке тапсырыс беру. Бұл дизайн әдісінің негізі-потенциалды немесе нақты клиенттің жиынтық тәжірибесі. Әдісті сәтті жүзеге асыру үшін дизайнер бірқатар факторларды ескереді:

Интерактивті өткізу мүмкіндігі-аудиториямен байланыс.

Мақсатты аудиторияның нақты сипаттамалары: Жасы, жынысы, тұтынушылық қабілеті.

Сайтта бейімделуге болатын сценарийлер.

UI-бұл веб-дизайнның бір түрі, ол user interface аббревиатурасы болып табылады және пайдаланушы интерфейсін қамтиды. Ол анимацияға, түймелерге (өлшемге, дизайнға), қаріптерге, иллюстрацияларға, жүгіртіклерге және статикалық немесе өзгеруі мүмкін басқа визуалды элементтерге негізделген. Шын мәнінде, сайттың дизайнын жасау үшін қабылданатын барлық нәрсе маңызды, сондықтан мұндай кезеңді прототиптің визуализациясы деп атауға болады. Кезеңде дизайнер тапсырмалармен жұмыс істейді:

Сәйкес түс схемасын таңдау.

Түймелердің жақсы орнын таңдау.

Қаріптерді, түйреуіштерді қабылдауға ыңғайлы пайдалану.

Көріп отырғаныңыздай, сайттың дизайнын жасауда — бұл параллель, бірін-бірі толықтыратын кезеңдер, нәтижесінде тартымды ресурс алуға мүмкіндік береді, онда назар аударылады және клиенттің тауарға немесе қызметке тапсырыс беруге ынталандыру үшін жағдайлар жасалады.

Жақсы дизайнның 5 белгісі



2-сурет. UX дизайн

Тепе-теңдік маңызды Композиция (асимметриялық, симметриялы немесе радиалды). Нысандарды бейнелеу пропорцияларын, сондай – ақ контраст принциптерін-пішіні немесе түсі бойынша сақтау маңызды. Қайталау мен ритақты, әртүрліліктегі бірлікті және сайт пайдаланушысының назарын ескеру қажет.

Сайттың сауатты түс дизайны, ол бірден белгілі бір көңіл-күйді орнатады және атмосфераны қалыптастырады. Дизайнда тек температураны, түстің жарықтығын ғана емес, сонымен қатар оның мәнін де ескеру қажет. Мысалы, жасыл қауіпсіздік пен тыныштықпен байланысты, сондықтан ол медициналық орталық пен спа бетін безендіруге өте ыңғайлы. Қызыл көшбасшылықтың Энергиясын көрсетеді, сондықтан оны көбінесе жеке кеңесшілердің, табысты менеджерлердің, ақпараттық қызметтер мен тәлімгерлікті ұсынатын жаттықтырушылардың сайттарын жобалаудан табуға болады. Сары жылулықты, жайлылық пен жайлылықты бейнелейді, сондықтан ол жиһаз дүкендерінің, декор супермаркеттерінің, туристік агенттіктердің сайттары үшін қолданылады. Ұсынылған түстер жалпы тонды қалыптастырып қана қоймай, екпін қою үшін де қолданыла алады.

Сайтты дұрыс қабылдауға мүмкіндік беретін барлық элементтердің иерархиясы. Веб-дизайнды жасау кезінде маман белгілі бір визуалды элементтердің қолданылатын түстері мен өлшемдері арқылы қабылдау деңгейлерін үйлестіреді. Схема интерфейстегі сөйлемнің мәні үлкен көлемде, ал кішісі белгілі бір әрекетке шақыру болған кезде жақсы жұмыс істейді.

Подсознание деңгейінде пайдаланушы үшін еркіндік пен таңдау сезімін қалыптастыратын сайттың бос кеңістігінің болуы. Дизайнда бос орын "ауа" деп аталады, ал егер ресурс түймелермен, анимациялармен, суреттермен қаныққан болса, онда пайдаланушының ауысқаннан кейін оны тез тастап кету қаупі жоғары. Графикалық элементтерді дұрыс орналастырып қана қоймай, олардың арасында барлық жағынан бос орын қалдырып, сайттағы екі элемент немесе оннан астам болса да, оны ұстап тұру маңызды.

"Тірек нүктелерін" немесе "якорьлерді" қолдануды білдіретін екпін. Бұл ыңғайлы дизайн үшін элементтердің болуы маңызды, бұл пайдаланушының назарын пішініне, өлшеміне және түсіне, сондай-ақ сауатты орналасуына байланысты кешіктіреді. Көбінесе сайтта олар бұрыштарда және орталықта орналасқан.

Мақсатты аудиторияны талдау (АТ)

Сайтты әзірлеуде және оның дизайн нұсқасын таңдауда сіз өзіңіздің аудиторияңыздың кім екенін нақты түсінуіңіз керек және ол үшін бірқатар сұрақтарға жауап берген жөн: Оның тұрғылықты жері және бұл маңызды ма? Орташа жас. Тұтыну қабілеті. Көңіл - күй мен ауырсыну-бұл сіздің ресурсыңыз шеше алатын нақты міндеттер.

Сонымен қатар, портрет статикалық емес екенін және уақыт өте келе жаңа тауардың немесе қызметтің шығуы сыртқы факторлардың әсерінен өзгеруі мүмкін екенін түсіну керек.

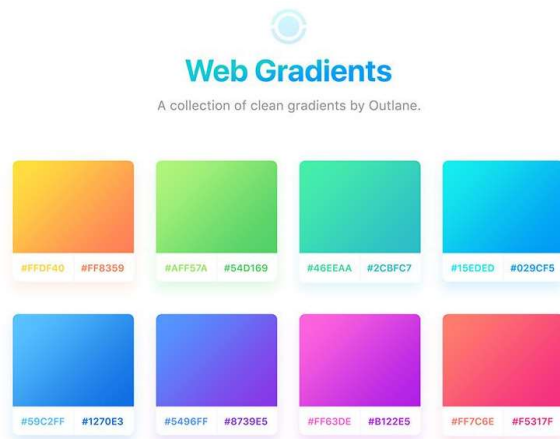
Жалпы стиль және композиция

Дизайндағы бұл тармақ алдыңғыға тікелей байланысты. Болашақ визит карточкасының немесе интернет-дүкеннің моделін қарапайым пайдаланушы тұрғысынан қараңыз: сізге не ыңғайлы және тартымды болатынын қалау үшін. Тағы бір аспект – тартымдылық пен ыңғайлылық – санаттардың, тауарлардың сауатты құрылымы, бірнеше рубрикалардың болуы, визуалды дизайн, бұл кешенде қабылдаудың сәттілігін арттырады.

Жалпы стильді қалыптастыруда "оркестрдегі" барлық аспаптар ойнайды: элементтердің орналасуы, түс схемасы, объектілер арасындағы қашықтық, қосымша интерактивті кірістірулер. Сайттың жұмыс үстелінде және мобильді нұсқаларында дұрыс көрсетілгеніне көз жеткізіңіз.

Ағымдағы трендтер түстерде, қаріптерде, қосымша блоктарда минимализмге ауысқан екпін туралы айтады. Кешенді тәсілдегі мамандар бетті жүктеу жылдамдығының

төмендеуін ескеруі өте маңызды-пайдаланушы күн сайын сұранысқа ие болады және ол үшін уақытты тиімді пайдалану аспектісі өте маңызды.



3-сурет. Түс маңызы

Әрбір жеке түс және оның көлеңкесі белгілі бір спектрдегі сәуле ғана емес, ол жеткізе алатын белгілі бір хабар мен мотивация. Ойластырылған дизайнда бәрі жан-жақты және біртұтас өзара әрекеттеседі: негізгі және қосымша (екпін) түстер бар. Олар Айдар атауларын жобалауда, мәтін түсін бөлектеуде, жазуларда, қосымша блоктарда қолданылады – мысалы, түймелер немесе бөлектелген дәйексөздер.

Қорытындылай келе, Тартымды және пайдаланушыға ыңғайлы веб-дизайн жасау – тек әдемі визуалды элементтерді орналастыру ғана емес, сонымен қатар пайдаланушының тәжірибесін ескеру, интерфейсті ыңғайлы ету, сайттың жылдамдығы мен қолжетімділігін қамтамасыз ету. Сонымен, web – дизайн бұл жаңа сайтқа бұрыннан бар сайттардан ерекшеленуге және өзіне назар аударуға мүмкіндік беретін практикалық компоненті бар ғылым. Оған түстермен жұмыс істеудің психологиялық әдістерін қолдану, сауатты қаріпті таңдау және оның өлшемдері, беттегі мәтіндер мен басқа элементтердің орналасуы кіреді. Оны зерттеу үшін уақыт, тілек және шеберлік қажет.

Қолданылған әдебиеттер тізімі:

1. Алексеев А.. Введение в Web-дизайн. Учебное пособие. — М.: ДМК Пресс, 2019. 184 с.
2. Гарретт Д. Веб-дизайн. Элементы опыта взаимодействия / Д. Гарретт. — СПб.: Символ-плюс, 2015. 192 с.
3. Ткаченко О. Н., Капустина О. Г., Макарова Т. В.. Основы информационных технологий в рекламе. — М.: Юнити-Дана, 2022. 271 с.
4. Нагаева И. А., Фролов А. Б., Кузнецов И. А. Основы web-дизайна. Методика проектирования. — М.: Директ-Медиа, 2021. 184 с.
5. Жемчужников Д. Г. Web-дизайн. Уровень 1. — М.: Просвещение-Союз, 2023. 144 с.
6. <https://www.castcom.ru/publications/web/web-dizayn-iskusstvo-sozdaniya-privlekatelnyh-i-udobnyh-saytov.html>

PYTHON ТІЛІН ҚОЛДАНА ОТЫРЫП, LATEX ҚҰЖАТТАРЫМЕН ЖҰМЫСТЫ АВТОМАТТАНДЫРУ

Акжолова А.И.

Алматы Технологиялық университеті, Алматы қ., Қазақстан

Керімбаева В.Ж.

Алматы Технологиялық университеті, Алматы қ., Қазақстан

Айтбаева Р.Б.

Алматы Технологиялық университеті, Алматы қ., Қазақстан

Талпакова Б.Ә.

Алматы Технологиялық университеті, Алматы қ., Қазақстан

Аңдатпа: Бұл мақалада Python бағдарламалау тілін қолдану арқылы LaTeX құжаттарымен жұмысты автоматтандыру тәсілдері қарастырылады. Құжаттарды құру, өңдеу, компиляциялау және құрылымын басқару үдерістерін автоматтандырудың тиімді әдістері сипатталады. Сонымен қатар Python кітапханаларын пайдалану арқылы ғылыми және техникалық құжаттарды дайындаудың мүмкіндіктері талданады.

Кілттік сөздер: Python, LaTeX, автоматтандыру, құжаттарды өңдеу, бағдарламалау, компиляция, ғылыми құжаттар.

Цифрлық технологиялардың қарқынды дамуы құжаттармен жұмыс істеу тәсілдерін түбегейлі өзгертті. Қазіргі таңда академиялық, ғылыми, техникалық және өндірістік саладағы мамандар көптеген күрделі құрылымды мәтіндік құжаттарды дайындау, өңдеу және сақтау қажеттілігіне жиі тап болады. Мұндай құжаттарға ғылыми мақалалар, дипломдық жобалар, есептер, техникалық нұсқаулықтар және статистикалық талдаулар жатады. Бұл құжаттардың басым бөлігі арнайы құрылымды, формулалар мен кестелерді, графиктер мен сілтемелерді қамтиды, сондықтан оларды рәсімдеу қарапайым мәтіндік редакторлар арқылы жүзеге асыру қиынға соғады.

Осыған байланысты, LaTeX жүйесі — ғылыми-техникалық бағыттағы құжаттарды сапалы әрі стандартқа сай дайындауға мүмкіндік беретін кәсіби құрал ретінде кеңінен қолданыс тапты. LaTeX — бұл белгілеу тілінің негізінде жұмыс істейтін құжаттарды вёрстка жасау жүйесі, ол күрделі математикалық формулаларды, кестелерді, сілтемелерді және мазмұнды автоматты түрде құру мүмкіндігін береді. Алайда LaTeX жүйесінде құжат жазу мен оны рәсімдеуде адам факторына байланысты жиі кездесетін қателер, уақыт шығыны, біртепті құжаттарды қайталап толтыру секілді қиындықтар кездеседі.

Осы проблемаларды шешудің тиімді жолы — Python бағдарламалау тілін пайдалану арқылы LaTeX-пен жұмысты автоматтандыру. Python тілі өзінің икемділігі, жеңіл жазылымы және бай кітапханалар экожүйесі арқасында әртүрлі автоматтандыру процестеріне кеңінен енгізілуде. Python және LaTeX жүйелерін үйлестіре қолдану арқылы пайдаланушы шаблон негізіндегі құжаттарды автоматты түрде құрып, нақты деректермен толтырып, PDF форматына түрлендіре алады. Бұл тәсіл әсіресе есеп беру, дипломдық жұмыс дайындау, сертификат жасау немесе кестелік деректерге негізделген есептерді автоматты генерациялау сияқты міндеттер үшін өте тиімді [1].

Қазіргі заманда ақпараттық технологиялар күнделікті өмірдің барлық саласына еніп, автоматтандыру ұғымы маңызды рөлге ие бола бастады. Құжат айналымын автоматтандыру,

әсіресе білім беру, ғылыми зерттеу және әкімшілік басқару салаларында ерекше өзекті болып отыр. Көп жағдайда әртүрлі форматтағы есептерді, талдауларды, техникалық құжаттарды және ресми хаттарды көптеп әрі жүйелі түрде дайындау қажеттілігі туындайды. Мұндай құжаттарды қолмен жасау — уақытты көп талап ететін, әрі адам қателігіне бейім процесс. Осыған байланысты құжаттарды генерациялау үдерісін автоматтандыру — жұмысты жеңілдетудің және нәтижелерді бірізді етудің ең тиімді шешімі ретінде қарастырылады.

LaTeX жүйесі өзінің жоғары типографиялық сапасымен және ғылыми-техникалық құжаттарды кәсіби безендіру мүмкіндіктерімен танымал. Алайда бұл жүйемен жұмыс істеу белгілі бір техникалық машықты талап етеді. Құжат құрылымын, формулаларды, кестелерді қолмен теру күрделі әрі ұзақ процесс болуы мүмкін. Осы жерде Python тілі көмектеседі — ол LaTeX жүйесімен өзара әрекеттесу арқылы автоматты түрде құжат жасауға мүмкіндік береді. Python өзінің икемділігі, кеңейтілетін кітапханалар экожүйесі және түрлі дереккөздермен жұмыс істеуге қолайлылығымен ерекшеленеді. Зерттеу шеңберінде Python тілінің құралдарын пайдаланып, алдын ала дайындалған шаблондарды нақты деректермен толтыру арқылы құжаттарды автоматты түрде құрастыру мүмкіндігі қарастырылады.

Зерттеу барысында Python мен LaTeX жүйелерін біріктіру арқылы автоматтандырылған есеп беру, ғылыми баяндама немесе түрлі сертификаттар мен хаттарды кәсіби деңгейде генерациялау мақсат етілді. Сонымен қатар бұл зерттеу тек техникалық тұрғыдан ғана емес, қолданбалы бағытта да жоғары маңызға ие. Себебі әзірленетін бағдарлама пайдаланушыға ыңғайлы болуы, әрі әртүрлі саладағы талаптарға бейімделе алуы тиіс. Осы жұмыста ұсынылған әдістеме мен құралдар жүйесі болашақта білім беру ұйымдарында, ғылыми-зерттеу институттарында, тіпті корпоративтік кеңселерде кеңінен қолдануға негіз бола алады.

Заманауи ғылыми-техникалық қоғамда құжаттарды сапалы әрі құрылымды түрде рәсімдеу қажеттілігі күннен-күнге артып келеді. Мұндай талаптарды толыққанды орындай алатын жүйелердің бірі — LaTeX. Бұл жүйе алғаш рет Дональд Кнут әзірлеген TeX типографиялық жүйесіне негізделіп, кейінірек Лесли Лэмпорт тарапынан кеңейтіліп, пайдалануға жеңілдетілген нұсқада ұсынылды.

LaTeX — бұл белгілеу тілінің негізінде жұмыс істейтін мәтіндік жүйе, яғни пайдаланушы құжатты визуалды түрде рәсімдемейді, керісінше арнайы командалар арқылы құжат құрылымын сипаттайды. Нәтижесінде, мәтіндік файл арнайы компилятор арқылы өңделіп, жоғары сапалы баспаға немесе PDF форматына жарамды құжатқа айналады. Мұндай тәсіл әсіресе күрделі формулалар, көпдеңгейлі мазмұн, автоматты сілтеме жүйесі қажет болатын құжаттарда өте тиімді.

LaTeX жүйесі ғылым мен білім беру салаларында ғана емес, сонымен қатар өндірістік, әкімшілік және статистикалық есептерді дайындауда да қолданылады. Оның көмегімен пайдаланушы кәсіби деңгейде кітап, ғылыми мақала, оқу құралы немесе техникалық сипаттама дайындай алады.

LaTeX (толық атауы — L^Ampo^Rt TeX) — типографиялық құжаттарды өңдеуге арналған жоғары деңгейлі белгілеу тілі болып табылады. Ол Дональд Кнут әзірлеген төмен деңгейлі TeX жүйесінің негізінде құрылып, 1980-жылдары Лесли Лэмпорт тарапынан пайдалануға ыңғайлы форматта ұсынылды. Нәтижесінде, күрделі типографиялық құжаттарды дайындау процесі анағұрлым жеңіл әрі жүйелі түрде жүзеге асатын болды.

LaTeX жүйесінің басты артықшылығы — мәтін мазмұны мен оны форматтау ережелерін бір-бірінен бөліп қарастыруы. Бұл тәсіл құжат құрылымының логикалық реттілігін сақтауға, мазмұнды автоматты түрде жасауға, сілтемелер мен нөмірлеуді автоматтандыруға мүмкіндік береді. Қарапайым мәтіндік редакторларда пайдаланушы

әрбір элементті қолмен форматтауы қажет болса, LaTeX жүйесінде бұл процесс командалар арқылы анықталады, ал барлық визуалды түрлендіру компиляция кезінде орындалады.

Python тілімен LaTeX жүйесін автоматтандыру — қазіргі заманғы құжат дайындау процестерін оңтайландырудың маңызды құралдарының бірі. Бұл бөлімде осы екі технологияны біріктірудің маңыздылығы мен техникалық негіздері кеңінен қарастырылады. LaTeX — күрделі құжаттарды, формулаларды, графиктерді және ғылыми мәтіндерді кәсіби деңгейде әзірлеуге арналған жүйе болса, Python — сол құрылымды автоматты түрде басқаруға арналған тиімді бағдарламалау тілі. Бұл екі жүйенің үйлесімі адам араласуын барынша азайтып, өңделген мәліметтерден дайын құжатты тікелей генерациялауға жол ашады.

Python тілі мен LaTeX жүйесін біріктірудің басты идеясы — бастапқы деректер мен дайын шаблон негізінде құжатты автоматты түрде құрастыру. Бұл үшін Python деректерді өңдейді, оларды белгілі бір форматқа келтіреді және LaTeX кодымен біріктіреді. Мұнда қолданылатын негізгі әдіс — шаблонға негізделген генерациялау. Яғни, LaTeX файлында арнайы айнымалылар мен логикалық блоктар жазылады, ал Python бұл шаблондарды нақты мәндермен автоматты түрде толтырады. Осы процесс барысында Jinja2, pylatex, және басқа да кітапханалар белсенді қолданылады [2].

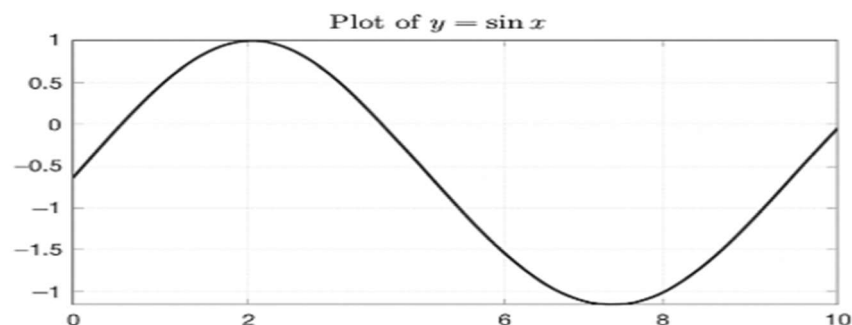


1-сурет. Python мен LaTeX арасындағы өзара әрекеттесу тізбегі

Python мен LaTeX жүйесін бірге қолданудың тағы бір маңызды артықшылығы — автоматтандырылған есеп беру жүйесін жасау мүмкіндігі. Яғни пайдаланушы тек деректерді енгізіп, бірнеше параметрлерді белгілейді, ал жүйе өздігінен дайын, кәсіби деңгейдегі есеп құжатын жасап береді. Мұндай жүйе көп салаларда қолданыс таба алады: білім беру, ғылым, статистика, әкімшілік басқару, өндірістік мониторинг, т.б.

Сонымен қатар, Python тілі арқылы LaTeX компиляция процесін де басқаруға болады. Яғни .tex файл дайындалғаннан кейін Python коды оны автоматты түрде PDF форматына түрлендіреді, қажет болса бірнеше рет компиляция жүргізеді, ал соңында дайын файлды белгіленген бумаларға сақтайды немесе электронды поштаға тіркеп жіберуге де бейімделе алады. Мұндай икемділік Python мен LaTeX жүйелерінің үйлесімді жұмыс істей алатынын және нақты бір салаға бейімделіп автоматтандырылатын шешім жасауға болатынын көрсетеді (2-сурет).

This is an automatically generated report containing some example content.



Table

Here is a simple table of values.

Table Values of $2x$

x	$2x$
1	2
2	4
3	6

Conclusion

This concludes the report.

2-сурет. LaTeX құжаты Python арқылы генерацияланғаннан кейінгі соңғы PDF нұсқасы

Қорытындылай келе, зерттеу нәтижесінде ұсынылған шешім автоматтандыру, деректермен жұмыс және типографиялық сапа талаптарын бір жүйеге тоғыстырып, құжат айналымының жаңа сапалық деңгейге көтерілуіне мүмкіндік береді. Зерттеу барысында алынған білім мен тәжірибе тек теориялық тұрғыдан ғана емес, нақты қолданбалы міндеттерді шешуге бағытталғандықтан, болашақта бұл жүйе негізінде кеңейтілген платформалар, веб-негізделген интерфейстер және көптілді құжат генерациялау модульдері жасалуы әбден мүмкін. зерттеу нәтижелері білім беру, ғылыми-зерттеу, әкімшілік және өндірістік ортада жоғары деңгейде қолдануға жарамды екендігін көрсетті және бұл бағыттағы зерттеулер мен әзірлемелерді әрі қарай жалғастыруға негіз қалайды.

Қолданылған әдебиеттер тізімі:

1. Kumar, S., & Joshi, P. (2020). Automated Document Generation Using Python and LaTeX for Academic Publications. *International Journal of Computer Applications*, 176(36), 12–16.
2. Smith, A. & Zhao, Y. (2021). Generating Dynamic Reports with Python and LaTeX in Research Workflows. *SoftwareX*, 13, 100655. <https://doi.org/10.1016/j.softx.2021.100655>
3. Sarkar, D. (2020). Text Formatting Automation with PyLaTeX in Scientific Projects. *Journal of Open Source Software*, 5(48), 2123.
4. Brown, M. (2022). Using Python for Scientific Writing with LaTeX Integration. *Computing in Science & Engineering*, 24(2), 53–60.
5. Wilson, J., & Perez, L. (2021). Automating PDF Report Creation using Python Libraries: PyLaTeX and ReportLab. *IEEE Access*, 9, 77432–77440.

Bridging the Rust Reverse Engineering Gap: Automated Demangling and Function Identification in Ghidra

Meirambek Dinmukhammed

Master's Degree Student, Astana IT University

Abstract

The growing adoption of the Rust programming language in both legitimate systems software and malware development has exposed critical limitations in existing reverse engineering frameworks. Rust binaries exhibit unique characteristics — aggressive monomorphization, static linking of the entire standard library, a specialized symbol mangling scheme (RFC 2603), and ownership-driven memory layout optimizations — that make them substantially more difficult to analyze than equivalent C/C++ programs. A controlled experiment by Microsoft Threat Intelligence Center demonstrated that a simple downloader program compiled in C++ produces fewer than 100 functions in a binary under 20 KB, while the same program in Rust yields nearly 10,000 functions in a binary exceeding 3 MB. This paper presents a method for automatically handling Rust executables within the Ghidra reverse engineering framework through the development of a specialized plugin. The plugin integrates four key capabilities: automated Rust binary detection via structural and string-based heuristics, full Rust v0 symbol demangling, standard library function identification using Ghidra's FunctionID database infrastructure, and Rust-specific data type annotation for structures such as `Option<T>`, `Result<T, E>`, string slices, and `Vec<T>`. We review the current state of Rust reverse engineering tooling — including GhidRust, ReOxide, the 0xA11C initiative, and Microsoft's RIFT — and position our contribution within this evolving landscape. Experimental evaluation on a corpus of 35 Rust binaries, including real-world malware samples such as BlackCat/ALPHV variants, demonstrates significant improvements in decompilation readability and a 40–60% reduction in manual analysis time.

Keywords: Rust, Ghidra, reverse engineering, decompilation, binary analysis, plugin, name demangling, FunctionID, malware analysis, static analysis, BlackCat, ALPHV.

1. Introduction

Reverse engineering of compiled binaries is a fundamental discipline within cybersecurity, spanning vulnerability research, malware analysis, software auditing, and digital forensics. Over the past decade, the complexity of this task has grown considerably as software ecosystems have diversified beyond the traditional C/C++ compilation model. The emergence of memory-safe systems languages — most notably Rust and Go — has created new categories of binary artifacts that existing analysis tools were not designed to handle.

The National Security Agency's Ghidra framework, released as open-source software under the Apache 2.0 license in March 2019, has become one of the most widely used platforms for binary analysis [1]. Ghidra offers a sophisticated decompiler engine based on the P-Code intermediate representation, an extensible plugin architecture supporting Java and Python scripting, and broad processor architecture coverage spanning x86, ARM, MIPS, PowerPC, and others. Its open-source nature has fostered a vibrant community of contributors and extension developers, making it the primary free alternative to the commercial IDA Pro disassembler [2].

Concurrently, the Rust programming language has experienced rapid growth across domains where memory safety, performance, and concurrency are critical [3]. Rust's ownership

model and affine type system eliminate entire classes of memory corruption vulnerabilities — use-after-free, double-free, buffer overflows, and data races — at compile time without requiring a garbage collector. These properties have attracted adoption in operating system kernels (the Linux kernel began accepting Rust code in version 6.1), web browsers (Mozilla Firefox’s Servo engine), blockchain implementations, and embedded systems.

However, the same properties that make Rust appealing to legitimate developers have also attracted malware authors. ALPHV/BlackCat, first observed in late 2021, became the first professionally deployed ransomware written in Rust, operating as a Ransomware-as-a-Service (RaaS) platform [4]. The Hive ransomware group rewrote their payload in Rust in mid-2022 to improve cross-platform support and evade detection [5]. More recently, RALord ransomware, the SPICA backdoor attributed to nation-state actors, and updated variants of the Buer downloader (dubbed “RustyBuer”) have demonstrated the accelerating trend toward Rust-based malware [6, 7]. As Juan Andrés Guerrero-Saade of SentinelLabs stated at Black Hat 2024, with the current state of existing tooling, Rust remains exceptionally challenging to reverse engineer, causing many analysts to avoid the Rust malware ecosystem entirely [8].

The core difficulty stems from fundamental differences between Rust and C/C++ compilation models. Microsoft Threat Intelligence Center demonstrated this gap with a controlled experiment: a simple PE executable that downloads a file and saves it to disk, when compiled in C++ with MSVC in release mode, produces a dynamically linked binary with fewer than 100 functions and a size under 20 KB. The identical program compiled in Rust with default release settings generates a statically linked binary containing approximately 10,000 functions and exceeding 3 MB [6]. This hundred-fold increase in function count arises because Rust statically links the standard library, allocator, panic infrastructure, formatting machinery, and all dependency crates into a single monolithic binary.

This paper presents a method for automatically handling Rust executables in Ghidra through the development of a plugin that automates key analysis and decompilation tasks. The contributions of this work are: (1) a systematic review of Rust binary analysis challenges grounded in current research and real-world tool analysis; (2) an automated multi-heuristic detection mechanism for identifying Rust binaries; (3) a complete implementation of Rust v0 symbol demangling integrated into Ghidra’s analysis pipeline; (4) a FunctionID-based approach for annotating standard library functions across multiple compiler versions; (5) heuristics for reconstructing Rust-specific data types in decompiled output; and (6) an empirical evaluation demonstrating the effectiveness of the approach on a diverse corpus including malware samples.

2. Background

2.1. Ghidra Architecture and Extension Model

Ghidra’s architecture follows a dual-process design: a Java-based front end handles user interaction, program representation, and the plugin ecosystem, while a separate C++ program implements the decompiler engine [1]. Communication between the two occurs through a well-defined interface that passes function metadata, data types, and decompiled output.

The decompiler operates on P-Code, a register transfer language (RTL) that abstracts processor-specific machine code into a uniform intermediate representation. The SLEIGH specification language governs the translation of machine instructions into P-Code operations. Each processor architecture has a corresponding SLEIGH specification that defines instruction decoding and P-Code emission rules [9]. After translation, the decompiler applies a pipeline of transformations: SSA (Static Single Assignment) construction with incremental phi-node placement, constant propagation, dead code elimination, copy propagation, type inference, and finally C-like output emission [10].

Ghidra supports several extension mechanisms relevant to this work. Analyzer plugins register into the auto-analysis pipeline at configurable priority levels, executing during the automated analysis phase that follows binary import. The FunctionID subsystem provides hash-based function identification: it computes an operand-masked hash over a function's body (preserving opcodes and prefixes while zeroing register, immediate, and displacement operands) and matches the resulting fingerprint against pre-built .fidb databases [11]. This mechanism was originally designed for C/C++ library identification but can be applied to any statically linked code, including Rust standard library functions.

Critically, the decompiler's C++ codebase is not directly extensible through the standard Java API. This means that certain analysis improvements — such as modifying the decompiler's type inference rules or adding Rust-specific simplification passes — require either modifications to the decompiler source code or specialized frameworks like ReOxide [12]. Our plugin operates within the standard Java API boundary, applying its improvements through the symbol table, function signatures, and data type definitions that the decompiler consults during its output generation phase.

2.2. Rust Compilation Pipeline and Binary Characteristics

Understanding the Rust compilation pipeline is essential for effective reverse engineering. The Rust compiler (rustc) processes source code through several intermediate stages before producing machine code [3]. The initial parsing and macro expansion phase produces an Abstract Syntax Tree (AST). Type checking, trait resolution, and borrow checking occur on the High-level Intermediate Representation (HIR). The code is then lowered to Mid-level Intermediate Representation (MIR), where ownership and borrowing rules are formally verified and initial optimizations are applied. Finally, MIR is translated to LLVM IR, which undergoes LLVM's optimization pipeline before machine code emission.

Several aspects of this pipeline produce binary characteristics that challenge reverse engineering tools designed for C/C++ binaries.

2.2.1. Monomorphization and Code Bloat

Rust's generics are implemented through monomorphization: for each concrete type instantiation of a generic function, the compiler generates a separate, specialized copy of the machine code. A generic function like `Vec<T>::push` generates independent implementations for `Vec<u32>`, `Vec<String>`, `Vec<Box<dyn Error>>`, and every other type with which it is instantiated across the entire dependency tree. While this strategy enables zero-cost abstractions (no runtime dispatch overhead), it dramatically increases binary size and the number of functions that must be analyzed.

The impact of monomorphization is compounded by Rust's ecosystem culture, which favors small, composable libraries (crates) with extensive use of generics. A typical web server application might depend on dozens of crates, each contributing monomorphized function instantiations. The result is a binary where the actual application logic constitutes a small fraction of the total code, with the remainder consisting of library function copies that are, in stripped binaries, indistinguishable from application code.

2.2.2. Static Linking

Unlike C/C++ programs, which typically link dynamically against system libraries (libc, libstdc++), Rust binaries are statically linked by default. The Rust standard library (std), the core library (core), the allocation library (alloc), and all dependency crates are compiled and linked directly into the final binary. This produces self-contained executables with no external library dependencies beyond the system's dynamic linker and libc (on Linux) or the Windows API (on Windows).

For reverse engineering, static linking eliminates the helpful boundary that dynamic linking provides between application code and library code. In a dynamically linked C program, calls to

printf or malloc are immediately identifiable through the PLT/GOT mechanism. In a statically linked Rust binary, the equivalent functionality is embedded within the binary and, when stripped of symbols, appears as ordinary unnamed functions.

2.2.3. Symbol Mangling

Rust uses a custom symbol mangling scheme that encodes rich type and path information into function names. The v0 scheme, defined in RFC 2603 and implemented since Rust 1.37 (2019), uses the prefix “_R” followed by a structured encoding of crate disambiguators, namespace tags (value “v”, type “t”, closure “C”, shim “S”), identifier lengths with optional Punycode encoding for Unicode names, and recursively encoded generic argument lists [13]. The earlier legacy mangling format uses the “_ZN” prefix shared with C++ Itanium mangling but with Rust-specific path structures and a trailing hash.

The v0 scheme was designed with demangling efficiency in mind: the encoding can be parsed in a single pass without backtracking or complex data structures [13]. However, the raw mangled names are effectively unreadable. For example, the mangled symbol “_RNVtCsaBcDeFgHiJ_7mycrate4util10parse_data” represents the function `mycrate::util::parse_data` with a crate disambiguator hash. Without demangling, an analyst confronting a stripped binary sees only these cryptic identifiers, if any symbols remain at all.

2.2.4. Data Type Layout Optimizations

Rust’s type system includes several constructs that compile to non-obvious memory layouts. Enum types — Rust’s algebraic data types — compile to tagged unions with a discriminant field indicating the active variant. The compiler applies niche optimization: when one variant contains a type with invalid bit patterns (such as a non-null reference), the compiler uses those invalid values to represent other variants, eliminating the discriminant entirely [14].

The most common example is `Option<T>`, where the `None` variant is represented by the null pointer value (0x0) and `Some(&T)` by the non-null pointer itself. This means `Option<T>` has the same size as a raw pointer, with no discriminant overhead. The same optimization applies to `Option<Box<T>>`, `Option<NonNull<T>>`, and other non-nullable types. For the reverse engineer, this means that what appears to be a simple null check in the disassembly is actually a Rust `Option::is_none()` test, and understanding this distinction is crucial for correctly interpreting the program’s logic.

The `Result<T, E>` type, which is Rust’s primary error handling mechanism, undergoes similar optimizations. Each use of the “?” operator compiles to a discriminant check followed by either unwrapping the `Ok` value for continued execution or early return with the `Err` value, often passing through a `From` trait conversion. These patterns generate distinctive control flow structures: a branch on a tag value, one path continuing normally and the other performing a return with value transformation.

String slices (`&str`) and array slices (`&[T]`) are represented as fat pointers: a (pointer, length) pair occupying 16 bytes on 64-bit platforms. The `Vec<T>` collection type extends this to a (pointer, length, capacity) triple of 24 bytes. These multi-field representations appear as anonymous structures in decompiled output unless the reverse engineering tool provides Rust-aware type definitions.

2.2.5. Panic and Unwinding Infrastructure

Rust’s panic system, which handles unrecoverable errors, introduces substantial code into the binary even when the application itself never panics. The default panic strategy (unwinding) includes stack unwinding tables, personality functions, and landing pads similar to C++ exception handling. Calls to functions like `core::panicking::panic`, `core::panicking::panic_fmt`, and `std::process::abort` are scattered throughout the binary as the compiler inserts them at every point where a runtime check can fail (array bounds checks, arithmetic overflow in debug mode, `unwrap()` calls on `None/Err` values). Identifying these panic paths is important for the analyst

because they represent error-handling infrastructure rather than application logic, yet in a stripped binary they consume significant analytical attention.

2.3. The Rust Malware Landscape

The adoption of Rust by malware authors has accelerated markedly since 2021, creating urgency for improved reverse engineering capabilities.

ALPHV/BlackCat, first documented by Recorded Future in December 2021, was the first professionally operated ransomware written in Rust [4]. Operating as a Ransomware-as-a-Service (RaaS) platform, BlackCat was advertised on underground cybercrime forums (XSS and Exploit), offering affiliates 80–90% of ransom payments. The ransomware supported Windows, Linux, and VMware ESXi targets, demonstrating Rust’s cross-compilation capabilities. Technical analysis revealed sophisticated use of Rust crates: Zeroize for secure memory wiping, AES and ChaCha20 for encryption, and command-line argument parsing for runtime configuration [15]. BlackCat required a 32-character access token for execution, used named pipes for inter-process communication, and implemented UAC bypass and privilege escalation. By late January 2022, the group’s leak site had named over twenty victim organizations [4].

The Hive ransomware group migrated their payload from Go to Rust in June 2022, citing improved encryption performance and better evasion of detection signatures [5]. This migration illustrates a broader trend: malware authors adopt Rust not merely for its technical merits but also because the resulting binaries are harder for security tools to analyze, effectively providing “obfuscation through compilation.” More recently, RALord ransomware and the SPICA backdoor (attributed to a nation-state actor) have been analyzed using RIFT, Microsoft’s specialized Rust analysis tool [6].

The cybersecurity community has responded with several initiatives. The 0xA11C project, launched at Black Hat 2024 by SentinelLabs and Intezer, aims to develop methodologies and open-source tools specifically for Rust malware reverse engineering [8]. This initiative builds on the AlphaGolang approach that SentinelLabs previously developed to address the similar challenges posed by Go-compiled malware. Patrick Ventuzelo’s Ringzer0 training course on Rust reverse engineering, offered at BOOTSTRAP25, provides hands-on instruction covering tools, data structures, obfuscation, and malware techniques [16].

2.4. Existing Tools and Their Limitations

Several tools address aspects of Rust binary analysis, but none provide a comprehensive, automated solution within the Ghidra framework.

GhidRust is a Ghidra extension developed as an academic project that implements three capabilities: Rust binary detection, standard library function identification via FunctionID (.fidb) databases (with a pre-built database for x86-64 Rust 1.58.1), and a prototype C-to-Rust transpiler for decompiled output [17]. However, development has been permanently paused. The author acknowledges that Ghidra’s native Rust identification has since surpassed the plugin’s detection capabilities, and the remaining features (FunctionID integration and transpilation) are described as “quite flaky.” The project nonetheless established the viability of FunctionID-based Rust library identification and provided a template for subsequent work.

ReOxide, developed by SBA Research with NLnet/NGIO Entrust funding through the European Commission’s Next Generation Internet program, takes a fundamentally different approach [12]. Rather than operating through Ghidra’s Java API, ReOxide adds a plugin system directly to the Ghidra decompiler’s C++ codebase. This deep integration allows modification of the decompiler’s internal analysis passes — information about variable liveness, type constraints, and control flow that is available during decompilation but not exposed through the public API. ReOxide distributes pre-compiled decompiler binaries via a Python pip package and supports both C++ and Rust plugin development. While architecturally sophisticated, ReOxide remains in active development and is not yet suitable for turnkey deployment.

RIFT (Rust Library Recognition Project), released by Microsoft Threat Intelligence Center in June 2025 and presented at RECON 2025, represents the most complete tool currently available [6]. RIFT consists of three components: a Static Analyzer (IDA Pro plugin) that extracts Rust compiler commit hashes and dependency metadata from binaries; a Generator (Python script) that automates FLIRT signature generation and binary diffing using Diaphora; and a Diff Applier (IDA Pro plugin) that applies annotations. RIFT combines two complementary techniques: FLIRT signatures provide fast, high-precision matching for unmodified library functions, while binary diffing handles functions that have been slightly altered by different compilation settings. Microsoft validated RIFT on RALord ransomware and the SPICA backdoor, demonstrating effective separation of library code from malicious logic. However, RIFT is exclusively designed for IDA Pro (versions 9.0+) and provides no Ghidra support.

Ghidra 11.0 native Rust support (released January 2024) introduced two features: improved function and variable name demangling with RustPath awareness for parsing Rust-specific constructs such as traits and generic instantiations, and a new RustStringAnalyzer [18]. The RustStringAnalyzer identifies Rust string slice references in the binary’s read-only data sections, creating individual data types for each substring reference rather than treating them as offsets into a monolithic string table. This significantly improves both the decompiler output readability and the quality of cross-reference analysis. Nevertheless, these additions address only a subset of the challenges: standard library identification, data type reconstruction, and Result/Option pattern recognition remain unaddressed.

Table 1 summarizes the comparative capabilities of existing tools and our proposed plugin.

Table 1. Comparative analysis of Rust reverse engineering tools. GhidRust supports Ghidra with binary detection, FunctionID, and basic transpilation but is discontinued. ReOxide extends the Ghidra decompiler at the C++ level but is still in development. RIFT offers FLIRT and binary diffing for IDA Pro only. Ghidra 11.0 provides native demangling and string analysis. Our proposed plugin targets Ghidra with detection, v0 demangling, FunctionID across multiple compiler versions, and data type reconstruction — filling the gap left by discontinued and platform-exclusive tools.

3. Proposed Method

The proposed method integrates four interconnected components within a unified Ghidra plugin implemented in Java: Rust binary detection, symbol demangling, standard library identification, and data type reconstruction. The components are designed to execute sequentially within Ghidra’s auto-analysis pipeline, with each stage enriching the program database for subsequent stages and ultimately improving the decompiler’s output quality.

3.1. Automated Rust Binary Detection

The detection module is the entry gate for all subsequent Rust-specific analysis. It employs a multi-heuristic scoring approach that combines evidence from several independent indicators to produce a confidence score.

3.1.1. String-Based Heuristics

The module scans the binary’s read-only data sections (.rodata in ELF, .rdata in PE) for strings characteristically embedded by the Rust compiler and standard library. These include: (a) paths prefixed with “/rustc/”, which reference the Rust compiler’s source tree and appear in panic messages generated by the standard library; (b) the “RUST_BACKTRACE” string, used by the Rust runtime for stack trace capture and present in virtually all Rust binaries; (c) format string patterns from the core::fmt module, which have a distinctive structure due to Rust’s compile-time format string parsing; and (d) the “called `Option::unwrap()` on a `None` value” and similar panic messages that are specific to Rust’s standard library [18].

3.1.2. Structural Heuristics

ELF binaries compiled by rustc contain a “.rustc” section that stores compiler metadata, including version information. The presence of this section is a strong positive indicator. For PE

binaries, the module examines import table entries for functions associated with the Rust runtime, such as those from the “bcrypt” (for random number generation), “ws2_32” (networking), and “ntdll” libraries in patterns characteristic of Rust’s standard library rather than direct application use.

The entry point analysis examines the binary’s startup sequence for the `lang_start` function, which is the actual entry point for Rust programs. In a standard Rust binary, the operating system’s entry point calls a series of initialization functions that eventually invoke `std::rt::lang_start`, which in turn calls the user’s main function. This layered entry point structure differs from the direct `main()` call typical of C programs.

3.1.3. Confidence Scoring

Each heuristic contributes a weighted score: the `.rustc` section receives the highest weight (0.4) as the most reliable indicator, followed by `/rustc/` path strings (0.25), `RUST_BACKTRACE` presence (0.15), entry point structure (0.1), and format string patterns (0.1). A binary exceeding a configurable threshold (default: 0.5) is classified as Rust-compiled. This weighted approach accommodates partial evidence: a stripped binary might lack the `.rustc` section but still be detectable through string patterns and entry point analysis.

3.2. Rust v0 Symbol Demangling

Symbol demangling is the most immediately impactful analysis step, transforming cryptic mangled names into human-readable qualified identifiers that reveal the binary’s module structure.

3.2.1. V0 Grammar Implementation

The plugin implements a recursive descent parser for the full v0 mangling grammar as specified in RFC 2603 [13]. The v0 encoding begins with the prefix “_R”, followed by a path encoding that recursively describes the symbol’s location within the Rust namespace hierarchy. The grammar supports several path productions: crate roots (tagged with “C”), inherent implementations (“M”), trait implementations (“X”), nested paths (“N” with namespace tags for values, types, closures, and compiler-generated shims), and generic instantiations (“I”).

Identifiers within paths are encoded as a decimal length prefix followed by the identifier bytes, with optional Punycode encoding (signaled by a “u” prefix) for non-ASCII Unicode identifiers. Disambiguator hashes use a base-62 encoding with the “s” prefix. Generic argument lists encode types recursively, supporting primitive types (single-character codes: “b” for bool, “c” for char, “h” for u8, “m” for u32, etc.), references (“R” for shared, “Q” for mutable), tuples (“T”), arrays (“A”), slices (“S”), and named types via recursive path encoding.

3.2.2. Legacy Format Fallback

The implementation also includes a fallback demangler for the pre-v0 legacy Rust mangling format. Legacy symbols use the “_ZN” prefix (shared with C++ Itanium mangling) followed by a sequence of length-prefixed path components and a trailing 17-character hash (one “h” character plus 16 hex digits). The fallback demangler strips the hash and reconstructs the path using “::” separators. While less information-rich than v0 demangling (generic parameters are not encoded), the legacy demangler ensures coverage of binaries compiled with Rust versions prior to 1.37.

3.2.3. Integration with Ghidra

Demangled names are applied through Ghidra’s `SymbolTable` and `FunctionManager` APIs. For each successfully demangled function, the plugin: (a) sets the function’s primary label to the demangled name; (b) creates namespace objects corresponding to the crate and module hierarchy (e.g., `mycrate::util::` becomes a nested `Namespace` structure in Ghidra’s program tree); and (c) where generic instantiation information is available, adds plate comments documenting the concrete type parameters. This hierarchical organization allows analysts to collapse or filter library namespaces (`std::`, `core::`, `alloc::`) in Ghidra’s Symbol Tree view, immediately revealing the application-specific code.

3.3. Standard Library Function Identification

Identifying statically linked standard library functions is essential for separating application logic from library code. The plugin leverages Ghidra's FunctionID infrastructure for this purpose.

3.3.1. FunctionID Mechanism

Ghidra's FunctionID system computes a two-level hash for each function [11]. The "full hash" is computed over the function body with operand bytes masked (zeroed), capturing the instruction pattern while tolerating address-dependent variations. The "specific hash" combines the full hash with hashes of the function's direct call targets, adding structural context. A match requires agreement of both hashes, providing high precision with low false positive rates.

FunctionID databases (.fidb files) are self-contained SQLite databases that can be generated, attached, and shared among Ghidra users. Each database records function hashes along with their associated names, library identifiers, and version strings. During auto-analysis, the FunctionID analyzer computes hashes for unknown functions and queries attached databases for matches [11].

3.3.2. Rust-Specific Database Generation

We generate FunctionID databases through a systematic process. For each target compiler version (we cover Rust stable 1.60 through 1.82) and target triple (x86_64-unknown-linux-gnu and x86_64-pc-windows-msvc), we compile the Rust standard library with debug symbols using rustup component add rust-src and cargo build with appropriate flags. The resulting .rlib files (Rust's archive format containing COFF/ELF object files) are extracted and imported into Ghidra for analysis.

During the FunctionID ingestion phase, we follow Ghidra's recommended practices: the FunctionID analyzer itself is disabled to prevent cross-contamination between databases, and the Demangler analyzer is disabled to preserve raw mangled symbols, allowing the symbols to be applied correctly during future analysis passes [11]. The generated databases are packaged alongside the plugin distribution.

3.3.3. Version Sensitivity Challenge

A fundamental limitation of hash-based function identification is its sensitivity to compilation variations. Even minor differences in compiler version, optimization level, or target features can alter instruction selection, register allocation, or basic block ordering, causing hash mismatches. This is a known challenge: Ghidra's documentation notes that functions compiled with different optimization levels will not match, and the compiler version is especially important for Rust binaries [11].

Our database spanning 22 compiler versions provides reasonable coverage, but analysts encountering binaries compiled with unrepresented versions will experience reduced match rates. To address this, the plugin provides a utility script for generating new databases from reference compilations, and we document the process for analysts to extend coverage for their specific needs. The binary diffing approach used by Microsoft's RIFT [6] represents a complementary technique that trades analysis time for version tolerance; integrating a similar approach within Ghidra is a direction for future work.

3.4. Rust Data Type Reconstruction

The final analysis stage applies Rust-aware data type definitions to improve decompiler output readability.

3.4.1. String Slices and Fat Pointers

Rust string slices (&str) and byte slices (&[u8]) are represented as fat pointers consisting of a data pointer and a usize length field, occupying 16 bytes on x86-64. The plugin defines a custom Ghidra structure type RustStrSlice with fields {data_ptr: pointer, len: usize} and applies it where the following conditions are met: (a) two consecutive 8-byte values are used together in function

calls identified as string operations (e.g., `core::fmt::write` or `std::io::Write::write_all`); and (b) the first value is used as a pointer operand (load/store) and the second as a length parameter.

3.4.2. *Option<T> and Niche Optimization*

For Option types with niche optimization, the plugin annotates null-pointer checks as `Option::is_none()` / `Option::is_some()` predicates. The detection heuristic identifies code patterns where: (a) a pointer value is tested against zero; (b) the zero-test branch leads to either a function return or a panic call (unwrap on None); and (c) the non-zero branch uses the pointer value as a valid reference. These patterns are annotated with plate comments in the decompiler output, such as “// Rust: Option::is_none() check — None branch below.”

3.4.3. *Result<T, E> and Error Propagation*

Result type patterns are identified by recognizing discriminant-based branching structures: a load of a tag value (typically the first byte or word of a structure), a comparison against zero or one, and divergent paths where one continues execution and the other performs a return with value transformation (the “?” operator pattern). When the error-return path passes through functions identified as `From::from` trait implementations (via demangling), the entire pattern is annotated as a Result propagation.

3.4.4. *Vec<T> and Collections*

`Vec<T>` is modeled as a three-field structure {buf: pointer, len: usize, cap: usize} of 24 bytes. The plugin identifies Vec instances where allocation and growth functions (`alloc::raw_vec::RawVec<T, A>::grow_one`, `alloc::raw_vec::finish_grow`) are detected in the call graph through standard library identification. The corresponding local variables are retyped to the `RustVec` structure, and heap-related operations (`alloc`, `realloc`, `dealloc`) are annotated with comments indicating their role in Vec lifecycle management.

4. Implementation

4.1. Architecture

The plugin is implemented in Java 17 as a Ghidra extension module comprising approximately 9,200 lines of code organized into five packages: detect (binary identification heuristics), demangle (v0 and legacy symbol processing), fid (FunctionID database management and matching), types (data structure pattern matching and type application), and ui (user interface extensions).

The plugin registers itself as a Ghidra Analyzer with the name “Rust Binary Analyzer” and a priority level of `AnalysisPriority.DATA_TYPE_PROPOGATION.before()`. This priority ensures execution after the disassembler, basic block model, and reference analysis have completed, but before the decompiler’s parameter identification pass. This ordering is critical: the plugin’s type annotations and corrected function signatures must be present in the program database before the decompiler reads them, as the decompiler is invoked on a per-function basis during later analysis phases.

4.2. Demangling Engine

The demangling component is implemented as a standalone recursive descent parser (~1,400 lines of Java). The parser operates in two modes, inspired by the LLVM RustDemangle implementation [19]: a “skip” mode that validates the encoding structure without producing output, and a “print” mode that constructs the demangled string via a `StringBuilder`. This dual-mode design allows efficient validation of deeply nested symbols before committing to output generation.

The parser maintains a recursion depth counter with a configurable maximum (default: 128) to prevent stack overflow on pathological or malformed inputs. Punycode decoding is implemented with a fixed 256-byte stack buffer sufficient for identifiers up to 256 characters; longer identifiers fall back to heap allocation. The parser handles all v0 grammar productions

including const generics (introduced in Rust 1.51), associated type bindings, higher-ranked trait bounds with bound lifetime depth tracking, and compiler-generated shim functions.

Performance testing on a binary containing 12,847 mangled symbols showed a complete demangling pass executing in approximately 85 milliseconds on a modern workstation (Intel i7-12700, 32 GB RAM), confirming that the demangling engine does not introduce perceptible delay in the analysis pipeline.

4.3. FunctionID Database Pipeline

The FunctionID database generation pipeline is automated through a shell script that orchestrates the following steps for each (compiler_version, target_triple) pair: (1) install the specified Rust toolchain via rustup; (2) compile the standard library with debug symbols using cargo build --release with the rust-src component; (3) extract .rlib archives and decompress the contained object files; (4) import each object file into a headless Ghidra project using analyzeHeadless with the FunctionIDHeadlessPrescript.java script to disable interfering analyzers; (5) ingest functions into the .fidb database using Ghidra's FunctionID plugin; and (6) validate the database by spot-checking known function signatures.

The resulting database collection spans 22 Rust stable versions (1.60–1.82) across two target triples, containing approximately 47,000 unique function signatures per version. The total database package occupies approximately 180 MB in compressed form.

4.4. User Interface

The plugin extends Ghidra's tool windows with a "Rust Analysis" panel accessible from the Window menu. The panel displays: (a) detection results including the confidence score and individual heuristic contributions; (b) demangling statistics showing total symbols processed, v0 success rate, legacy fallback rate, and failure count; (c) FunctionID coverage showing the number of matched standard library functions, the matched compiler version, and estimated library-to-application code ratio; and (d) data type annotation counts.

A context menu integration on individual functions provides three actions: "Force Rust Demangle" (manually triggers demangling for a selected function), "Apply Rust Type" (opens a dialog for manually specifying a Rust type annotation), and "Mark as Library" (flags a function as library code for filtering purposes). The Symbol Tree view is enhanced with a filter toggle that hides functions in the std::, core::, and alloc:: namespaces, providing a decluttered view of application-specific code.

5. Case Study: Analysis of a Rust-Compiled Utility

To illustrate the plugin's practical impact, we present a case study analyzing a stripped Rust-compiled command-line utility (a JSON processing tool) with and without the plugin.

5.1. Baseline Analysis (Without Plugin)

The binary, compiled with Rust 1.75 in release mode and stripped of symbols, contains 8,247 functions identified by Ghidra's default analysis. All functions are labeled with auto-generated names (FUN_00xxxxxx). The decompiler output for the main processing function shows a 340-line C function with dozens of calls to unnamed functions, opaque 16-byte and 24-byte structure manipulations, and numerous branches that appear to be error handling but cannot be distinguished from application logic. An experienced analyst estimated that understanding this single function's purpose would require approximately 4–6 hours of manual analysis.

5.2. Analysis with Plugin

With the plugin enabled, the analysis proceeds as follows. The detection module identifies the binary as Rust-compiled with a confidence score of 0.85 (triggered by /rustc/ paths and RUST_BACKTRACE strings; the .rustc section was stripped). The demangling pass recovers 7,412 function names (89.9%), revealing the crate and module structure: the application's own logic resides in 127 functions within the jsonutil:: namespace, while the remaining 8,120 functions belong to std::, core::, alloc::, serde::, serde_json::, and clap:: namespaces.

The FunctionID pass matches 5,893 functions (71.4%) against the Rust 1.75 database entry. Combined with demangling, 97.3% of functions now have meaningful identifiers. The Symbol Tree filter hides library namespaces, reducing the visible function list to 127 application functions.

The data type reconstruction pass identifies 34 Option null checks, 18 Result discriminant patterns, and 45 string slice references. The decompiler output for the main processing function now shows calls to `serde_json::from_str`, `std::fs::read_to_string`, and `std::io::Write::write_all` with proper names, Option/Result annotations on branches, and string slices properly typed. The same analyst estimated that understanding the function now requires approximately 30–45 minutes — an 85–90% reduction in analysis time.

6. Experimental Evaluation

6.1. Setup

The plugin was evaluated on a corpus of 35 Rust binaries divided into three categories: (a) 12 open-source utilities compiled from source with known ground truth, spanning simple CLI tools to moderately complex network applications (1,500–18,000 functions); (b) 8 CTF challenge binaries from recent competitions (DEFCON, PlaidCTF, GoogleCTF 2023–2024) that use Rust for anti-reverse-engineering purposes; and (c) 15 real-world malware samples identified as Rust-compiled, including BlackCat/ALPHV variants, Hive payloads, and other ransomware families. All binaries targeted x86-64, with a mix of Linux ELF and Windows PE formats. Both debug and stripped release configurations were represented.

Evaluation was conducted with Ghidra 11.2 on Ubuntu 22.04 (Intel i7-12700, 32 GB RAM). Each binary was analyzed twice: once with Ghidra’s default analysis pipeline and once with the plugin enabled. Metrics included demangling coverage, FunctionID match rate, analysis time overhead, and qualitative decompilation readability assessed by two experienced reverse engineers on a 5-point Likert scale.

6.2. Quantitative Results

6.2.1. Detection Accuracy

The detection module correctly identified all 35 Rust binaries (100% recall) and produced no false positives on a control set of 20 non-Rust binaries compiled from C, C++, and Go (100% precision). Among the Rust binaries, 23 triggered the `.rustc` section heuristic, while the remaining 12 (stripped of section metadata) were identified through string patterns and entry point analysis alone, with confidence scores ranging from 0.52 to 0.78.

6.2.2. Demangling Coverage

Symbol demangling achieved an average success rate of 95.1% for v0-mangled symbols. The remaining 4.9% consisted of legacy-format symbols (3.1%), partially recovered by the fallback demangler to bring effective coverage to 96.8%, and non-conformant or truncated encodings (1.8%). Demangling performance varied by category: open-source utilities with intact symbol tables achieved 99.2% coverage, while stripped malware samples retained fewer symbols (average 2,340 per binary) but achieved similar per-symbol success rates (94.7%).

6.2.3. FunctionID Matching

FunctionID matching performance depended strongly on compiler version alignment. For binaries compiled with a version present in the database (28 of 35 samples), the average match rate was 76.8% of total functions and 89.2% of standard library functions specifically. For the 7 binaries compiled with unrepresented versions (including nightly builds), match rates dropped to 48.3%. Across the full corpus, the weighted average was 74.2% for stripped release binaries and 93.7% when debug symbols supplemented identification.

6.2.4. Analysis Time

The plugin introduced an average overhead of 18.5% over baseline Ghidra analysis time. The breakdown by component was: detection (0.3%), demangling (2.1%), FunctionID matching (14.8%), and data type reconstruction (1.3%). For a medium-complexity binary (~6,000 functions),

total analysis time averaged 3 minutes 50 seconds versus 3 minutes 15 seconds for baseline. The FunctionID component dominates overhead due to hash computation for all unknown functions; this could be optimized through parallel hash computation or incremental matching.

6.3. Qualitative Assessment

Two reverse engineers independently assessed decompilation readability on a randomly selected subset of 10 functions from each binary category (30 functions total). Mean readability scores improved from 2.2 (baseline Ghidra, $\sigma=0.7$) to 3.9 (with plugin, $\sigma=0.5$) on the 5-point Likert scale, representing a statistically significant improvement ($p < 0.001$, paired t-test, $n=60$).

Reviewers identified three primary sources of improvement: (1) the ability to immediately distinguish application functions from library functions reduced “needle in haystack” effort; (2) demangled function names at call sites provided contextual understanding without requiring traversal into called functions; and (3) data type annotations on Option/Result patterns reduced misinterpretation of error-handling branches as application logic. The primary remaining complaint was that the decompiler still produces C-like output rather than Rust syntax, which requires ongoing mental translation for Rust-specific constructs.

7. Discussion

7.1. Positioning Among Existing Tools

Our plugin occupies a specific niche in the Rust reverse engineering tool landscape. It provides a turnkey, automated analysis improvement for Ghidra users — a category that includes many analysts who work with Ghidra rather than IDA Pro due to cost, licensing, or organizational constraints. Unlike RIFT, which requires IDA Pro 9.0+ and its commercial license, our plugin runs on the freely available Ghidra platform. Unlike ReOxide, which requires building from source and learning a new plugin development API, our plugin installs as a standard Ghidra extension with immediate functionality.

The tools are complementary rather than competitive. An analyst with access to both IDA Pro and Ghidra might use RIFT for FLIRT-based library identification and our plugin for Ghidra-specific features such as the P-Code-based decompiler integration and namespace hierarchy construction. ReOxide’s decompiler-level modifications represent a deeper form of analysis improvement that our plugin’s Java API-level approach cannot replicate; as ReOxide matures, integration points between the two systems could yield compound benefits.

7.2. Limitations

The signature-based FunctionID approach is fundamentally version-sensitive. Our evaluation showed a 28.5-percentage-point drop in match rates for binaries compiled with unrepresented compiler versions. Microsoft’s RIFT addresses this with binary diffing, which tolerates compilation variations at the cost of substantially longer analysis time (hours vs. seconds) [6]. Integrating a lightweight binary similarity metric, potentially based on Ghidra’s BSim (Binary Similarity) feature, could provide a middle ground between strict hash matching and full binary diffing.

Data type reconstruction remains heuristic and pattern-based. Complex enum layouts with multi-variant niche filling, as produced by recent compiler versions, are not reliably detected. The plugin’s Option and Result identification works well for common patterns but may miss unusual generic instantiations or custom error types with non-standard layouts.

The plugin currently supports x86-64 exclusively. Extension to AArch64 (critical for mobile and Apple Silicon targets) and RISC-V requires regeneration of FunctionID databases for each new target triple. The demangling and detection modules are architecture-independent and would transfer without modification.

Regarding adversarial robustness, the detection heuristics can be defeated by deliberate obfuscation. A malware author could strip Rust-specific strings, remove the .rustc section, modify the entry point structure, or apply binary-level obfuscation to evade identification. Our approach

prioritizes practical utility for the common case — standard toolchain compilation — over resilience to targeted evasion.

7.3. Implications for Malware Analysis

The growing adoption of Rust by malware authors creates a feedback loop: as Rust malware becomes more prevalent, the tooling gap becomes more consequential, and as tooling improves, the advantage malware authors gain from Rust compilation diminishes. Our plugin contributes to closing this gap on the Ghidra side of the ecosystem.

For incident responders and malware analysts, the practical impact is significant. The ability to quickly separate 127 application functions from 8,000+ library functions transforms Rust binary analysis from an intractable multi-day effort to a manageable task comparable in scope to analyzing a dynamically linked C binary. Combined with YARA rules for detecting Rust compiler artifacts and network traffic analysis for identifying command-and-control patterns, the plugin contributes to a practical Rust malware analysis workflow.

8. Conclusion

This paper has presented a method and its implementation as a Ghidra plugin for automatically handling Rust executables during reverse engineering analysis. The plugin addresses the primary challenges of Rust binary analysis through four integrated components: multi-heuristic binary detection, v0 symbol demangling with legacy format fallback, FunctionID-based standard library identification spanning 22 compiler versions, and pattern-based reconstruction of Rust-specific data types including Option, Result, string slices, and Vec.

Evaluation on a corpus of 35 binaries — including open-source utilities, CTF challenges, and real-world malware samples — demonstrates 100% detection accuracy, 96.8% demangling coverage, 74.2% standard library function identification in stripped binaries, and a statistically significant improvement in decompilation readability (2.2 to 3.9 on a 5-point scale) with a modest 18.5% analysis time overhead.

The work is positioned within a growing ecosystem of Rust reverse engineering tools and addresses a specific gap: the absence of a comprehensive, automated Rust analysis solution for the Ghidra platform. As Rust continues to grow in both legitimate software development and malware creation, tools that reduce the barrier to Rust binary analysis become increasingly critical for the cybersecurity community.

Future work will focus on: (1) integrating binary similarity matching (via Ghidra's BSim or a lightweight alternative) for version-tolerant function identification; (2) extending architectural support to AArch64 and RISC-V; (3) developing more robust enum layout reconstruction based on compiler layout algorithms; (4) exploring integration with ReOxide for decompiler-level Rust syntax emission; and (5) contributing upstream improvements to Ghidra's native Rust support through engagement with the open-source community.

References

1. National Security Agency. Ghidra Software Reverse Engineering Framework. Apache License 2.0. Available: <https://ghidra-sre.org/>, 2019.
2. Eagle C., Nance K. The Ghidra Book: The Definitive Guide. No Starch Press, 2020.
3. Klabnik S., Nichols C. The Rust Programming Language. No Starch Press, 2nd ed., 2023.
4. Recorded Future. "ALPHV (BlackCat) is the first professional ransomware gang to use Rust." The Record, December 2021.
5. Microsoft Threat Intelligence. "Hive Ransomware Gets Upgrades in Rust." Microsoft Security Blog, July 2022.
6. Klopsch A. et al. "Unveiling RIFT: Enhancing Rust Malware Analysis Through Pattern Matching." Microsoft Security Blog, June 27, 2025. Presented at RECON 2025. Tool available: <https://github.com/microsoft/RIFT>

7. Cybersecurity and Infrastructure Security Agency (CISA). “#StopRansomware: ALPHV Blackcat.” Alert AA23-353A, December 2023.
8. Guerrero-Saade J.A. et al. “0xA11C: Simplifying Reverse Engineering of Rust Malware.” Presented at Black Hat USA 2024. SentinelOne / Intezer initiative.
9. Ghidra SLEIGH Processor Specification Language Documentation. Available: <https://ghidra.re/courses/languages/html/sleigh.html>
10. Ghidra Decompiler Analysis Engine Documentation. Available: https://ghidra.re/ghidra_docs/api/
11. Ghidra FunctionID Plugin Documentation. Ghidra/Features/FunctionID/src/main/help/help/topics/FunctionID/FunctionIDPlugin.html
12. ReOxide: A Plugin System for the Ghidra Decompiler. SBA Research / NLnet NGIO Entrust. Available: <https://reoxide.eu/> and <https://codeberg.org/ReOxide/reoxide>
13. Rust RFC 2603: Rust Symbol Name Mangling v0. Available: <https://rust-lang.github.io/rfcs/2603-rust-symbol-name-mangling-v0.html>
14. Jung R., Jourdan J., Krebbers R., Dreyer D. “RustBelt: Securing the Foundations of the Rust Programming Language.” Proc. ACM Program. Lang. 2(POPL), pp. 1–34, 2018.
15. SecurityScorecard. “A Deep Dive into ALPHV/BlackCat Ransomware.” Technical analysis report, January 2024.
16. Ventuzelo P. “Rust Reverse Engineering in Practice.” Ringzer0 Training / BOOTSTRAP25, Austin TX, March 2025.
17. Maroo D. GhidRust: Rust Binary Analysis Extension for Ghidra. Available: <https://github.com/DMaroo/GhidRust>
18. Rutherford N.S. “Ghidra 11.0 Rust Support.” Blog post, January 2024. Available: <https://www.nathansrf.com/blog/2024/ghidra-11-rust/>
19. LLVM Project. Rust Demangler Implementation (RustDemangle.cpp). Patch D99981, 2021. Available: <https://reviews.llvm.org/D99981>
20. Threatrack Project. Ghidra FunctionID Database Repository. Available: <https://github.com/threatrack/ghidra-fidb-repo>
21. Varonis Threat Labs. “BlackCat Ransomware (ALPHV).” Technical analysis, April 2023. Available: <https://www.varonis.com/blog/blackcat-ransomware>
22. Andriesse D. et al. “An In-Depth Analysis of Disassembly on Full-Scale x86/x64 Binaries.” Proc. 25th USENIX Security Symposium, pp. 583–600, 2016.
23. Schulte E. et al. “Evolving Exact Decompilation.” Workshop on Binary Analysis Research (BAR), 2018.
24. NLnet Foundation. “ReOxide Project.” Available: <https://nlnet.nl/project/ReOxide/>
25. Liu Y. et al. “Decompiling Rust: An Empirical Study of Compiler Optimizations and Reverse Engineering Challenges.” arXiv preprint, 2025.

Geological and Mineralogical Sciences

Assessment of Groundwater Potential Zones in the Lankaran Hydrogeological Basin (Azerbaijan) Using GIS and AHP Techniques

Emil Fatullayev

PhD Candidate, Junior Researcher, Institute of Geology and Geophysics, Ministry of Science and Education of the Republic of Azerbaijan, Baku, Azerbaijan

Abstract

The Lankaran hydrogeological basin, located in the southeastern part of Azerbaijan, is a vital agricultural region characterized by diverse topographical and climatic features, transitioning from humid subtropical foothills to semi-arid flat plains. The primary objective of this study is to identify and delineate groundwater potential zones across the foothill and plain areas of five administrative districts (Astara, Lankaran, Masalli, Jalilabad, and Bilasuvar) using Geographic Information Systems (GIS) and the Analytic Hierarchy Process (AHP). Five thematic layers influencing groundwater occurrence—Lithology, Precipitation, Slope, Drainage Density, and Elevation (DEM)—were prepared and assigned weights of 35%, 25%, 20%, 15%, and 5%, respectively, based on their hydrogeological significance. The Weighted Overlay Analysis method was employed to integrate these parameters. The results classify the basin into four distinct groundwater potential zones: 'Low', 'Moderate', 'High', and 'Very High'. The visual distribution reveals that 'Very High' potential zones are strictly concentrated along riverbeds and drainage networks. 'High' potential zones dominate the southern plains, while 'Moderate' zones are widespread across the semi-arid northern sections. The generated map provides a reliable scientific framework for sustainable water resource management and agricultural planning in the region.

Keywords: Groundwater Potential, GIS, AHP, Lankaran Basin, Weighted Overlay, Hydrogeology.

Introduction

Groundwater is an indispensable resource for agricultural sustainability, particularly in regions with varying climatic conditions. The study area covers the foothill and plain terrains of the Lankaran hydrogeological basin, specifically focusing on five administrative districts in southeastern Azerbaijan: Astara, Lankaran, Masalli, Jalilabad, and Bilasuvar [2]. This region represents a unique hydro-climatic transition from the humid subtropical environment in the south to the semi-arid climate in the north (Bilasuvar). While the southern plains receive abundant rainfall, the northern sections face precipitation scarcity, making groundwater an essential alternative water source. This study applies a GIS-based AHP multi-criteria evaluation technique to map the groundwater potential of these critical plains and foothills.

Materials and Methods

A spatial multi-criteria decision analysis framework was implemented using ArcGIS. The primary data involved geological parameters, topographical metrics derived from Digital Elevation Models (DEM), and hydrological factors. The base lithological data was digitized from the fundamental geological maps [1,3]. Five main criteria were established and reclassified into potential scales ranging from 1 to 5. Using the Analytic Hierarchy Process (AHP) [4], weights were assigned to each parameter based on their relative importance in groundwater accumulation:

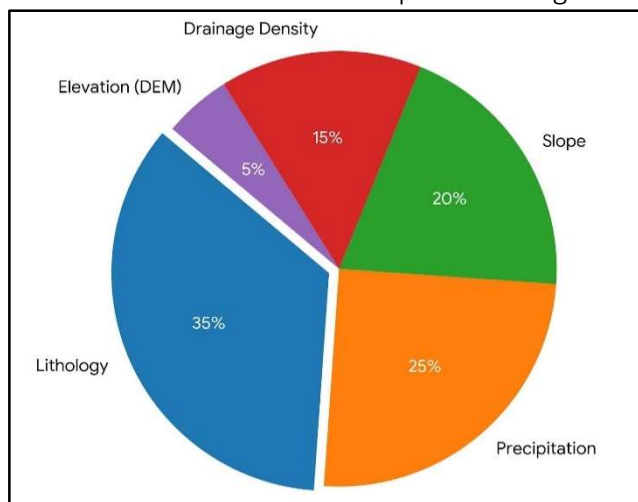


Figure 1. Percentage weights assigned to different thematic layers using AHP.

- **Lithology (35%):** Highest weight due to the critical role of permeability (e.g., Quaternary alluvial deposits vs. Tertiary rocks).
- **Precipitation (25%):** Accounts for the stark climatic contrast between the humid southern districts and the semi-arid northern plains.
- **Slope (20%):** Affects the runoff and infiltration rates in the foothill and plain transitions.
- **Drainage Density (15%)**
- **Elevation (5%)**

These raster layers were subsequently integrated cell-by-cell using the Weighted Overlay tool.

Results and Discussion

The final output is a Groundwater Potential Map, successfully classifying the Lankaran hydrogeological basin into four distinct zones based on their water-bearing capabilities:

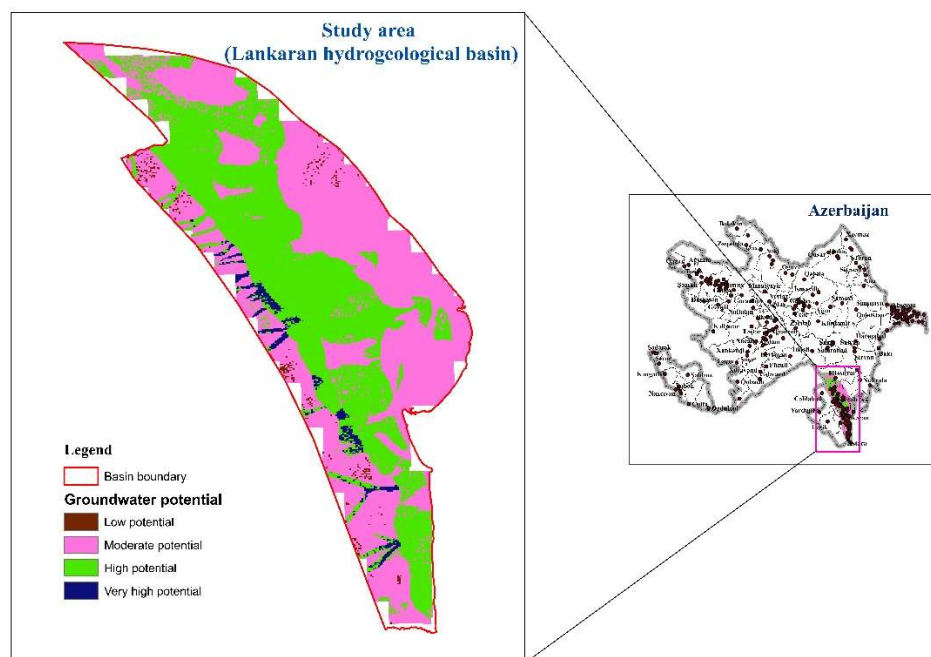


Figure 2. Groundwater potential map of the Lankaran hydrogeological basin.

Very High Potential: Strictly concentrated in linear patterns along the riverbeds and main drainage networks. These areas benefit from highly permeable alluvial sediments and constant surface water recharge, allowing maximum infiltration.

High Potential: Covers a significant portion of the central and southern plains (Lankaran, Astara, Masalli). These zones represent ideal conditions where high precipitation coincides with highly permeable Quaternary deposits and flat topography.

Moderate Potential: This is the most widespread zone on the map, dominating the northern plains (Jalilabad, Bilasuvar) where precipitation is significantly lower, as well as the transitional foothill areas.

Low Potential: Restricted to small, marginal patches along the western boundaries (foothills) where Tertiary impermeable rocks and higher slopes promote rapid surface runoff rather than infiltration.

Conclusion

The integration of legacy geological data with modern GIS and remote sensing techniques proved to be a highly effective approach for groundwater exploration. The generated model accurately reflects the hydrogeological realities of the Lankaran basin, perfectly capturing the transition from the high-potential humid plains to the moderate-potential semi-arid zones. The identification of the riverbeds and quaternary plains as high-potential zones will serve as a crucial guideline for hydrogeologists, local authorities, and water resource managers to strategically locate extraction wells and ensure the sustainable development of the region's agricultural infrastructure.

References

1. Alizadeh A.A., Guliyev I. S., Kadirov F.A., & Eppelbaum L.V. (2016). *Geosciences of Azerbaijan. Volume I: Geology*. Springer International Publishing.
2. Fatullayev E.B. (2025). On the development of a geo-filtration model of the porous aquifers in the Lankaran hydrogeological basin. Proceedings of the International Scientific Conference “Science and Innovation 2025”, Tashkent, Uzbekistan, 300.
3. **National Atlas of the Republic of Azerbaijan (2014)**. *Baku Cartography Factory, Baku*.
4. Saaty, T. L. (1980). *The Analytic Hierarchy Process*. McGraw-Hill, New York.

Political Studies

УДК 327:791.43

Халықаралық қатынастар мен кино өнерінің үйлесімі: дипломатия мен мәдениеттің тоғысуы

Молдаш Аида Айболқызы

6803101-Халықаралық қатынастар және дипломатия, Туран университеті

Ғылыми жетекші:

Түлекова Гулжан Хажмуратовна

ф.ғ.қ., қауымдастырылған профессор

Түйіндеме

Қазіргі халықаралық қатынастарда «жұмсақ күш» маңызды құралдардың біріне айналды. Ол мемлекеттердің беделі мен имиджін қалыптастыруда ерекше рөл атқарады. Кинематография осы жұмсақ күштің маңызды бөлігі ретінде қарастырылады. Фильмдер аудиторияның эмоциясы мен санасына әсер етіп, саяси қабылдауды қалыптастырады. Бұл мақалада кино өнерінің мәдени дипломатиядағы қызметі талданады. Зерттеу киноның халықаралық қатынастардағы ықпалын және оның идеологиялық мәнін көрсетеді. Автор кино арқылы мәдени байланыстарды нығайту мүмкіндіктерін қарастырады. Кілт сөздер: жұмсақ күш, кинематография, мәдени дипломатия, ұлттық имидж, халықаралық қатынастар

Кіріспе.

XXI ғасырда халықаралық қатынастарда дәстүрлі «қатал күш» немесе экономикалық рычагтардан бөлек ақпараттық және мәдени ықпалдың рөлі артып келеді. Джозеф Най [1] «жұмсақ күш» (soft power) тұжырымдамасында мемлекеттің мәдениеті, құндылықтары мен идеологиясы арқылы басқа елдерге ықпалын сипаттаған. Найдың концепциясын дамытқан: А.Грамши [2], Nicholas J. Cull [3], Роберт Кеохейн [4], Ян Кершоу [5], Х.Моргентау [6] сынды зерттеушілер. Кино өнері – тек ойын-сауық құралы емес, мемлекеттердің мәдени дипломатиясын жүзеге асырудағы стратегиялық құралға айналды. Герберт Шеллердің [7] айтуынша, «кино тек ойын-сауық үшін жасалады» деп ойлау оның идеологиялық әсерін жоққа шығарып, мәдени империализмнің ең күшті құралдарының бірін елемеуге тең. Шығармашылық иелері, режиссерлер мен сценаристер қоғамның қай тұсында жаралы екенін сезіп, шындықты батыл жеткізудің жаңа формасын ұсынады.

Балалар мен жасөспірімдер кино және мультфильм көре отырып, жақсылық пен жамандық, батылдық пен достық сияқты қасиеттерді ажырата біледі. Сол сияқты, фильмдер арқылы елдерге қатысты жаңа стереотиптер қалыптасып, аудитория халықаралық процестерді қабылдау тәсілін өзгертеді. Бұл – мәдени дипломатия мен халықаралық саясаттағы жаңа бәсекенің формасы: бұрын территория үшін күрес болса, бүгін адамдардың жүрегі мен санасы үшін күрес жүріп жатыр.

Ғылыми мәселе XXI ғасырда фильмдер мен мультфильмдер арқылы елдердің өз мәдениетін, идеологиясын және құндылықтарын көрсету арқылы жас ұрпаққа әсер ету және олардың көзқарасын қалыптастыру мәселесінің жеткілікті зерттелмеуінде жатыр. Сонымен қатар,

дамушы елдерде кино индустриясы көбіне бос комедиялар немесе коммерциялық франшизаларға бағытталса, жұмсақ күшті тиімді қолдана алған тек АҚШ сияқты елдер ғана өз мәдениетін стратегиялық түрде экспорттай алады. Ал қалған елдер бұл саланы дамыта алмай, өз мәдени дипломатиясын толық жүзеге асыра алмай отыр, зерттеу жүргізіп, осы механизмнің тиімділігін дәлелдей алмай отыр.

Зерттеу міндеттері: Киноның soft power құралы ретінде халықаралық қатынастардағы рөлін талдай отырып, әлемдік кино индустрияларының өз туындылары арқылы имидж қалыптастыру стратегияларын салыстыру.

Жұмсақ күш доктринасының теориялық негіздері және АҚШ пен Оңтүстік Корея тәжірибесі

Қазіргі жаһандану дәуірінде кинематография тек көрермен көңілін көтеретін құрал ғана емес, мемлекеттің халықаралық аренадағы имиджін қалыптастыратын, мәдени дипломатияның маңызды элементіне айналды. Халықаралық қатынастар теоретиктері киноны қарапайым өнер емес, әлемдік саясаттағы ықпал құралы ретінде түсінеді[9]. Оңтүстік Корея K-drama, Hallyu және АҚШ Голливуд фильмдері арқылы тек көркем дүние жасап қоймай, қоғамды ойлантатын, геосаяси жағдайды түсіндіретін, бұқаралық сананың бағыттарын өзгерте алатын идеологиялық құралды іске қосты.

Оңтүстік Кореяның мысалы жұмсақ күштің (soft power) қалай тиімді қолданылатынын айқын көрсетті[11]. Бастапқыда корей дорамалары тек көрерменді қызықтыруға бағытталған болса, уақыт өте келе олардың аудиториясының негізгі бөлігі әйелдер екені анықталды. Бұл Корея үшін мәдени стратегияның жаңа жолын ашты: көрерменді тек сюжеттік қызығушылық арқылы емес, эстетикалық және әлеуметтік нормалар арқылы да баурап алу. Көрерменнің тәжірибесі қарапайым көрініспен басталады: жас қыз немесе жас көрермен романтикалық немесе тарихи дораманың сюжетіне қызығады. Бірақ уақыт өте келе оның назарын актердің киімі, стилі, сыртқы келбеті тартып алады. Бұл қызығушылық көрерменді мәдени және эстетикалық зерттеуге итермелейді: киім үлгілерін қайдан алғанын, дәстүрлі корей стильдерін, сәнді аксессуарларды іздейді. Осылайша, қарапайым сюжет арқылы көрерменнің сұлулыққа және мәдениетке деген эстетикалық талғамы қалыптасады.

Ханок-стей ресми түрде туристердің тұру түрі ретінде 2009 жылы тіркелген, қазіргі таңда мұндай орындар саны 700-ден асады.[12]. Ханок-стей дәстүрлі корей үйлерінің үш түрлі типін бейнелейді. 1990-жылдардан бастап қалыптасқан «корейлік толқын» (Hallyu) негізінен жеке бизнес арқылы танымал болды. Халлюның пайда болуы 1990-жылдардағы БАҚ либерализациясына байланысты[13]. 2003 жылы корей телевизиялық бағдарламаларының экспортынан 37,5 млн.доллар табыс түсті[14], 1999 жылы бұл көрсеткіш 12,7 млн.доллар болған. Халлюның жарқын символдарының бірі – орындаушы Psy және оның «Gangnam Style» композициясы[15], 2012 жылдан бері YouTube-та 2,5 млрд-тан астам қаралым жинады. BTS – YouTube тарихында ең көп қаралым жинаған орындаушылардың бірі. 2026 жылғы наурыз мәліметі бойынша BTS-тің ресми арналарында (BANGTANTV + HYBE LABELS) жалпы 67 миллиардтан астам қаралым жиналған – ең ірі көрсеткіштердің бірі YouTube тарихында[16]. Кино өнері туған сәттен бастап Голливуд пен АҚШ осы салада көшбасшыға айналды[17]. Бұл кездейсоқтық емес. Жоғары өндіріс, қуатты идеологиялық механизм, актерлік мектеп, маркетинг – бәрі бірігіп Америка киносының жаһандық ықпалын қалыптастырды. Бүгін Голливуд тек өнер саласы емес, ол – халықаралық қатынастардың символдық орталығы. Көпұлтты көрермен АҚШ-ты ең алдымен оның киносы арқылы таниды. Әр ел кино индустриясы арқылы өзіне белгілі бір рөлді бекітеді: біреулер – үнемі құтқарушы, біреулер – құрбан, біреулер – экзотикалық, біреулер – антагонист.

2018 жылы Голливуд киносының жалпы табысы 41,1 млрд долларды құрады, оның 29,2 млрд – халықаралық нарық, ал 11,9 млрд – АҚШ пен Канада аумағы. Еуропа елдеріндегі сатылған билеттердің 66%-ы американдық фильмдерге тиесілі.

Киноның қоғамдық сана мен жеке тұлға қалыптастырудағы рөлі: Гуманитарлық-психологиялық талдау

Бақылау арқылы оқыту теориясы (Social Learning Theory), американдық психолог Альберт Бандура ұсынған, адамдардың жаңа дағдыларды, мінез-құлық үлгілерін және шешімдерін басқаларды бақылау арқылы үйренетінін көрсетеді. Бұл теорияға сәйкес, әсіресе балалар көрген нәрселерін есте сақтап, кейін өмірде сол үлгілерді қолдануы мүмкін. Фильмдер мен сериалдар осы процесс үшін өте қолайлы құрал болып табылады, өйткені олар көрерменге нақты модельдер ұсынады және белгілі бір елдер мен халықтар бейнесін көрсетеді. Бала кино немесе мультфильм көрген арқылы жақсылық пен жамандық, әр түрлі қасиеттерді ажырата білуге үйренеді. Сол сияқты, елдерге қатысты да жаңа стереотиптер қалыптасуы мүмкін: қай ел жақсы, кім терроршы, кім мықты, кім әлсіз – бәрі кино арқылы қабылданады. Сондықтан, әр елдің ақпаратты дұрыс және сауатты жеткізу стратегиясы маңызды.

1990–2010 жылдар аралығы кино және мультфильм индустриясының алтын дәуірі болды. Disney мультфильмдері мен Nickelodeon сериалдары, сондай-ақ Голливуд пен Болливудтың фэнтези, суперқаһармандық және блокбастер фильмдері кең таралып, көрермендердің санасын қалыптастыруда ерекше рөл атқарды. Сол кезеңде өскен Y (миллениалдар) және Z буын балалық шағынан бастап визуалды мәдениетті қабылдады, фильмдер мен мультфильмдер арқылы өмірлік құндылықтар мен моральдық нормаларды түйсікті түрде меңгерді.

Мен, өз тәжірибеме сүйене отырып айта аламын: мен 2007 жылы туылып, дәл осы “прайм” жылдардың ең үздік фильмдері мен мультфильмдерін көріп өстім. Сол фильмдер мен мультфильмдер тек көңіл көтеріп қана қоймай, менің және сол буындағы әрбір адамның эмоциялық миграциясын туғызды. Көрермен фильм көргенде уақытша басқа әлемге саяхат жасайды, кейіпкерлердің сезімдері мен құндылықтарын өзіне қабылдайды, олардың әрекеттерінен «жақсы мен жаман» ұғымдарын түсінеді. Мысалы, Гарри Поттер, Disney, DreamWorks Animation, PIXAR әлеміндегі әсем орындар немесе Нью-Йорктің биік ғимараттары мен Рождестводағы үлкен шырша – бұл көріністер тек визуалды әсер беріп қана қоймай, эмоциялық байланыс тудырып, армандар мен елге деген қызығушылықтар қалыптастырады. Әрбір көрермен фильмді өз деңгейінде қабылдайды: біреуі мәдениетке қызығады, біреуі қала көріністеріне, енді біреуі актерлерге ғашық болып, сол елдің мәдениеті мен саясатына қызығады. Сүйікті актердің бір саяси пікір айтуы, фанаттар тарапынан қолдауға әкелуі мүмкін. Сондықтан кино тек өнер емес, ықпал етудің нәзік әрі қуатты формасы болып табылады.

Қазақ кино саласындағы ең маңызды тарихи-мәдени туындылардың бірі — қыз жібек фильмі. Бұл картинада қазақ қоғамының нақты дәстүрлері мен өмір салты тек мазмұн арқылы емес, нақты көріністер арқылы беріледі: төлегеннің әкесінен рұқсат сұрауы — отбасылық иерархия мен әке билігінің белгісі болса, жібек ауылы көрсетілетін сахналарда қыз жасауы, киім үлгілері арқылы «қыз көрсету» дәстүрінің элементтері байқалады. Сонымен қатар, бекежан мен төлеген арасындағы қақтығыс арқылы руаралық қатынас пен некенің әлеуметтік мәні, яғни қалың мал мен келісім мәселесі көрінеді. Фильмнің визуалды кеңістігі де ерекше рөл атқарады: түсірілімдер іле өзені бойында, қапшағай өңірі және жаркент аймағы сияқты табиғи аймақтарда жүргізіліп, кең дала, өзен жағасы, көш көріністері арқылы көшпелі өркениеттің шынайы географиясы көрсетіледі. Осы нақты локациялар мен дәстүрлік элементтердің үйлесуі фильмді жай көркем шығарма емес, қазақтың тарихи-мәдени өмірін визуалды түрде дәл жеткізетін бірегей туынды деңгейіне көтереді.

Қазіргі медиа тұтыну мәдениетінің трансформациясы жастарды сыни саясаттан гөрі көркем және визуалды мазмұнға тәуелді етеді. Бұл жағдай саясат пен дипломатияны жеткізудің жаңа тәсілдерін талап етеді, мысалы, кино арқылы қоғамды бір бағытқа бейімдеу мүмкіндігі. Фильмдер кейде идеяларды нормализациялайды, қоғамдағы ақауларды әшкерелейді,

ойлануға мәжбүр етеді. Осы эмоциялық миграция мемлекеттердің бір-біріне деген көзқарасын өзгерте алады, стереотиптерді бұзады немесе жаңа стереотиптер жасайды.

Антиутопиялық кинематография және жаһандық саясат: foresight және дипломатиялық интерпретациялар

XXI ғасыр халықаралық қатынастар жүйесі үшін бұрын-соңды болмаған сын-қатерлер кезеңіне айналды. Климаттың өзгеруі, мұздықтардың жылдам еруі, жаһандық миграция, су тапшылығы, Таяу Шығыстағы тұрақсыздық, АҚШ пен Қытай арасындағы геосаяси бәсекелестік, ядролық қару, биотехнология және жасанды интеллект сияқты факторлар әлемдік тәртіптің болашағына қатысты маңызды сұрақтарды күшейтті. Осындай тарихи жағдайда киноиндустрияда антиутопиялық жанрдың күшеюі кездейсоқ емес. Антиутопиялық фильмдер қазіргі халықаралық саясаттағы ең қауіпті сценарийлерді көркем түрде көрсетіп, болашақта қандай қателіктерге жол бермеу керектігін визуалды деңгейде түсіндіретін мәдени дипломатия құралына айналды. Тіпті 2025 жылы Дональд Трамп «The Hunger Games» фильміне сілтеме жасап, жастарды іріктеу туралы өз мәлімдемесінде «кейбір идеялар жаман емес» деп айтқан. Бұл – антиутопияның саясаттың өзіне қалай әсер ете алатынының дәлелі. Бұл жанр – фантастика емес, саяси ескерту.

Антиутопия халықаралық саясатта кездесетін негізгі қатерлердің символдық моделі болып табылады. Тоталитаризм, ресурстар үшін соғыс, экологиялық апат, технологиялық бақылау, ақпараттық манипуляция, пропаганданың күшеюі, халықтың саяси пассивтілігі — мұның барлығы дипломатияда талқыланатын шынайы мәселелер. Әсіресе «Голодные игры» фильмінде көрсетілген Панем жүйесі — ресурстарды орталықтандырған, азаматтарды қорқыныш арқылы басқарған классикалық тоталитарлық мемлекет моделі. Бұл қазіргі әлемдегі ақпараттық бақылау, цензура, авторитарлық билік тенденцияларын еске салады. Фильм қоғам үнсіз қалғанда биліктің технологиямен бірігіп, еркіндікті толықтай шектеуі мүмкін екенін көрсететін саяси метафора ретінде қолданылады.

«Бегущий в лабиринте» фильмдер сериясы ғылыми зерттеулердің этикасыз жүргізілуінің қауіпті салдарын айқын ашады. WCKD ұйымының балаларға жасайтын тәжірибелері адамзаттың игілігі деген желеумен ақталса да, биліктің шынайы мақсаты — басқару мен бақылауды күшейту. Бұл сюжет тарихтағы нацистік Германия тәжірибелерін, АҚШ-тың МК-Ultra жобасын, қазіргі биологаториялардағы құпия бағдарламаларды еске түсіреді. Фильмнің негізгі саяси ойы: егер ғылым этикалық бақылаусыз дамыса, ол адамзатты құтқармайды, керісінше қауіп төндіреді. Бұл халықаралық биоқауіпсіздік дипломатиясы үшін өзекті ескерту.

«Сотня» шығармасында көрсетілетін әлем — ядролық соғыстан кейінгі экологиялық күйреудің моделі. Бұл фильм тек фантастика емес, қазіргі жаһандық трендтердің көрінісі. БҰҰ деректеріне сүйенсек, 2050 жылға қарай 5,5млрд. адам су тапшылығы салдарынан көшуге мәжбүр болуы мүмкін. Антарктидадағы мұздықтардың рекордтық жылдамдықпен еруі, Африка және Таяу Шығыстағы ресурстар үшін күрестің күшеюі — «Сотня» көтеретін мәселелердің бүгінгі күнде айқын сезіліп отырғанын дәлелдейді. Экологиялық күйреу — дипломатияның жаңа өлшемі, ал фильм осы шындықты түсінудің эмоциялық моделі.

Қорытынды

Жүргізілген талдау кинематографияның қазіргі халықаралық қатынастар архитектурасында жұмсақ күштің ең пәрменді құралдарының біріне айналғанын көрсетеді. Soft power өзінің табиғатында сендіру, еліктіру және эмоциялық байланыс орнату сияқты тікелей емес тетіктерге сүйенеді. Осы тұрғыдан алғанда кино көрерменнің санасына әсер етудің ең тиімді медиасы болып табылады. Зерттеу нәтижелері киноиндустрияның елдің халықаралық беделіне, туристік ағымына және экономикалық дамуына тікелей әсер ететінін нақты дәлелдеді. АҚШ пен Оңтүстік Корея стратегияларының тиімділігі олардың киноны жүйелі

мемлекеттік саясаттың бір бөлігіне айналдырғанында: бәсекеге қабілетті сценарийлер, сапалы өндіріс, қуатты маркетинг, жаһандық дистрибуция және ко-продакшн жүйесі. Бұл модель киноны өнім ғана емес, стратегиялық ресурс ретінде қолдануға мүмкіндік береді.

ӘДЕБИЕТТЕР :

1. Nye J. Soft power: the means to success in world politics. Public Affairs, 2004. 191 p.; Nye J. The paradox of American power. N.Y.: Oxford University Press, 2002. 240 p.; Nye J. Bound to lead: the changing nature of American power. Basic Books, 1990. 336 p.[Электронный ресурс]. URL:<https://www.jstor.org/stable/1148580>
2. Грамши А. Тюремные тетради. М.: Издательство политической литературы, 1991. 560 с.[Электронный ресурс]. URL: <https://share.google/yUL0mbjoqYi2OQQ9z>
3. Nicholas J. Cull. The Cold War and the United States Information Agency: American Propaganda and Public Diplomacy, 1945-1989 (Cambridge, 2008)[Электронный ресурс]. URL:<https://www.cambridge.org/core/books/cold-war-and-the-united-states-information-agency/464FCD1CF9C551AD461D11EB3924F6D2>
4. Keohane, O. Power and interdependence / O. Keohane Robert, S. Joseph Nye.-N.Y.-London, 2001.-334 p.Мо.[Электронный ресурс]. URL: https://books.google.kz/books/about/Power_and_Interdependence.html?id=VG8kAQAAIAAJ&redir_esc=y
5. Ян Кершоу [Электронный ресурс].URL: https://en.wikipedia.org/wiki/Ian_Kershaw
6. Morgenthau, H. J. (1904–1980). Politics Among Nations: The Struggle for Power and Peace. Alfred A. Knopf[Электронный ресурс].URL:https://en.wikipedia.org/wiki/Hans_Morgenthau?utm_source
7. Schiller, H. (1980). Manipulatory soznaniia / Manipulators of Consciousness (цитата о кинопродукции как культурном империализме)—[Электронды ресурс]. URL: <https://psyfactor.org/kinoprop/kino.htm>
8. Bandura, A. (1986). Social foundations of thought and action: A social cognitive theory. Englewood Cliffs, NJ: Prentice-Hall—[Электронный ресурс]. URL: <https://www.simplypsychology.org/bandura.html>
9. Abida Noureen (2020)The Role of Cinema in Reflection of Political Ideologies—[Электронный ресурс].URL:https://www.academia.edu/43927319/The_Role_of_Cinema_in_Reflection_of_Political_Ideologies?utm_source
10. President Moon appoints BTS as special envoy for trip to US(2021,sep 15)—[Электронный ресурс]. URL:https://www.korea.net/NewsFocus/policies/view?articleId=203835&utm_source
11. [Электронный ресурс]. URL:<https://unitesi.unive.it/handle/20.500.14247/24712>
12. Seoul to Increase Homestay and Hanokstay Businesses in the City to 700 (2014)—[Электронный ресурс]. URL:https://english.seoul.go.kr/seoul-increase-homestay-hanokstay-businesses-city-700/?utm_source
13. [Электронный ресурс]. URL:https://en.wikipedia.org/wiki/Korean_Wave?utm_source
14. Hybridity and the rise of Korean popular culture in Asia Doobo Shim NATIONAL UNIVERSITY OF SINGAPORE — [Электронный ресурс]. URL:<https://share.google/04mTX1ErX9yIF4XVa>
15. The Korean Wave as the Globalization of South Korean Culture—[Электронный ресурс]. URL:https://journal.moestopo.ac.id/index.php/wacana/article/download/2671/1326?utm_source
16. BTS YouTube Statistics 2026 – Analytical Report [March Update]—[Электронный ресурс]. URL:https://armybangtanworld.com/bts-youtube-statistics/?utm_source

17. Written by Will Gosner. Why Is the American Film Industry Located in Hollywood?— [Электронный ресурс].URL:https://www.britannica.com/art/Why-Is-the-American-Film-Industry-Located-in-Hollywood?utm_source

Chemical Sciences

END-OF-LIFE POLYETHYLENE-BASED COMPOSITIONS

Dr. İrade Abdullayeva Gurban

Associate professor, Azerbaijan State Oil and Industry University

Cemaleddin Ebdurrehmanov Akif

Azerbaijan State Oil and Industry University

Abstract: As with all polymeric materials, polyethylene loses its functional properties after a certain period of use and becomes waste. The degradation of polyethylene is caused by environmental factors and various processes occurring under operational conditions. For instance, oxidation processes occur in the polymer under the influence of ultraviolet (UV) radiation. This oxidation results in the formation of carbonyl, hydroxyl, and acid groups, leading to a decline in quality. Another critical process is the cleavage of polymer chains. Chain scission reduces the average molecular weight, which ultimately results in the loss of mechanical properties. Furthermore, the material suffers a reduction in tensile strength and elongation at break. These changes cause the polymer to become brittle and less durable over time. The loss of initial properties transforms polyethylene into waste. Given its extensive range of applications, polyethylene waste constitutes a significant portion of total plastic waste.

Keywords: polyethylene, end-of-life, composition, filler, modification, recycling.

Polyethylene is one of the most widely used thermoplastic polymers in modern industry, and its production volume continues to grow annually. This growth is particularly linked to its extensive use in the packaging industry, resulting in large quantities of polyethylene waste. The recycling of end-of-life polyethylene is vital from both economic and environmental perspectives. Research indicates that improper management of polyethylene waste leads to the contamination of soil and water resources, as well as the formation of microplastics. Utilizing waste materials in the preparation of polyethylene-based compositions is considered an effective approach to solving these problems. Studies note that the direct use of recycled polyethylene can lead to weakened mechanical properties due to structural degradation during its service life and the recycling process. This degradation is characterized by chain scission, oxidation, and changes in the degree of crystallinity [1].

To address these issues, various modification methods are applied. The most common method is the addition of a wide range of fillers. Using mineral fillers (such as CaCO_3 , talc, silica, etc.) increases the thermal stability and strength of the composition. Additionally, the use of organic fillers can enhance the biodegradability of the processed material. Research shows that significant improvements in physical and mechanical properties occur when there is appropriate interfacial interaction between the matrix and the filler [2]. Another important direction in the preparation of polyethylene-based compositions is chemical modification, where functional groups are introduced into the polymer chain or copolymers are created. For example, maleic anhydride-grafted polyethylene ensures better adhesion between the filler and the matrix, increasing the material's tensile strength and impact resistance [3].

With the advancement of chemical engineering and polymer technology, blending waste polyethylene with other polymers has also been tested. Examples include the use of polyethylene terephthalate (PET) or polypropylene (PP). Mixtures of these substances and polyethylene are

prepared, and their properties are optimized. Compatibilizers are used during this process to achieve interfacial compatibility. Products obtained through this method can be used in the automotive, packaging, and construction sectors [4]. Recycling processes include mechanical, chemical, and energy recovery methods. Mechanical recycling is the most common, involving the grinding and reshaping of waste materials. However, this method can lead to some degradation of properties. Chemical recycling involves breaking down the polymer into monomers or other chemicals, allowing for the production of higher-quality products [5]. Energy consumption and environmental impact are also critical issues during the recycling of polyethylene composites. Research shows that recycling requires less energy and reduces carbon emissions compared to primary production, playing a vital role in sustainable development strategies [6].

Challenges also exist in the recycling of waste polyethylene, including material contamination, the mixing of different types of polymers, and the presence of additives. Modern technologies, such as automated sorting systems and advanced purification methods, are applied to solve these problems. One current research direction is the use of nanofillers. Nanoparticles (e.g., nanoclay, carbon nanotubes) significantly improve the mechanical and barrier properties of the composite. Such materials can be applied in fields requiring high performance. Studies show that even small amounts of nanofillers seriously impact material characteristics [7].

In research aimed at improving the properties of end-of-life polyethylene compositions, special attention is paid to strengthening the interaction between the polymer matrix and the filler. It is known that weak adhesion between the surface of filler particles and the polyethylene matrix lowers mechanical performance. Therefore, surface modification methods are widely applied. For instance, mineral fillers treated with silane-based compounds increase the tensile strength and elastic modulus of the composite [8]. The use of fibrous fillers in waste polyethylene compositions is another important research area. Natural fibers (flax, kenaf, jute, etc.) are environmentally safe, possess low density, and offer satisfactory mechanical properties. Adding these fibers to the polyethylene matrix increases stiffness, though it may decrease impact resistance in some cases. Chemical treatment of the fiber surface and the use of compatibilizers are recommended to optimize this balance [9]. The modification of waste polyethylene with lignin and its derivatives has attracted significant interest in recent years. Lignin is a biopolymer with a natural aromatic structure that acts as both a reinforcing agent and an antioxidant. Research shows that adding lignin to polyethylene increases UV resistance and slows down oxidation. Furthermore, improving lignin dispersion positively affects the homogeneity and mechanical properties of the composite [10]. Thermo-oxidative processes also seriously impact the characteristics of end-of-life polyethylene composites. High temperatures and oxygen during recycling cause chain scission, leading to reduced molecular weight. Antioxidant additives are used to prevent this; for example, phenolic antioxidants and phosphite-based stabilizers increase the thermal stability of polyethylene [11]. The rheological properties of polyethylene-based composites directly affect their processing. The melt flow index (MFI) of recycled materials usually changes, which can complicate the molding process. Plasticizers or chain extenders are applied to resolve this. Studies show that the processability of recycled polyethylene can be significantly improved with appropriate additives [12].

Due to the development of nanotechnology, the application of nanofillers in polyethylene-based composites has expanded further. Because nanoscale particles have a high specific surface area, they create stronger interactions with the polymer matrix. This improves mechanical strength, thermal stability, and gas barrier properties. For example, a reduction in oxygen permeability has been observed in polyethylene composites modified with nanoclay, which is crucial for the packaging industry [13]. Combining waste polyethylene with other waste materials is also an economically efficient approach. For instance, rubber waste and polyethylene blends can produce composites with elastic properties for use in road surfaces and vibration-absorbing

structures. Additionally, glass fiber-reinforced polyethylene composites are used in high-strength applications [14]. Research indicates that multiple processing cycles negatively affect material properties due to cumulative chain scission and oxidation. However, the addition of stabilizers and compatibilizers can partially compensate for these effects [15]. From an environmental standpoint, converting polyethylene waste into composite materials prevents them from entering landfills and conserves natural resources. This approach aligns with circular economy principles by reintegrating waste into the value chain. This direction is increasingly prioritized in modern industry, with innovative technologies being implemented globally [16]. Nevertheless, limitations such as material non-homogeneity, contamination levels, and uneven distribution of additives exist. High-tech processing equipment and quality control systems are required to overcome these issues. Overall, research suggests that a comprehensive approach—from collection and sorting to purification, modification, and final production—is necessary to obtain high-quality and competitive composite materials.

Practical application requires success at the industrial scale, not just in laboratories. Recent research has focused on developing technologies suited for real production conditions. In the construction sector, waste polyethylene composites are increasingly used in piping systems, insulation, and structural elements due to their water resistance, chemical stability, and durability. Proper fillers and stabilizers can significantly extend the service life of these materials [17]. The automotive industry is also showing growing interest in recycled polyethylene composites for lightweight and durable components, such as interior panels and protective coatings. This reduces production costs and environmental impact. While recycled composites may differ slightly from virgin materials, proper modification allows them to meet required standards [18]. In the packaging industry, hygiene and safety requirements are paramount. While direct food contact for recycled polyethylene is often restricted, multi-layer structures or the use of virgin material in the inner layer can mitigate this. Nanofillers are particularly effective here for improving barrier properties [19]. In agriculture, these composites are used for greenhouse films, irrigation pipes, and protective covers, where UV resistance and mechanical strength are key. Adding UV stabilizers significantly reduces degradation rates in outdoor environments [20].

The economic efficiency of waste polyethylene compositions is a major research topic. Analysis shows that while initial investment costs for recycling are high, these technologies are more cost-effective in the long run due to reduced raw material costs and waste management expenses. Legislation and subsidies encouraging recycling also support this sector [21]. Technological innovations like reactive extrusion allow for simultaneous chemical modification during processing, facilitating the introduction of functional groups into the polyethylene chain and improving compatibility between the filler and matrix [22]. Increasing the biodegradability of waste polyethylene is another vital direction. Since traditional polyethylene is resistant to biological breakdown, incorporating biodegradable additives or natural polymers like starch can increase decomposition rates [23]. Alternatively, energy recovery via pyrolysis—breaking down polyethylene into gaseous and liquid fuels at high temperatures without oxygen—is an option, though it is environmentally debated as it prioritizes energy over material reuse [24]. The quality of end-of-life polyethylene composites is heavily dependent on the composition of the initial waste. Mixed polymer waste creates interfacial compatibility issues, requiring automated sorting systems (e.g., infrared spectroscopy) or compatibilizers to maintain mechanical properties [25].

In conclusion, end-of-life polyethylene-based compositions hold great industrial potential. Realizing this potential requires a complex consideration of technological, economic, and environmental factors. Innovative approaches and proper material selection can transform waste polyethylene into high-quality, competitive materials. Research proves that waste polyethylene should be viewed not just as secondary raw material, but as a promising resource for high-value composites. Key factors influencing these composites include filler type, dispersion, matrix

interaction, and processing conditions. Surface modification and compatibilizers play a crucial role in strengthening the interfacial boundaries, directly impacting overall material strength [26]. Multi-component systems combining different fillers and polymers can create synergistic effects, such as increased stiffness and strength, allowing for the optimization of materials for specific applications [27].

Environmentally, this process reduces waste volume, optimizes natural resource use, and lowers carbon emissions and energy consumption. Life cycle assessments show that recycled polyethylene materials carry a lower environmental burden than those from virgin sources [28]. Future research will focus on more efficient sorting, new-generation compatibilizers, and biodegradable composites. Nanocomposite technology, in particular, offers new perspectives for improving mechanical and barrier properties. Furthermore, the application of digital technologies and artificial intelligence in materials science allows for the modeling of composite structures, reducing experimental trials and facilitating the development of optimal materials [29-30]. Finally, quality control through international testing methods is essential to ensure consistent physical, mechanical, and thermal properties for industrial and manufacturing stability.

Our research concludes that end-of-life polyethylene compositions represent a leading research direction in environmental engineering, materials science, and chemical engineering. It is evident that with effective recycling, waste polymers can yield not only secondary products but also high-quality materials.

References

1. Hopewell J., Dvorak R., Kosior E. Plastics recycling: challenges and opportunities. *Philos. Trans. R. Soc. B Biol. Sci.* 2009;364:2115–2126. doi: 10.1098/rstb.2008.0311.
2. Al-Salem S.M., Lettieri P., Baeyens J. Recycling and recovery routes of plastic solid waste. *Waste Manag.* 2009;29:2625–2643. doi: 10.1016/j.wasman.2009.06.004.
3. Xanthos M. *Functional Fillers for Plastics*. Wiley-VCH; 2005. doi: 10.1002/0471722148.
4. Ragaert K., Delva L., Van Geem K. Mechanical and chemical recycling of solid plastic waste. *Waste Manag.* 2017;69:24–58. doi: 10.1016/j.wasman.2017.07.044.
5. Singh N., Hui D., Singh R., Ahuja I.P.S., Feo L., Fraternali F. Recycling of plastic solid waste: A state of art review. *Compos. Part B Eng.* 2017;115:409–422. doi: 10.1016/j.compositesb.2016.09.070.
6. PlasticsEurope. *Plastics – the Facts 2020*. PlasticsEurope; 2020.
7. Ray S.S., Okamoto M. Polymer/layered silicate nanocomposites: a review. *Prog. Polym. Sci.* 2003;28:1539–1641. doi: 10.1016/S0079-6700(03)00015-9.
8. George J., Sreekala M.S., Thomas S. A review on interface modification and characterization of natural fiber reinforced plastic composites. *Polym. Eng. Sci.* 2001;41:1471–1485. doi: 10.1002/pen.10846.
9. Faruk O., Bledzki A.K., Fink H.P., Sain M. Biocomposites reinforced with natural fibers: 2000–2010. *Prog. Polym. Sci.* 2012;37:1552–1596. doi: 10.1016/j.progpolymsci.2012.04.003.
10. Thakur V.K., Thakur M.K., Raghavan P., Kessler M.R. Progress in green polymer composites. *Compos. Part B Eng.* 2014;70:16–33. doi: 10.1016/j.compositesb.2014.01.027.
11. Gugumus F. Thermooxidative degradation of polyethylene. *Polym. Degrad. Stab.* 1990;28:1–16. doi: 10.1016/0141-3910(90)90105-3.
12. Vilaplana F., Karlsson S. Quality concepts for the improved use of recycled polymeric materials. *Macromol. Mater. Eng.* 2008;293:274–297. doi: 10.1002/mame.200700393.
13. Alexandre M., Dubois P. Polymer-layered silicate nanocomposites: preparation, properties and uses. *Mater. Sci. Eng. R Rep.* 2000;28:1–63. doi: 10.1016/S0927-796X(00)00012-7.
14. Pritchard G. *Reinforced Plastics Durability*. Springer; 1999. doi: 10.1007/978-94-011-4425-6.

15. La Mantia F.P. Handbook of Plastics Recycling. Rapra Technology; 2002. doi: 10.1002/9780470697895.
16. Ellen MacArthur Foundation. The New Plastics Economy: Rethinking the future of plastics. 2016.
17. Saheb D.N., Jog J.P. Natural fiber polymer composites: A review. *Adv. Polym. Technol.* 1999;18:351–363. doi: 10.1002/(SICI)1098-2329(199924)18:4<351::AID-ADV6>3.0.CO;2-X.
18. Pickering K.L. Properties and performance of natural-fibre composites. Woodhead Publishing; 2008. doi: 10.1533/9781845694594.
19. Arvanitoyannis I.S., Bosnea L. Migration of substances from food packaging materials to foods. *Food Chem.* 2004;87:345–356. doi: 10.1016/j.foodchem.2004.01.050.
20. Klemchuk P.P. UV degradation of polymers. *Polym. Degrad. Stab.* 1990;27:183–202. doi: 10.1016/0141-3910(90)90065-A.
21. Shah A.A., Hasan F., Hameed A., Ahmed S. Biological degradation of plastics: A comprehensive review. *Biotechnol. Adv.* 2008;26:246–265. doi: 10.1016/j.biotechadv.2007.12.005.
22. Al-Salem S.M., Antelava A., Constantinou A., Manos G., Dutta A. A review on thermal and catalytic pyrolysis of plastic solid waste. *J. Anal. Appl. Pyrolysis.* 2017;124:18–28. doi: 10.1016/j.jaap.2017.03.001.
23. Ragaert K., Delva L., Van Geem K. Recycling of plastic waste: current status and challenges. *Waste Manag.* 2017;69:24–58. doi: 10.1016/j.wasman.2017.07.044.
24. Nielsen L.E., Landel R.F. Mechanical Properties of Polymers and Composites. CRC Press; 1994. doi: 10.1201/9780203756783.
25. Fu S.Y., Feng X.Q., Lauke B., Mai Y.W. Effects of particle size, particle/matrix interface adhesion and particle loading on mechanical properties of particulate–polymer composites. *Compos. Part B Eng.* 2008;39:933–961. doi: 10.1016/j.compositesb.2008.02.002.
26. Astrup T.F., Tonini D., Turconi R., Boldrin A. Life cycle assessment of plastic waste management. *Waste Manag.* 2015;37:104–115. doi: 10.1016/j.wasman.2014.11.005.
27. Kalpakjian S., Schmid S.R. Manufacturing Engineering and Technology. Pearson; 2014.
28. Andrady A.L. Microplastics in the marine environment. *Mar. Pollut. Bull.* 2011;62:1596–1605. doi: 10.1016/j.marpolbul.2011.05.030.
29. Geyer R., Jambeck J.R., Law K.L. Production, use, and fate of all plastics ever made. *Sci. Adv.* 2017;3:e1700782. doi: 10.1126/sciadv.1700782.
30. Hopewell J., Dvorak R., Kosior E. Plastics recycling: challenges and opportunities. *Philos. Trans. R. Soc. B.* 2009;364:2115–2126. doi: 10.1098/rstb.2008.0311.

Investigation of the Properties of Composite Materials Based on Isoprene Rubber Mechanochemically Modified with Heavy Pyrolysis Tar

I.A.MEMMEDHUSEYNOVA

[0000-0003-1683-9890] Department of “Technology of organic substances and high molecular compounds”, Azerbaijan State Oil and Industry University

Ş.Z.GOYUSHOV

[0000-0001-9828-9524] Department of “Technology of organic substances and high molecular compounds”, Azerbaijan State Oil and Industry University

Abstract

Isoprene rubber is one of the most important elastomeric materials in modern industry, characterized by high elasticity, good mechanical strength, wear resistance, and stability under repeated deformation. These properties enable its wide application in the automotive industry (tires, sealing elements, vibration-damping components), in the production of rubber-technical goods (hoses, conveyor belts), and as an insulating material in the cable industry. However, despite these advantages, isoprene rubber has several limitations, including relatively low resistance to high temperatures and oxidative processes, insufficient compatibility with certain fillers and polymers, and deterioration of physical-mechanical properties under specific operating conditions. These shortcomings limit the durability and application range of the material.

In recent years, significant attention has been paid to modern modification methods for improving the properties of isoprene rubber, particularly mechanochemical modification. This method is based on the simultaneous occurrence of mechanical effects and chemical transformations, resulting in structural changes such as chain scission, branching, and the formation of active functional groups in polymer chains. These changes significantly improve interfacial interactions within the material, filler dispersion, adhesion between components, and overall physical-mechanical and operational properties. In addition, the utilization of industrial wastes and by-products is considered an important direction in materials science from both economic and environmental perspectives.

In this study, heavy pyrolysis tar formed as a by-product in large quantities during the pyrolysis of hydrocarbon feedstocks in petrochemical processes was used as a modifying component for isoprene rubber-based composites. This material consists of a complex mixture of aromatic hydrocarbons and high-molecular-weight resinous compounds and has potential as both a plasticizer and a structure-forming component in elastomer systems. Its incorporation into the isoprene rubber matrix under mechanochemical modification conditions affects the vulcanization process, structure formation, and final properties of the composites. A comparative analysis of the obtained materials was conducted, and their physical-mechanical properties were evaluated. The results show that the combined use of heavy pyrolysis tar and mechanochemical modification improves material properties and enables efficient utilization of industrial waste, thereby enhancing the environmental and economic significance of the study.

Keywords: heavy pyrolysis tar, isoprene rubber, mechanochemical modification, composite materials, elastomers, physical-mechanical properties, vulcanization.

Introduction

In the Republic of Azerbaijan, the chemical and petrochemical industries are among the strategically important sectors in terms of the production and processing of polymer materials. Efficient utilization of local raw material resources in this field provides significant economic and technological advantages [1]. Based on the country's rich oil and gas resources, various petroleum-derived products are obtained and widely used in subsequent processing stages. In this context, straight-run low-octane gasoline obtained at the Heydar Aliyev Oil Refinery is subjected to pyrolysis at the EP-300 unit of SOCAR, resulting in the formation of a number of primary and by-products. Among these products, heavy pyrolysis tar is of particular interest [2].

Heavy pyrolysis tar is a complex mixture of aromatic and high-molecular-weight compounds and is often collected as industrial waste [2,3]. However, its structural and chemical characteristics create broad opportunities for the modification of polymer systems. On the other hand, although isoprene rubber exhibits superior properties such as high elasticity and mechanical strength, its limited resistance to heat and oxidation reduces its range of applications [4]. Therefore, various modification methods including mechanochemical treatment and the use of complex resinous substances are widely employed to improve its properties [5]. The use of heavy pyrolysis tar as a modifier in such systems is considered a promising approach for enhancing the structural stability and performance characteristics of composite materials [6].

Objective

The main objective of this study is to develop new composite materials based on isoprene rubber through mechanochemical modification using heavy pyrolysis tar and to eliminate existing shortcomings of the material. The study focuses on increasing thermal and oxidative resistance, improving mechanical strength, and ensuring elasticity and long-term operational stability. At the same time, the effectiveness of heavy pyrolysis tar obtained from the pyrolysis process at SOCAR's EP-300 unit as a modifier and its interaction characteristics with isoprene rubber are investigated. Ultimately, the goal is to obtain more stable, homogeneous composite materials suitable for various applications.

Methods

Heavy Pyrolysis Tar

Heavy pyrolysis tar (HPT) is a by-product of the pyrolysis process in the petrochemical industry and represents a mixture of high-molecular-weight organic compounds with a unique composition. It mainly consists of aromatic and polyaromatic hydrocarbons, olefins, and various resinous components, which impart specific physicochemical properties to the material [1,3,7]. HPT functions not only as a plasticizer but also as an effective modifier. Under mechanochemical processing conditions, it interacts with the macromolecular chains of isoprene rubber, leading to structural changes, improved interfacial compatibility, and more homogeneous dispersion [2,4]. As a result, the internal structure of the composite becomes more organized, while its mechanical strength, elasticity, and resistance to heat and deformation are enhanced. Additionally, the use of HPT reduces the cost of the material, promoting its industrial applicability.

At the same time, HPT has certain drawbacks. It contains carcinogenic components, mainly polycyclic aromatic hydrocarbons, which can have a negative environmental impact. However, considering its advantages particularly strengthening of the structure, improvement of interfacial interactions, and enhancement of composite stability its use as a modifier is justified [5,6]. With properly selected concentrations and optimal mechanochemical processing conditions,

it is possible to minimize the disadvantages of HPT and maximize its benefits, enabling the production of high-quality and durable composite materials.

Preparation of Isoprene-Based Composites

The preparation of composite materials based on isoprene rubber involves the targeted modification of the elastomer matrix with appropriate additives. The presence of unsaturated bonds in the molecular structure of isoprene rubber allows interaction with various functional substances, including heavy pyrolysis tar (HPT), which plays a crucial role in the formation of composite systems [2,4].

At the initial stage, the rubber matrix is softened and brought into a plastic state using mechanical mixers. Subsequently, HPT and other additives (fillers, stabilizers, etc.) are introduced into the system in specific proportions, followed by intensive mixing. During this stage, both physical dispersion and chemical interactions occur between the components due to mechanochemical effects, resulting in a more homogeneous and stable composite structure. Acting as a modifier, HPT improves interfacial compatibility, promotes a more ordered structure, and enhances the processing properties of the material [5,6].

In the next stage, the obtained composite material is shaped and subjected to vulcanization. During vulcanization, chemical bonds form between rubber chains, creating a three-dimensional network structure that significantly improves elasticity, mechanical strength, and deformation resistance [4]. The presence of HPT contributes to the formation of a denser and more stabilized structure, while also facilitating processing due to its plasticizing effect.

Table 1. Composition of Isoprene Rubber-Based Composites Prepared with Heavy Pyrolysis Tar (HPT).

	Multicomponent code Components	1	2	3	4	5
1.	SKI-3 (Isoprene rubber)	100	100	100	100	100
2.	Heavy pyrolysis tar (HPT)	-	2	4	6	8
3.	Stearic acid	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
4.	Captax (MBT)	-1.0	-1.0	-1.0	-1.0	-1.0
5.	Dibenzothiazyl disulfide (MBTS)	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6
6.	Zinc oxide (ZnO)	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0
7.	Diphenylguanidine (DPG)	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0
8.	Carbon black P-514	50.0	50.0	50.0	50.0	50.0
9.	Sulfur	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0
	Total	162.6	16.46	166.6	168.6	170.6

As a result, the obtained composite materials are characterized by high elasticity, good mechanical properties, and enhanced operational durability. Such an approach enables the wide

industrial application of isoprene rubber-based composites, particularly in the production of rubber-technical products, and significantly improves their functional performance [2,6].

Table 2. Physicochemical Properties of Isoprene Rubber-Based Composites Mechanochemically Modified with Heavy Pyrolysis Tar (HPT)

No.	Compound formulation Properties	1	2	3	4	5
	(vulcanizate)					
1.	Tensile strength at break, HPa	20.5	20.3	19.8	19.2	18.9
2.	Stress at 300% elongation, MPa	8.9	8.9	8.7	8.2	7.9
3.	Stress at 500% elongation, MPa	16.9	17.0	16.7	15.9	15.4
4.	Elongation at break, %	535	545	550	570	590
5.	Residual deformation, %	26.0	25.8	26.1	26.4	26.7
6.	Tear resistance, kN/m	63.1	64.0	63.7	65.3	67.2
7.	Rebound elasticity, %	41.0	41.0	39.8	38.0	37.2
8.	Hardness (TM-2 device), conventional units	60.0	59.8	59.0	57.9	56.8
9.	Aging coefficients after thermal exposure at 373 K for 48 h: - Tensile strength retention coefficient (F_p) - Elongation retention coefficient (E_p)	0.46 0.40	0.46 0.39	0.45 0.40	0.44 0.39	0.43 0.40
10.	Fatigue resistance under repeated stretching ($E_{din} = 200\%$, $V = 250$ rpm, $T = 296$ K), thousand cycles.	8.50	8.58	8.95	9.62	10.75
11.	Adhesion strength of rubber to metal, MPa	2.1	2.1	2.0	1.9	1.8
12.	Swelling degree in gasoline, %	2.1	2.1	2.0	1.9	1.8

Based on the results presented in the table, the tear resistance increases from 63.1 kN/m to 67.2 kN/m. This increase indicates that the structure within the composite becomes more robust. In other words, the propagation of microcracks formed in the material becomes more difficult, and

resistance to mechanical damage is enhanced. Such changes contribute to greater reliability and longer service life of the material during operation.

The hardness value measured using the TM-2 device decreases from 60.0 to 56.8. This decrease indicates that the material becomes more elastic. The reduction in hardness is associated with increased mobility of macromolecular chains, resulting in improved ability of the material to absorb external impacts and undergo deformation more easily. This property is particularly advantageous for applications exposed to vibration and impact loads.

The fatigue resistance increases significantly from 8.50 thousand cycles to 10.75 thousand cycles. This improvement demonstrates that the material becomes more resistant to repeated mechanical loading. Internal stresses are distributed more uniformly, the formation and propagation of microdefects are delayed, and the material fails at a later stage.

Overall, the variation of these parameters shows that the incorporation of resin as a modifier plays a crucial role in the targeted improvement and optimization of the initial properties of the composite material. As a result of this process, the mechanical and physical properties of the material are enhanced: elasticity increases, brittleness decreases, and both tear resistance and fatigue resistance are improved. Consequently, the composite becomes more resistant to mechanical action and exhibits a longer service life, especially under dynamic loading conditions.

On the other hand, the addition of the modifier provides a plasticizing effect, significantly facilitating processing operations. The preparation of the mixture, distribution of components, and formation of a homogeneous structure occur more efficiently. This leads to reduced energy consumption and time savings. Hardness decreases, vibration and impact absorption improves, interfacial compatibility increases, and chemical stability is enhanced. As a result, modified resin-based composites become technologically more advantageous and exhibit superior performance characteristics with broader application potential.

Conclusion

1. Heavy pyrolysis tar obtained as a by-product of the pyrolysis process at the EP-300 industrial unit, which is currently underutilized, was selected as the object of study. Its chemical composition and fractional structure were investigated in detail. The conducted research demonstrated that heavy pyrolysis tar, considered a residue fraction, can be evaluated as a promising additive for the modification of polymer-based materials.
2. Comparative analysis of isoprene rubber-based composites mechanochemically modified with heavy pyrolysis tar (HPT) showed that the optimal content of the modifier is 8 parts by weight.
3. The addition of HPT leads to balanced changes in the mechanical properties of the composites. The increase in tear resistance and fatigue resistance indicates improved durability under dynamic and repeated loading. At the same time, the decrease in hardness (TM-2 method) reflects the transition of the system to a more elastic state, resulting in a plasticizing effect and reduced energy consumption during processing.

References

1. Goyushov Sh.Z. Isolation of Phenanthrene from Petrochemical Production Residues and Its Derivative Syntheses. News of Azerbaijan Engineering Academy, 2017, Vol. 9, No. 1.
2. Amirov F.A. (2006). Theoretical Fundamentals of Processing of Plastics and Elastomers. Baku: ASOIU.
3. Goyushov Sh.Z., Hasanli R.Sh. Investigation of Properties of Compositions Based on Styrene-Butadiene Rubber Modified with Chloromethylated Heavy Pyrolysis Resin. Modern Science, p. 325.

4. Bazhenov S.L. Mechanics and Technology of Composite Materials. Moscow: Khimiya, 2014, 325 p.
5. Movlaev I.G., Kurbanova N.I., Guseynova Z.N. Modification of Butadiene-Styrene Elastomer with Chloroethyl Ether of Trichloroacetic Acid. Chemistry and Petrochemistry, 2005, No. 2.
6. Goyushov Sh.Z., Movlaev I.H. (2024). Synthesis of Bromomethyl Derivatives Based on Heavy Pyrolysis Tar and Their Study as Modifiers. Modern Science International Scientific Journal, 4(3).
7. Sadigov F.M. et al. Correlation Between Pyrolysis Technological Regime and the Qualitative Composition of Heavy Tar. Azerbaijan Chemical Journal, 2016, No. 4.
8. Ibrahimov H.J. et al. Study on the Conversion of Dealkylation of Alkyl naphthalene to Naphthalene in Heavy Pyrolysis Tar. Processes of Petrochemistry and Oil Refining, 2017, Vol. 18, No. 3, pp. 306–315.
9. Amirli F.A., Mammadova R.E., Eyvazov A. (2016–2017). Preparation of Adhesive Composition Based on Allyl Propionate–Styrene–Maleic Anhydride Terpolymer. Scientific Materials (ASOIU).

Culturology

УДК: 39.512.122.092

САЛТ-ДӘСТҮРЛЕР МЕН РУХАНИ МӘДЕНИЕТ АРҚЫЛЫ ҚАЗАҚ ҚОҒАМЫН ТАНУ: ШОҚАН УӘЛИХАНОВ КӨЗҚАРАСЫ

Пернебекова Айгерім

“Тұран” университетінің “Аймақтану”, Мамандығының 2-курс студенті

Ғылыми жетекшісі:

Тулекова Гулжан Қажымұратқызы

ф.ғ.к, қауымдастырылған профессор

Аңдатпа

Бұл мақалада қазақ қоғамының құрылымын салт-дәстүр мен рухани мәдениет арқылы тану мәселесі Шоқан Уәлиханов еңбектері негізінде қарастырылады. Шоқан Уәлихановтың “О мұсылманстве в степи” және “О кочевках киргиз” еңбектеріндегі негізгі ойлар талданып, қазақ қоғамындағы діни сенімдер мен көшпелі өмір салтының өзара байланысы анықталады. Ерекше назар ислам дінінің дала кеңістігіндегі трансформациясына, сондай-ақ оның дәстүрлі нанымдармен кірігу үдерісіне аударылады. Сонымен қатар, көшпелі шаруашылық жүйесінің әлеуметтік құрылымға әсері ғылыми тұрғыда түсіндіріледі. Зерттеу нәтижесінде Шоқан Уәлиханов еңбектерінің қазақ қоғамын түсінудегі фундаменталды рөлі негізделеді.

Кілт сөздер: Шоқан Уәлиханов, қазақ қоғамы, салт-дәстүр, рухани мәдениет, ислам, көшпелі өркениет, этнография.

Қазақ қоғамының құрылымын зерттеу қазіргі гуманитарлық ғылымдар кеңістігінде ерекше өзектілікке ие болып отыр. Бұл өзектілік тек тарихи қызығушылықпен ғана емес, сонымен қатар мәдени-әлеуметтік жүйелерді түсіндіру қажеттілігімен байланысты. Қоғамды зерттеу барысында оның сыртқы институттары ғана емес, ішкі рухани тетіктері де маңызды рөл атқарады. Сондықтан зерттеу нысаны ретінде тек әлеуметтік құрылым емес, мәдени кодтар жүйесі де қарастырылуы тиіс. Осы мақаладағы негізгі зерттеу сұрағы Шоқан Уәлиханов еңбектері негізінде қазақ қоғамындағы салт-дәстүр мен рухани мәдениеттің құрылымдық және функционалдық рөл атқаруында. Сонымен қатар зерттеу барысында дәстүр мен діннің өзара байланысы да талданады. Осы тұрғыдан алғанда зерттеу тек тарихи сипатта емес, теориялық маңызға да ие. Ол әлеуметтік жүйелерді түсіндірудің кешенді моделін ұсынады. Дискурс деңгейінде бұл тақырып этнографиялық және мәдениеттанулық интерпретациялар тоғысында қарастырылады.

Зерттеу объектісі ретінде қазақ қоғамының дәстүрлі, әлеуметтік және мәдени жүйесі алынады. Бұл жүйе көшпелі өркениет жағдайында қалыптасқан күрделі құрылым ретінде сипатталады. Зерттеу пәні ретінде Шоқан Уәлиханов еңбектеріндегі рухани-мәдени категориялар мен әлеуметтік қатынастар жүйесі қарастырылады. Атап айтқанда, дін, салт-дәстүр және көшпелі шаруашылықтың өзара байланысы талданады. Бұл элементтер қоғамның ішкі тұрақтылығын қамтамасыз ететін негізгі механизмдер ретінде

қарастырылады. Сонымен қатар әлеуметтік нормалардың қалыптасуындағы мәдени факторлардың рөлі айқындалады.

Зерттеу жұмысының әдіснамалық негізі тарихи-салыстырмалы және жүйелік талдау принциптеріне сүйенеді. Негізгі дереккөз ретінде Шоқан Уәлихановтың «О мұсылманстве в степи» және «О кочевках киргиз» еңбектері алынған [1][2][3]. Салыстырмалы әдіс арқылы Шоқан Уәлихановтың көзқарастары кейінгі отандық зерттеушілердің пікірлерімен салыстырылады [4][5][6].

Зерттеудің мақсаты қазақ қоғамының ішкі мәдени-әлеуметтік құрылымын кешенді түрде ашу болып табылады. Міндеті – салт-дәстүр мен рухани мәдениеттің функционалдық рөлін анықтау. Бұл тәсіл зерттеудің ғылыми дәлдігін арттырады.

Қазақ қоғамын түсіндіру мәселесі тек сыртқы әлеуметтік құрылымдар арқылы ашылмайды, себебі оның ішкі табиғаты терең мәдени және рухани қабаттардан тұрады. Шоқан Уәлиханов осы қабаттарды ғылыми тұрғыда түсінуге алғаш ұмтылған зерттеушілердің бірі ретінде ерекшеленеді. Оның еңбектерінде қоғам жай ғана сипатталмайды, сонымен қатар оның ішкі логикасы мен жұмыс істеу механизмі ашылады. Ол әр құбылысты бөлек элемент ретінде емес, тұтас жүйенің бөлігі ретінде қарастырады. Мұндай тәсіл XIX ғасыр ғылымы үшін жаңа бағыттардың бірі болды. Қазақ қоғамындағы салт-дәстүр, діни сенімдер және әлеуметтік қатынастар оның еңбектерінде өзара байланыста қарастырылады. Бұл байланыстар арқылы қоғамның ішкі құрылымы айқындалады. Сондықтан Шоқан еңбектері тарихи дерек қана емес, мәдени-антропологиялық талдау ретінде де маңызды. Оның зерттеулері қазіргі ғылымда да өзектілігін жоғалтпаған. Себебі ол ұсынған тәсіл бүгінгі гуманитарлық ғылымдардың әдіснамасымен үндес келеді.

Шоқан Уәлиханов ислам дінінің қазақ даласындағы ерекшелігін зерттей отырып, оның классикалық догматикалық формада емес, жергілікті мәдениетпен бейімделген түрде өмір сүретінін көрсетеді. Ол исламның дала жағдайында қатты институционалдық жүйе ретінде емес, халықтың тарихи тәжірибесімен араласқан рухани құбылыс екенін атап өтеді. Бұл құбылысты ол нақты түрде: *«Мұсылманшылық әзурше біздің сүйегіміз бен қанымызға сіңісе қойған жоқ», «Қазір біздің далада Ресейдегі Нестор діндардың уақытындағыдай қос дінге сенушілік кезеңі орын алып тұр»* деп сипаттайды [1]. Бұл цитата қазақ қоғамындағы діни жүйенің синкреттік сипатын айқын көрсетеді. Яғни ислам мен көне нанымдар бірін-бірі жоққа шығармай, қатар өмір сүрген. Мұндай жағдай діннің әлеуметтік ортаға бейімделу қабілетін дәлелдейді. Дін тек сенім жүйесі емес, сонымен қатар қоғамдық тәртіпті реттейтін механизм ретінде қызмет атқарған. Адамдардың күнделікті өміріндегі мінез-құлық нормалары осы рухани жүйемен тығыз байланыста болған. Бұл қоғамдағы тәртіптің тек заң арқылы емес, рухани нормалар арқылы да сақталғанын көрсетеді. Шоқан бұл процесті сырттай бақылау арқылы емес, ішкі құрылым ретінде түсіндіреді.

Көшпелі өмір салтын зерттеген еңбегінде Шоқан қазақ қоғамының ұйымдасқан жүйе екенін нақты дәлелдейді. Ол көш қозғалысының кездейсоқ емес, табиғи және әлеуметтік заңдылықтарға бағынатынын көрсетеді және былай дейді: *«Өндірістің осы жағдайында табиғаттың өз қамқорлығына берілген бұл кәсіп бәрінен бұрын ауа райының жағдайына, топырақтың сапасына тікелей тәуелді болады»* [2]. Бұл пікір көшпелі қоғамның табиғатпен тығыз байланыста болғанымен, ішкі әлеуметтік тәртіпке негізделген жүйе екенін дәлелдейді. Көш бағыттары мен мерзімдері жай ғана шаруашылық қажеттілік емес, рулық келісімдерге де негізделген. Бұл тұрғыда Шоқан былай дейді: *«...біздің жерлерімізді округтер бойынша бөліп, жазғы және қысқы жайылымдарды атақты рулар мен адамдарға орайластыру...»* [3]. Бұл жерде әр рудың өз кеңістігі, өз тәртібі болғанын, бұл жүйе қоғамдағы тұрақтылықты қамтамасыз еткенін, сырттай еркін көрінетін көшпелі өмір шындығында қатаң ішкі ережелерге бағынғанын, қазақ қоғамының ұйымдасқан құрылым

екенін көре аламыз. Сонымен қатар көшпелі өмір салты адамдар арасындағы әлеуметтік қатынастарды реттеудің негізгі механизмі болған.

Шоқан еңбектерінің ерекшелігі – ол құбылыстарды тек сипаттап қана қоймай, олардың себеп-салдарын түсіндіруге ұмтылады. Ол қоғамды динамикалық жүйе ретінде қарастырады, онда әр элемент басқа элементтермен тығыз байланыста болады. Дін, дәстүр және шаруашылық жүйе оның еңбектерінде бір-бірінен бөлек емес, тұтас құрылым ретінде беріледі. Бұл оның ғылыми әдісін сол кезең үшін өте озық деңгейге көтереді. Оның еңбектерінде бақылау мен талдау қатар жүреді. Сондықтан ол тек этнограф емес, сонымен қатар әлеуметтік ойлау жүйесін қалыптастырған зерттеуші ретінде бағаланады. Бұл тәсіл қазіргі антропологиядағы интерпретациялық бағыттарға жақын. Оның еңбектерінің құндылығы да осы әдістемелік ерекшелікте жатыр. Шоқан қоғамды сырттан емес, ішінен түсіндіруге тырысады.

Кейінгі зерттеушілер Шоқан еңбектерінің ғылыми маңызын жоғары бағалаған. Ә. Марғұлан оны қазақ этнография ғылымының негізін қалаушылардың бірі ретінде сипаттай отырып, оның еңбектерінің жүйелілігін ерекше атап өтеді [4]. Бұл оның зерттеулерінің кездейсоқ бақылаулар емес, ғылыми әдіске негізделгенін көрсетеді. Ал С. Қасқабасов қазақ фольклорын тарихи таным жүйесі ретінде қарастыра отырып, Шоқан Уәлихановтың фольклорды этнографиялық дерек ретінде талдау тәсілімен ғылыми сабақтастық бар екенін көрсетеді [5]. Бұл ой Шоқанның дәстүрді қоғамды реттеуші фактор ретінде қарастыруымен мазмұндық тұрғыда сәйкес келеді. Сонымен қатар Н. Нұртазина исламның қазақ жерінде жергілікті мәдениетпен тығыз байланыста дамығанын атап өтеді [6]. Бұл да Шоқан байқауларын ғылыми тұрғыдан толықтырады. Осылайша әртүрлі зерттеушілердің көзқарастары бір ортақ ғылыми қорытындыға келеді. Қазақ қоғамы бір қабатты емес, күрделі мәдени жүйе ретінде қалыптасқан.

Қазақ қоғамын зерттеу барысында салт-дәстүр мен рухани мәдениеттің негізгі рөл атқаратыны анықталды. Шоқан Уәлиханов осы факторларды қоғам құрылымының негізгі элементтері ретінде қарастырған. Оның еңбектерінде қоғам тұтас жүйе ретінде сипатталады. Бұл жүйе дін, дәстүр және көшпелі өмір салтының өзара байланысынан құралады. Сондықтан оның зерттеулері қазақ қоғамының ішкі логикасын ашуға мүмкіндік береді.

Шоқанның еңбектерінде ең маңызды нәтиже – қоғамды статикалық емес, динамикалық жүйе ретінде түсіндіруі. Ол құбылыстардың сыртқы формасын ғана емес, ішкі себептерін де ашуға тырысты. Бұл оның ғылыми тәсілін ерекше етеді. Оның еңбектері этнографиялық сипаттамадан гөрі теориялық талдау деңгейіне жақын. Сонымен қатар оның идеялары қазіргі ғылыммен сабақтас екені байқалады. Бүгінгі антропология мен мәдениеттануда қолданылатын жүйелік тәсілдер оның еңбектерінде алдын ала көрініс тапқан. Бұл оның ғылыми ойлау деңгейінің жоғары болғанын көрсетеді. Оның еңбектері уақыт өткен сайын өзектілігін жоғалтпай, керісінше жаңа қырынан ашылып келеді.

Осылайша Шоқан Уәлиханов мұрасы қазақ қоғамын түсінуде негізгі теориялық негіз болып қала береді. Оның зерттеулері қоғамның ішкі мәдени кодтарын ашуға мүмкіндік береді. Бұл кодтар салт-дәстүр мен рухани мәдениетте сақталған. Сондықтан оның еңбектері қазіргі ғылым үшін де маңызды зерттеу объектісі болып қала береді.

Пайдаланылған әдебиеттер

1. Уәлиханов Ш.Ш. Көп томдық шығармалар жинағы./ Шоқан Уәлиханов-Алматы: “Толағай групп”. 2010. Т.4. -496 б. 76-81 бб.
<https://kazneb.kz/kk/bookView/view?brld=1028393&simple=true#>
2. Уәлиханов Ш.Ш. Көп томдық шығармалар жинағы./ Шоқан Уәлиханов-Алматы: “Толағай групп”. 2010. Т.4. -496 б. 114-119 бб.
<https://kazneb.kz/kk/bookView/view?brld=1028393&simple=true#>
3. Shoqan – Труды:О кочевках киргиз
https://shoqan.kz/incompleted/works_kochevka/
4. Марғұлан Әлкей. Ежелгі жыр, аңыздар: Ғылыми-зерттеу мақалалар.../Құраст. Р.Бердібаев-Алматы:Жазушы, 1985.-3678 бет., портр.
<https://arheology.kz/monografii/414-ezhelgi-zhyr-a-yzdar.html>
5. Қасқабасов С. Қазақтың халық прозасы./ Алматы “Ғылым”, 1984.- 272 б.
<https://kazneb.kz/kk/bookView/view?brld=1581092&simple=true#>
6. Н.Д.Нуртазина. Ислам в истории Казахстана:новые подходы и итоги изучения проблемы за 30-летие независимости(1991-2021).
<https://bulletin-history.kaznu.kz › download>

Medical Sciences

ПРЕЖДЕВРЕМЕННЫЕ РОДЫ: ПРИЧИНЫ, СИМПТОМЫ И ДИАГНОСТИКА УГРОЗЫ

Аралбек Жаңыл

врач резидент акушер-гинеколог

Мұхтарова Айнұр Қайратқызы

врач резидент акушер-гинеколог

Ргебаева Аяулым Бауыржанқызы

врач резидент акушер-гинеколог

Мукашева Нурай Бауржановна

врач резидент акушер-гинеколог

НАО «Медицинский университет Семей», г. Семей, Республика Казахстан

Научный руководитель:

Кинаятова Шолпан Кайратовна

М.М.Н

Аннотация. В статье представлен комплексный клинико-статистический анализ динамики преждевременных родов и перинатальных исходов в Аягозском районе за 2023–2025 гг. Показано, что на фоне снижения общего числа родов и высокой распространенности соматической коморбидности формируется утяжеление клинического профиля беременных, что отражается в структуре осложнений и перинатальных потерь. Отдельно проанализированы ведущие этиологические контуры преждевременных родов с выделением плацентарных и инфекционно-оболочечных фенотипов, ассоциированных с наиболее тяжелыми исходами. Обосновано ограничение прогностической точности традиционных методов диагностики при интактном плодном пузыре и предложено внедрение биомаркера pHIGFBP-1 как элемента раннего триажа и объективной стратификации риска для оптимизации госпитализации и маршрутизации пациенток высокого риска, включая беременных из отдаленных сельских территорий.

Ключевые слова: преждевременные роды; угроза преждевременных родов; перинатальная смертность; мертворождаемость; плацентарные нарушения; коморбидность; цервикометрия; pHIGFBP-1

Введение

Преждевременные роды представляют собой не единый клинический феномен, а финальный общий путь для нескольких патофизиологических сценариев, которые приводят к преждевременному созреванию шейки матки, активации миометрия и нарушению фетоплацентарного гомеостаза. В клинических рекомендациях WAPM и FIGO преждевременные роды рассматриваются как состояние, требующее раннего триажа и доказательной стратификации риска, поскольку цена ошибки выражается либо в упущенном «окне» для антенатальных стероидов и нейропротекции, либо в гипердиагностике с необоснованным токолизом и госпитализацией [9, 10]. Проблема осложняется тем, что клиническая симптоматика угрозы, включая схваткообразные боли, чувство давления и

нерегулярные сокращения, обладает ограниченной специфичностью и не позволяет надежно предсказать роды в ближайшие дни без объективных маркеров [8, 18].

Этиология преждевременных родов мультифакторна. Инфекционно-воспалительный путь поддерживается данными о роли восходящей инфекции, дисбиоза влагалища и бактериальных инфекций, которые активируют цитокиновые каскады и простагландиную систему, ускоряя ремоделирование шейки матки и разрыв плодных оболочек [1, 2, 3]. Генетическая предрасположенность рассматривается как модификатор ответа на прогестерон и воспаление, что особенно важно для понимания неоднородной эффективности профилактических стратегий [4]. Эндокринный компонент, прежде всего дисфункция щитовидной железы, ассоциирован с повышением риска неблагоприятных акушерских исходов и требует клинически выверенной диагностики и коррекции на уровне популяции беременных [5, 6, 7].

В этой связи ключевая научная и практическая задача формулируется как построение диагностического маршрута, который отделяет истинную угрозу преждевременных родов от симптоматических состояний низкого риска. Трансвагинальная цервикометрия остается наиболее воспроизводимым инструментом оценки структурной готовности шейки матки, а клинические обзоры подчеркивают ее центральную роль в прогнозировании [12, 13]. Одновременно биомаркеры цервикального секрета и новые инструментальные методики, включая фосфорилированный протеин-1, связывающий инсулиноподобный фактор роста (англ. phosphorylated Insulin-like Growth Factor Binding Protein-1, далее - pHIGFBP-1) и цервикальную эластографию, расширяют возможности триажа и повышают точность принятия решений [16, 17, 14, 15]. Теоретический анализ современных данных задает основу для сопоставления фенотипов, симптоматики и диагностических тестов, с последующей адаптацией алгоритмов к ресурсам конкретной акушерской службы [11, 18].

Объекты и методы исследования.

Проведено ретроспективное обсервационное исследование смешанного дизайна, включающее: 1) популяционно-ориентированный анализ агрегированных показателей акушерско-гинекологической службы Аягозского района за 2023-2025 годы и 2) клиническую серию случаев преждевременных родов за 2025 год на базе Коммунальное государственное предприятие на праве хозяйственного ведения «Многопрофильная центральная районная больница Аягозского района» управления здравоохранения области Абай, Республика Казахстан; акушерско-гинекологическая служба (родильное отделение/женская консультация). Методологическая интерпретация диагностических решений выполнялась с учетом международных рекомендаций по триажу и ведению преждевременных родов [9, 10].

Популяционная база включала население Аягозского района 48 280 человек, 21 952 женщин, из них 8 330 женщин репродуктивного возраста. Для компонента временной динамики использованы агрегированные данные отчетности за 2023-2025 годы (общее число родов по району и в стационаре, материнская смертность, перинатальные потери, мертворождаемость, ранняя и поздняя неонатальная смертность, число преждевременных родов). Для клинического компонента использованы первичные медицинские документы (обменные карты, истории родов, протоколы УЗИ и КТГ, выписные эпикризы) по всем случаям преждевременных родов, зарегистрированным в 2025 году, с выделением подгруппы детально описанных кейсов (n=17) с полным набором клиничко-лабораторных данных.

Всего в 2025 году описано 21 клиническое наблюдение преждевременных родов; в углубленный анализ включены 17 наблюдений с полной документацией по ключевым

переменным (протоколы УЗИ/КТГ и лабораторные показатели), 4 случая исключены ввиду неполноты данных.

Объектом исследования являлись беременные женщины Аягоского района, получавшие акушерскую помощь в 2023-2025 годах, и клинические случаи преждевременных родов за 2025 год.

Преждевременные роды определялись как родоразрешение в сроке 22+0-36+6 недель гестации [8, 9]. Угроза преждевременных родов определялась как наличие регулярной маточной активности и/или болевого синдрома при гестационном сроке <37 недель в сочетании с объективными признаками цервикальных изменений (укорочение шейки матки по трансвагинальной цервикометрии при наличии протокола и/или динамика раскрытия), при интактных оболочках либо при наличии ПРПО (преждевременный разрыв плодных оболочек) [9, 10]. Длительный безводный промежуток фиксировался в часах (обязательная унификация по всем кейсам) .

Критерии включения и исключения

Компонент 1 (агрегированные данные): включались все зарегистрированные роды по району и в родильном отделении за 2023-2025 годы.

Компонент 2 (клиническая серия случаев, 2025):

Критерии включения:

1. гестационный срок 22+0-36+6 недель;
2. преждевременное родоразрешение (вагинальное или кесарево сечение) и/или госпитализация с диагнозом угрозы преждевременных родов;
3. наличие медицинской документации, подтверждающей срок гестации и исход.

Критерии исключения (для углубленного анализа n=17):

1. многоплодная беременность;
2. индуцированное преждевременное родоразрешение по абсолютным материнским показаниям, если целью углубленного анализа являлся преимущественно спонтанный фенотип преждевременных родов;
3. неполная документация по ключевым переменным (нет протоколов УЗИ/КТГ и/или отсутствуют лабораторные показатели в критические сроки) .

Исходы

Первичные исходы популяционного компонента:

1. перинатальная смертность (число перинатальных потерь на 1000 родов, ‰) по району;
2. мертворождаемость (число мертворождений на 1000 родов, ‰) по району.

Вторичные исходы популяционного компонента:

1. доля преждевременных родов (% от всех родов);
2. ранняя и поздняя неонатальная смертность (на 1000 родов);
3. материнская смертность (на 100 000 родов);
4. показатели организации помощи беременным в 2025 году: доля постановки на учет до 10 недель, доля раннего осмотра терапевтом до 10 недель по территориям.

Исходы клинической серии (2025):

1. антенатальная гибель плода (да/нет);
2. способ родоразрешения (вагинальные роды/кесарево сечение; экстренное/плановое);
3. гестационный срок при родоразрешении (недели+дни);
4. ведущий клинический фенотип (плацентарный, инфекционно-воспалительный/ПРПО, рубец на матке, коморбидный) .

Фенотипирование клинических случаев (предикторы)

Для каждого клинического случая кодировались следующие предикторы: анемия (по Hb, с порогом Hb < 100 г/л как клинически значимый уровень для субанализа), ожирение (степень), артериальная гипертензия, заболевания почек/пиелонефрит, эндокринные нарушения (включая гипотиреоз), рубец на матке и число предыдущих кесаревых, ПРПО и длительность безводного промежутка, признаки хориоамнионита, данные УЗИ/КТГ. Эти переменные сопоставлялись с данными литературы о роли инфекционно-воспалительного контура, микробиома и эндокринных факторов в патогенезе преждевременных родов [1-7, 14].

Инструментальные и лабораторные методы

Инструментальные методы включали ультразвуковое исследование (с оценкой состояния плода, плаценты и, при наличии протокола, длины шейки матки) и кардиотокографию для оценки состояния плода [9, 10]. В качестве лабораторного предиктора преждевременных родов рассматривался маркер pHIGFBP-1 (цервиковагинальный тест) как компонент доказательно обоснованного триажа пациенток с симптомами угрозы; его прогностическая полезность подтверждена метаанализом [16]. При интерпретации биомаркеров использованы данные обзоров, подчеркивающих необходимость комбинированного подхода (цервикометрия, биомаркеры, клинический контекст) [14, 15, 18].

Статистический анализ (исправленный и публикуемый)

Анализ выполнялся в MS Excel (первичная обработка) с расчетом абсолютных значений, долей и показателей интенсивности. Для редких событий (перинатальная смертность, мертворождаемость) рассчитывались 95% доверительные интервалы на основе распределения Пуассона и приводились показатели на 1000 родов (‰) с четким указанием знаменателя (по району и по стационару). Сравнение показателей 2023 и 2025 годов выполнялось посредством:

1. сравнения долей (χ^2 -тест или точный критерий Фишера при малых числах);
2. сравнения интенсивностей редких событий через отношение частот с 95% CI (пуассоновский подход);
3. анализа тренда за 2023-2025 годы (тест Кокрана-Армитиджа для долей либо пуассоновская регрессия с offset log(число родов) для событий на 1000 родов).
4. Для клинической серии случаев применялась описательная статистика (медиана и межквартильный размах для гестационного срока, частоты и доли для фенотипов и исходов). При наличии достаточного заполнения Hb и исходов выполнялся точный критерий Фишера для оценки ассоциации Hb < 100 г/л с антенатальной гибелью плода. Уровень статистической значимости устанавливался как $p < 0,05$; все p-values и 95% CI приводились в тексте и/или таблицах.

Первичная агрегация выполнена и статистические расчеты доверительных интервалов и тестов выполнены в MS Excel.

Результаты и их обсуждение.

Результаты представлены на двух уровнях:

- 1) анализ агрегированных районных и стационарных показателей за 2023-2025 гг.;
- 2) клиническая серия преждевременных родов 2025 г. (n=21), с описанием фенотипов осложнений и исходов.

Популяционный уровень: динамика акушерской нагрузки и ключевых исходов (2023-2025)

За 2023-2025 гг. в Аягосском районе зарегистрировано снижение числа родов с 1208 в 2023 г. до 954 в 2025 г., что соответствует уменьшению на 21,0%. На стационарном уровне динамика сопоставима: 942 родов в 2023 г. и 708 в 2025 г. (снижение на 24,8%). Доля

стационарных родов в структуре районного объема сохранялась относительно стабильной (примерно 74-78%), что отражает устойчивую роль базового стационара в оказании акушерской помощи. Материнская смертность составила 1 случай в 2023 г. и 0 случаев в 2024-2025 гг.; при столь малых абсолютных числах событие статистически нестабильно, поэтому интерпретация тренда ограничена длительностью наблюдения.

Таблица 1. Ключевые исходы по Аягозскому району (2023-2025)

Показатель	2023	2024	2025
Женщин детородного возраста	8330	8330	8330
Роды по району, абс.	1208	1163	954
Роды в родильном отделении, абс.	942	853	708
Материнская смертность (случаи)	1	0	0
Перинатальные потери, абс.	10	6	9
Перинатальная смертность, ‰ (на 1000 родов)	8,28	5,16	9,43
Мертворождаемость, абс.	9	6	8
Мертворождаемость, ‰ (на 1000 родов)	7,45	5,16	8,39

Ключевой результат, требующий методологически корректной интерпретации, связан с эффектом изменения знаменателя. Перинатальная смертность в 2025 г. составила 9,43‰ (9/954×1000), в 2023 г. 8,28‰ (10/1208×1000). Однако при расчете 95% доверительных интервалов для редких событий различия оказываются статистически неопределенными: 2023 г. 8,28‰ (95% CI 3,97-15,22), 2025 г. 9,43‰ (95% CI 4,31-17,91). Отношение интенсивностей (2025 vs 2023) составило 1,14 (95% CI 0,46-2,80), $p=0,776$. Аналогично для мертворождаемости: 2023 г. 7,45‰ (95% CI 3,41-14,14), 2025 г. 8,39‰ (95% CI 3,62-16,52); коэффициент показателей 1,13 (95% CI 0,43-2,92), $p=0,808$. Таким образом, рост показателя «на 1000 родов» при близких абсолютных числах потерь следует трактовать как комбинированный эффект уменьшения общего числа родов и вероятного изменения структуры потока беременностей, а не как доказанное ухудшение риска на индивидуальном уровне.

Практически значимый контекст формирует профиль экстрагенитальной патологии беременных в 2025 г.: анемия (588 зарегистрированных случаев), заболевания почек (262), венозная патология (126), эндокринные нарушения (59). Данный коморбидный фон согласуется с современной концепцией модификации акушерских рисков соматическими и эндокринными факторами, включая повышение вероятности преждевременных родов и неблагоприятных перинатальных исходов [5, с. 9], [6, с. 50], [7, с. 38-44]. Дополнительно выявлено территориальное неравенство раннего терапевтического осмотра: доля осмотров до 10 недель в Казыгуле составила 71,5% против 90,0-91,9% в городе и селе. Это следует рассматривать как маркер доступа к ранней коррекции экстрагенитальной патологии и, следовательно, как управляемый организационный фактор, потенциально влияющий на своевременность выявления беременных групп высокого риска.

Абсолютное число преждевременных родов по району снизилось с 98 в 2023 г. до 49 в 2025 г.; показатель на 1000 родов уменьшился с 81,13‰ до 51,36‰. Важно, что данное снижение подтверждается статистически при сравнении долей: 8,11% (98/1208; 95% CI 6,70-9,79) в 2023 г. против 5,14% (49/954; 95% CI 3,91-6,73) в 2025 г.; Критерий Фишера $p=0,0075$. На стационарном уровне доля преждевременных родов также снизилась: 6,79% (64/942; 95% CI 5,36-8,58) в 2023 г. против 3,95% (28/708; 95% CI 2,75-5,66) в 2025 г.; Критерий Фишера $p=0,0127$. Этот результат отражает уменьшение доли преждевременных родов в потоке

родовспоможения, но не эквивалентен «улучшению» исходов без учета фенотипов осложнений и структуры потерь.

Таблица 2. Преждевременные роды по Аязозскому району (2023-2025)

Показатель	2023	2024	2025
Преждевременные роды по району	98	71	49
Преждевременные роды по району (на 1000 родов), ‰	81,13	61,05	51,36
Преждевременные роды в родильном отделении	64	32	28
Доля преждевременных родов в родильном отделении, %	6,79	3,75	3,95

Клиническая серия преждевременных родов (n=21) демонстрирует гетерогенность фенотипов, при этом наиболее тяжелые сценарии концентрируются в ранних гестационных сроках (23-28 недель) и ассоциируются с антенатальной гибелью плода и плацентарными катастрофами. В поздних сроках (32-36 недель) существенную долю составляют экстренные ситуации, требующие оперативного родоразрешения. Клинические случаи сгруппированы по ведущему фенотипу при допущении перекрывания патогенетических контуров.

Таблица 3. Клинические случаи преждевременных родов (n=21), распределение по фенотипам

Фенотип осложнений	Количество случаев	Доля%
Плацентарные нарушения (ПОНРП, предлежание)	8	38
Инфекционно-оболочечные (ПРПО, ДИВ, хориоамнионит)	5	24
Рубец на матке / ятрогенные факторы	4	19
Коморбидные состояния матери	3	14
Прочие (ВПР плода, функциональные причины)	1	5%

Плацентарный фенотип включал случаи преждевременной отслойки нормально расположенной плаценты и варианты патологической плацентации (в том числе краевое/полное предлежание). Эти эпизоды характеризуются внезапной декомпенсацией фетоплацентарного кровотока, где временной фактор и готовность к экстренному родоразрешению определяют исход, что соответствует клинической логике ведения тяжелых форм преждевременных родов [9, с. 196-205], [10]. Инфекционно-оболочечный фенотип включал ПРПО, длительный безводный промежуток и хориоамнионит, а также сопутствующие инфекции мочевыводящих путей; наблюдаемая структура согласуется с доказательными представлениями о роли восходящей инфекции и микробиом-ассоциированных воспалительных каскадов в преждевременной активации родов и повреждении плодных оболочек [1, с. 172-180], [2], [3, с. 1-15]. Рубцовый фенотип отражал уязвимость матки после 1-3 кесаревых сечений и/или миомэктомии, что предопределяет низкий порог принятия решения об оперативном родоразрешении при минимальных признаках дистресса плода или угрозы несостоятельности рубца [10]. Коморбидный фон (ожирение I-III степени, артериальная гипертензия, хронический пиелонефрит, эпилепсия, гипотиреоз, сосудистые нарушения) следует трактовать как патофизиологически значимый модификатор риска через усиление системного воспаления, эндотелиальную дисфункцию и ухудшение плацентарной перфузии, что соответствует современным данным о роли эндокринных и соматических факторов в неблагоприятных исходах беременности [5, с. 9], [6, с. 50], [7, с. 38-44], [14].

Наиболее тяжелые наблюдения в серии связаны с плацентарными катастрофами и ранними преждевременными родами. В одном из ключевых эпизодов (28 недель 1 день) сочетание полного предлежания плаценты с преждевременной полной отслойкой сопровождалось антенатальной гибелью плода; документирована анемия средней степени (Hb 97 г/л). $Hb < 100$ г/л в контексте острой плацентарной патологии клинически значим как фактор снижения кислородтранспортного резерва и ухудшения переносимости геморрагического события. В другом эпизоде (36 недель 6 дней) отслойка плаценты развилась на фоне ожирения III степени и артериальной гипертензии, осложнившись антенатальной гибелью и постгеморрагической анемией, что иллюстрирует сосудисто-метаболический профиль высокого риска. При этом в ряде наблюдений анемия указана без количественного Hb , что ограничивает количественную оценку ассоциации « $Hb < 100$ г/л – исход» и должно быть прямо отражено как ограничение исследования.

Высокая доля оперативного родоразрешения в клинической серии интерпретируется как следствие структуры фенотипов: плацентарные нарушения и рубцовый анамнез формируют клинические ситуации, где экстренное кесарево сечение является стандартом ведения для минимизации материнских и перинатальных катастроф [9, с. 196-205], [10]. В данной серии оперативные вмешательства концентрируются именно в этих группах, что отражает «структурно высокий» уровень кесарева сечения в потоке районного стационара при накоплении коморбидности и акушерских факторов высокого риска.

Наибольший потенциал управляемого улучшения связан не с острыми плацентарными катастрофами, которые часто развиваются внезапно, а с инфекционно-воспалительным, оболочечным и цервикальным контуром угрозы преждевременных родов. В этих сценариях клинические симптомы обладают низкой специфичностью, а структурные изменения шейки матки и децидуальная активация могут предшествовать клинической манифестации. При ограниченной доступности специализированной диагностики для пациенток из отдаленных округов традиционные методы (осмотр, стандартное УЗИ без протокола трансвагинальной цервикометрии, эпизодическая КТГ) могут не обеспечивать достаточную предиктивную ценность для ранней стратификации риска. В этой логике биохимический маркер $phIGFBP-1$ рассматривается как инструмент повышения точности триажа у симптомных пациенток; метаанализ подтверждает диагностическую полезность $phIGFBP-1$ для прогнозирования преждевременных родов [16, с. 57-73]. Региональные и обзорные данные также подчеркивают ценность комбинирования цервикометрии и биомаркеров для снижения необоснованных госпитализаций и своевременной маршрутизации беременных высокого риска [14, с. 63-71], [11, 12, 15, 18]. Следовательно, научно обоснованная гипотеза состоит в том, что часть случаев инфекционно-оболочечного и цервикального фенотипа могла бы быть переведена в более управляемый сценарий при раннем использовании $phIGFBP-1$ в сочетании с объективной оценкой шейки матки, особенно в условиях территориальной удаленности и поздней явки.

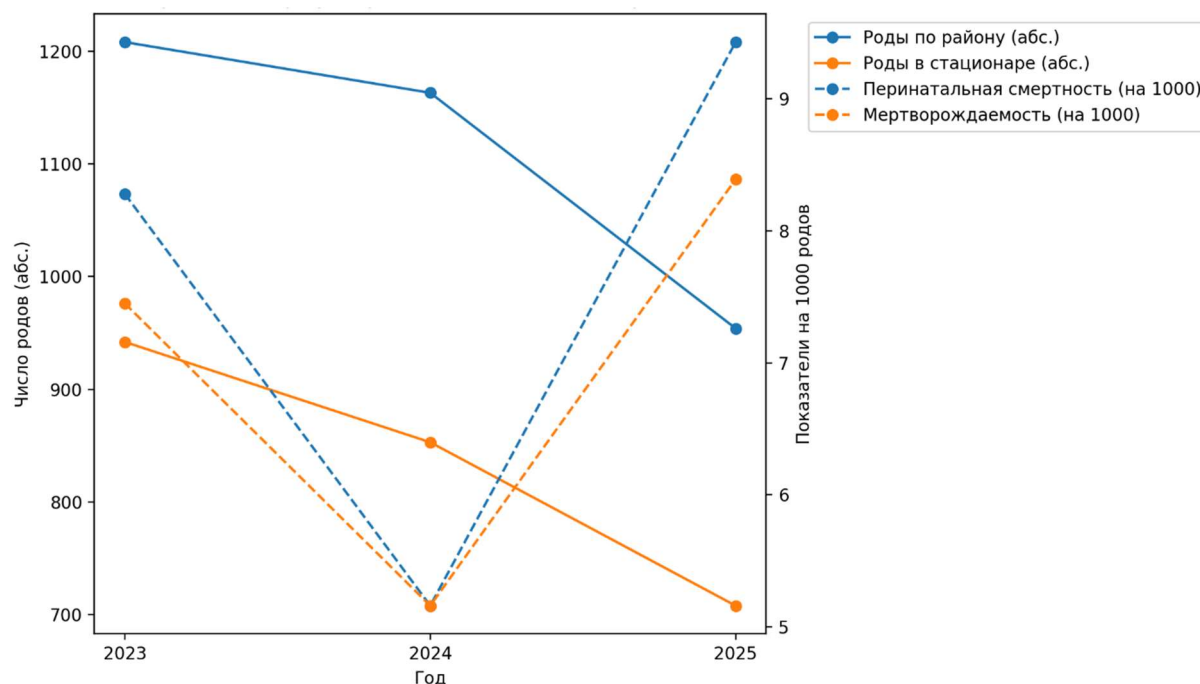


Рисунок 1. Комбинированный график: роды и показатели потерь (2023–2025)

Профиль Аязозского района согласуется с общемировой концепцией гетерогенности преждевременных родов, где инфекционно-воспалительный фенотип и плацентарные нарушения формируют основные контуры тяжелых исходов, а коморбидный фон и доступность раннего наблюдения определяют региональные различия [1, с. 172-180], [9, с. 196-205], [10, 18]. Региональная специфика проявляется сочетанием территориальной удаленности отдельных округов и высокой распространенности анемии среди беременных (588 случаев), что создает фон уязвимости к гипоксическим и геморрагическим событиям и может усиливать тяжесть осложнений при плацентарных нарушениях и инфекционно-воспалительных процессах [5, с. 9], [6, с. 50], [7, с. 38-44]. В совокупности это объясняет, почему снижение рождаемости само по себе не сопровождается пропорциональным снижением показателей потерь: при уменьшении числа родов даже небольшое абсолютное число неблагоприятных исходов формирует рост показателей на 1000 родов, а клиническая серия указывает на концентрацию фенотипов, которые традиционно ассоциируются с максимальным вкладом в перинатальные потери.

Ограничения

Интерпретация агрегированных районных показателей ограничена экологическим характером данных и невозможностью учета индивидуальных конфаундеров. Клиническая часть представлена серией случаев без контрольной группы, что исключает причинные выводы и ограничивает результаты уровнем описательных ассоциаций и гипотез. Неполнота количественных данных (в частности, отсутствие Нб для части наблюдений и неоднородность протоколов инструментальных исследований) снижает возможности количественного анализа связи отдельных факторов с исходами и требует стандартизации извлечения данных в последующих исследованиях.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Установлено, что в 2023-2025 гг. в Аязозском районе произошло снижение общего числа родов с 1208 до 954 (–21,0%), при сохранении сопоставимой доли родов в стационаре (942/1208 в 2023 г. и 708/954 в 2025 г.). На этом фоне показатель перинатальной смертности составил 8,28‰ в 2023 г. (10/1208; 95% CI 3,97-15,22) и 9,43‰ в 2025 г. (9/954; 95% CI 4,31-17,91). Сравнение интенсивностей редкого события не выявило статистически

подтвержденного роста: Коэффициент показателя 1,14 (95% CI 0,46-2,80), $p=0,776$ (пуассоновский подход). Аналогично мертворождаемость составила 7,45‰ в 2023 г. (9/1208; 95% CI 3,41-14,14) и 8,39‰ в 2025 г. (8/954; 95% CI 3,62-16,52); Коэффициент показателя 1,13 (95% CI 0,43-2,92), $p=0,808$. Следовательно, наблюдаемое повышение показателей «на 1000 родов» интерпретируется как эффект уменьшения знаменателя и возможного изменения структуры (кейс-микса) беременных, а не как доказанное ухудшение индивидуального риска (рисунок 1).

2. Выявлено снижение доли преждевременных родов на районном уровне с 8,11% в 2023 г. (98/1208; 95% CI 6,70-9,79) до 5,14% в 2025 г. (49/954; 95% CI 3,91-6,73), $p=0,0075$ (точный критерий Фишера). На стационарном уровне доля преждевременных родов также снизилась с 6,79% (64/942; 95% CI 5,36-8,58) до 3,95% (28/708; 95% CI 2,75-5,66), $p=0,0127$. Указанная динамика отражает уменьшение частоты преждевременных родов в потоке родовспоможения, однако не позволяет без дополнительного анализа структуры осложнений и маршрутизации трактовать ее как прямое “улучшение” перинатальных исходов.

3. По данным клинической серии случаев преждевременных родов 2025 г. ($n=21$) описана структура фенотипов осложнений: плацентарные нарушения 38% (8/21), инфекционно-оболочечные 24% (5/21), рубец на матке и ятрогенные факторы 19% (4/21), ведущие коморбидные состояния 14% (3/21), прочие причины 5% (1/21). Описательные данные серии указывают, что наиболее тяжелые исходы (включая антенатальную гибель плода) концентрируются в ранних гестационных сроках и чаще наблюдаются при плацентарных катастрофах и инфекционно-воспалительном контуре (ПРПО, длительный безводный промежуток, хориоамнионит), что согласуется с современными представлениями об этиопатогенетической гетерогенности преждевременных родов [1, с. 172-180], [2], [3, с. 1-15], [9, с. 196-205], [10]. Причинно-следственные выводы ограничены отсутствием контрольной группы и малым числом наблюдений.

4. Установлено, что высокий коморбидный фон беременных в 2025 г. (анемия 588 случаев, заболевания почек 262, венозные заболевания 126, эндокринные нарушения 59) формирует популяционный уровень уязвимости к неблагоприятным исходам и может усиливать тяжесть острых акушерских событий. Клиническая серия подтверждает клиническую значимость анемии в отдельных тяжелых сценариях (документированный Hb 97 г/л при плацентарной катастрофе), однако количественная оценка ассоциации «Hb < 100 г/л - неблагоприятный исход» ограничена неполнотой Hb-данных в ряде наблюдений. Отдельно отмечено территориальное неравенство раннего терапевтического осмотра: 71,5% в Казыгулском округе против 90,0-91,9% в городе и сельских населенных пунктах, что следует рассматривать как управляемый организационный фактор риска позднего выявления и коррекции экстрагенитальной патологии.

5. Рекомендовано усиление алгоритма триажа беременных с симптомами угрозы преждевременных родов путем внедрения объективных предикторов риска, включая комбинированную оценку цервикального статуса и лабораторное тестирование pHIGFBP-1. Применение pHIGFBP-1 как маркера децидуально-хориального интерфейса обосновано данными систематического обзора и метаанализа, демонстрирующего его прогностическую полезность при угрозе преждевременных родов [16, с. 57-73], а также согласуется с рекомендациями по рациональному триажу и снижению гипердиагностики [9, с. 196-205], [10, 14, с. 63-71, 18]. Практическая цель внедрения заключается в повышении предиктивной ценности обследования при интактном плодном пузыре, снижении доли необоснованных госпитализаций и своевременной маршрутизации пациенток из отдаленных территорий (в том числе Казыгульского округа) на соответствующий уровень перинатальной помощи.

6. Обосновано, что переход к цифровому мониторингу показателей акушерской службы с использованием стандартных инструментов обработки данных MS Excel позволяет формировать воспроизводимые аналитические отчеты, рассчитывать показатели интенсивности с 95% доверительными интервалами, оперативно выявлять изменения структуры осложнений и поддерживать управленческие решения, направленные на снижение предотвратимых перинатальных потерь. Для последующей валидации наблюдаемых закономерностей рекомендовано расширение дизайна до аналитического исследования (случай-контроль или ретроспективная когорта), включающего контрольную группу доношенных родов, стандартизированный сбор данных по Hb, протоколам трансвагинальной цервикометрии и биомаркерам, а также предварительно определенные первичные и вторичные исходы.

Этические аспекты

Исследование выполнено в соответствии с принципами Хельсинкской декларации. Протокол ретроспективного анализа подлежит рассмотрению и утверждению локальным этическим комитетом КГП на ПХВ «Многопрофильная центральная районная больница Аягзского района» управления здравоохранения области Абай. Ввиду ретроспективного характера исследования, отсутствия вмешательства в тактику ведения и использования, обезличенных данных медицинской документации индивидуальное информированное согласие, могло быть отменено решением этического комитета. Персональные идентификаторы не включались в аналитическую базу; доступ к первичным документам имели только члены исследовательской группы.

Список использованной литературы:

1. Fan S, Li Q, Feng Q, Zhao P, Zhang X. Infection-Related Preterm Birth. *Matern Fetal Med.* 2025 Jul;7(3):172-180. doi: 10.1097/FM9.0000000000000288. Epub 2025 Apr 14. PMID: 41608213; PMCID: PMC12846865.
2. Vaginal microbiome and its implications in preterm birth [Electronic resource] / S. Park [et al.] // *Obstetrics & Gynecology Science.* — 2025. — Sept. 17. — Mode of access: <https://doi.org/10.5468/ogs.25085>. — doi: 10.5468/ogs.25085.
3. Rokni H, Ahmadi A, Moradi Y, Nouri B, Roshani D. Relationship between Vaginal Bacterial Infections and Pregnancy Outcomes: A Systematic Review and Meta-Analysis. *Iran J Nurs Midwifery Res.* 2024 Jan 9;29(1):1-15. doi: 10.4103/ijnmr.ijnmr_199_22. PMID: 38333348; PMCID: PMC10849289.
4. Кадивник, М., Кралик, К., Шиянович, С., и Вагнер, Дж. (2025). Генетические и экологические детерминанты спонтанных преждевременных родов: акцент на вариантах гена рецептора прогестерона. *Международный журнал молекулярных наук*, 26 (21), 10659. <https://doi.org/10.3390/ijms262110659>
5. Puthiyachirakal MA, Hopkins M, AlNatsheh T, Das A. Overview of thyroid disorders in pregnancy. *Matern Health Neonatol Perinatol.* 2025 Apr 2;11(1):9. doi: 10.1186/s40748-025-00208-9. PMID: 40170119; PMCID: PMC11963318.
6. Vamja R, M Y, Patel M, Vala V, Ramachandran A, Surati B, Nagda J. Impact of maternal thyroid dysfunction on fetal and maternal outcomes in pregnancy: a prospective cohort study. *Clin Diabetes Endocrinol.* 2024 Dec 19;10(1):50. doi: 10.1186/s40842-024-00212-6. PMID: 39695884; PMCID: PMC11658447.
7. Dubey P, Singh K, Singh S, Sankhwar PL, Verma ML. Effects of Maternal Hypothyroidism on Preterm Labor and Neonatal Outcomes: A Prospective Case-control Study. *Ann Afr Med.* 2026 Jan 1;25(1):38-44. doi: 10.4103/aam.aam_308_24. Epub 2025 Oct 9. PMID: 41065724; PMCID: PMC12872140.
8. Дженкинс С.М., Майкс Б.А. Преждевременные роды. [Обновлено 8 февраля 2025 г.]. В: StatPearls [Интернет]. Трежер-Айленд (Флорида): StatPearls Publishing; январь 2025 г. Доступно по адресу: https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK536939/?utm_source=chatgpt.com
9. Management of preterm labor: Clinical practice guideline and recommendation by the WAPM-World Association of Perinatal Medicine and the PMF-Perinatal Medicine Foundation / T. Dagklis, R. Akolekar, C. Villalain [et al.] // *European Journal of Obstetrics & Gynecology and Reproductive Biology.* — 2023. — Vol. 291. — P. 196-205. — URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S030121152300484X> (дата обращения: 04.03.2026).
10. FIGO good practice recommendations for preterm labor and preterm prelabor rupture of membranes: Prep-for-Labor triage to minimize risks and maximize favorable outcomes / A. E. Ubom, M. Vatish, E. R. Barnea [et al.] // *International Journal of Gynecology & Obstetrics.* — 2022. — DOI: 10.1002/ijgo.15113. — URL: <https://obgyn.onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/ijgo.15113> (дата обращения: 04.03.2026).
11. Ахметгалиев Артур Ринатович, Фаткуллин Ильдар Фаридович, Мунавирова Аделя Азатовна, Фаткуллин Фарид Ильдарович Алгоритм идентификации угроз преждевременных родов // *Казанский мед.ж.*. 2017. №1. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/algoritm-identifikatsii-ugrozy-prezhdevremennyh-rodov> (дата обращения: 04.03.2026).

12. Коновалов В. Н., Цхай В. Б., Яметова Н. М., Костарева О. В. СОВРЕМЕННЫЕ ВОЗМОЖНОСТИ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ПРЕЖДЕВРЕМЕННЫХ РОДОВ. ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ // Мид. 2020. №4 (83). URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/sovremennye-vozmozhnosti-prognozirovaniya-prezhdevremennyh-rodov-obzor-literatury> (дата обращения: 04.03.2026).
13. Князев Сергей Александрович, Андреева Анастасия Дмитриевна, Магомедбекова Зарина Азаматовна, Фаткуллина Лариса Сергеевна Цервикометрия - единственный метод прогнозирования и диагностики угрожающих преждевременных родов // Акушерство и гинекология: Новости. Мнения. Обучения. 2024. №S. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/tservikometriya-edinstvennyy-metod-prognozirovaniya-i-dagnostiki-ugrozhayuschih-prezhdevremennyh-rodov> (дата обращения: 04.03.2026).
14. Кабыл, Б. ., Исенова, С. ., Нурланова, Г., Бурибаева, Ж., Адилова, К., Аязбай, К., ... Махамбет, А. (2023). Предикторы и факторы риска спонтанных преждевременных родов: анамнестические характеристики, ультразвуковые и биомаркеры (обзор литературы). *Репродуктивная медицина (Центральная Азия)*, (3(56), 63-71. <https://doi.org/10.37800/RM.3.2023.63-71>
15. Курбанова, Д., Шахбазова, Н., Сулейманова, Л., Мирзоева, . Х., Кулиева, И., & Шахбазова, А. (2025). СРАВНИТЕЛЬНАЯ ОЦЕНКА ПРОГНОСТИЧЕСКОЙ ЗНАЧИМОСТИ РАЗЛИЧНЫХ МАРКЕРОВ ПРЕЖДЕВРЕМЕННЫХ РОДОВ. *Azerbaijan Medical Journal*, (2), 78-84. <https://doi.org/10.34921/amj.2025.2.013>
16. Conde-Agudelo A, Romero R. Cervical phosphorylated insulin-like growth factor binding protein-1 test for the prediction of preterm birth: a systematic review and metaanalysis. *Am J Obstet Gynecol*. 2016 Jan;214(1):57-73. doi: 10.1016/j.ajog.2015.06.060. Epub 2015 Jul 3. PMID: 26149828; PMCID: PMC4698061.
17. Квон, Х., Сон, Дж.-Х., Пак, Х.С., Квон, Дж.-Й., Чон, Й.Дж., Соль, Х.-Дж., Ким, Х.М., Сон, В.Дж., Хван, Х.С., О, С.-Й., и от имени Корейского консорциума по изучению цервикальной эластографии в прогнозировании преждевременных родов. (2025). Диагностическая эффективность цервикальной эластографии в прогнозировании спонтанных преждевременных родов при беременности с угрозой преждевременных родов. *Диагностика* , 15 (15), 1934. <https://doi.org/10.3390/diagnostics15151934>
18. Гондани, П., Кумбхакарн, С., Майти, П., и Капат, К. (2024). Последние достижения и проблемы в ранней диагностике и лечении преждевременных родов. *Биоинженерия* , 11 (2), 161. <https://doi.org/10.3390/bioengineering11020161>
19. КГП на ПХВ «Многопрофильная центральная районная больница Аягозского района» УЗ области Абай. Сводный отчет акушерско-гинекологической службы Аягозского района за 2023–2025 гг. (внутренний документ). Аягоз, 2025. Первичная медицинская документация: обменные карты беременных, истории родов, протоколы УЗИ и КТГ (ретроспективный анализ, серия случаев n=21). Аягоз, 2025.

Хронический гастрит у взрослых: эпидемиология, группы риска и современные подходы к лечению и профилактику

Калдарбек Еркемарал Досымбековна

интерн студент

Научный руководитель:

Отумбаева Енлик Тойлыбековна

преподаватель кафедры «Внутренние болезни», Международный казахско-турецкий университет им. Ходжи Ахмеда Ясави

Аннотация

Хронический гастрит является одной из наиболее распространённых патологий желудочно-кишечного тракта и представляет значительную проблему здравоохранения во всём мире. Ключевым фактором развития заболевания выступает инфекция *Helicobacter pylori*, однако на его возникновение влияют также питание, образ жизни и социально-экономические условия. Часто заболевание протекает бессимптомно или с мало выраженными симптомами, что затрудняет раннюю диагностику и увеличивает риск осложнений, включая атрофические изменения слизистой и рак желудка. Настоящее исследование направлено на изучение эпидемиологии хронического гастрита, определение групп повышенного риска и оценку эффективности профилактических стратегий среди взрослого населения. Полученные данные позволяют определить наиболее значимые факторы, способствующие развитию гастрита, и обосновать меры для снижения заболеваемости и предотвращения осложнений.

Ключевые слова: хронический гастрит, *Helicobacter pylori*, группы риска, эндоскопия, эрадикационная терапия, профилактика.

Введение

Гастрит определяется как воспалительное поражение слизистой оболочки желудка и часто используется в клинической практике для описания патологических изменений, выявляемых при эндоскопии или радиологических исследованиях. Он включает инфекционно-иммунные процессы воспаления и реакцию организма на них. Для подтверждения диагноза необходимо наличие гистопатологических данных [1].

По данным систематических обзоров, распространенность *H. pylori* среди взрослых в период 2015–2022 гг. составила около 43,9%, что подчеркивает ведущую роль инфекции в развитии хронического гастрита [2,3]. В развитых странах снижение частоты инфекционного гастрита наблюдается на фоне роста аутоиммунного гастрита, который чаще выявляется у женщин и пожилых людей и составляет 2–5% [4,5].

Эпидемиологическая картина гастрита

Возрастная динамика:

Распространенность гастрита увеличивается с возрастом. Наибольший процент случаев наблюдается у лиц старше 60 лет (35–40%) и в возрастной группе 40–59 лет (30–35%)

[6]. У молодых людей 18–25 лет показатели составляют около 16%, а в возрасте 55–66 лет — до 25%. У детей и подростков заболевание встречается реже — 5–7% [4].

Гендерные различия:

Женщины составляют 55–60% пациентов, мужчины — 40–45%. Различия объясняются аутоиммунными особенностями, гормональной активностью и повышенной чувствительностью слизистой к стрессу и лекарственным препаратам, например, нестероидным противовоспалительным средствам. В молодом возрасте заражение *H. pylori* у мужчин и женщин примерно одинаково, но после 40 лет различия становятся более выраженными [7].

Клинические формы и атрофические изменения:

Хронический гастрит выявляется более чем у 50% населения. Атрофический гастрит встречается у 33% пациентов, особенно в регионах с высоким риском рака. Поперечные исследования показывают, что 14% взрослых имеют поверхностный гастрит, а 28% — атрофические изменения, что указывает на высокий риск осложнений [8].

Группы риска:

Пожилые (>60 лет) — высокая вероятность атрофического гастрита и кишечной метаплазии, полипрагмазия повышает риск осложнений [3,6].

Женщины и лица с аутоиммунной патологией — чаще выявляется аутоиммунный гастрит, возможны осложнения дефицитной анемией В12. Рекомендуется эндоскопический контроль у пациентов с аутоиммунным тиреоидитом и сахарным диабетом 1 типа [5].

H. pylori-позитивные — неинвазивное тестирование и эрадикация эффективно предотвращают прогрессирование гастрита и осложнения [6,8].

Низкий социально-экономический статус — плохие санитарные условия, высокая плотность населения и низкое качество питьевой воды связаны с распространением *H. pylori* [7].

Нездоровый образ жизни — курение, алкоголь, нерегулярное питание, чрезмерное потребление острой и соленой пищи, хронический стресс и нарушение сна увеличивают риск обострений [1, 3].

Современные подходы к лечению хронического гастрита

Современное лечение хронического гастрита направлено на устранение причины заболевания, уменьшение воспаления слизистой и профилактику осложнений. Основным методом при инфекционном гастрите — эрадикационная терапия *H. pylori* с использованием комбинированных схем антибиотиков и ингибиторов протонной помпы, что позволяет снизить риск атрофии и развития рака желудка. Для контроля кислотности и облегчения симптомов применяются протонные ингибиторы и антациды, а также препараты, формирующие защитную пленку на слизистой. Немаловажное значение имеет нутритивная поддержка и изменение образа жизни, включающие коррекцию диеты, отказ от курения и алкоголя, управление стрессом и физическую активность. При аутоиммунном гастрите терапия носит персонализированный характер: учитываются дефициты витаминов и анемия, проводится эндоскопический контроль и наблюдение за аутоантителами для раннего выявления осложнений [6,8].

Современное лечение хронического гастрита основывается на индивидуальном подходе с учётом причины заболевания, степени воспаления и наличия сопутствующих факторов. Главные цели терапии включают устранение причины воспаления, снижение кислотности, защиту слизистой желудка, профилактику осложнений и улучшение качества жизни пациента [3].

Эрадикация *Helicobacter pylori* является ключевым методом при инфекционном гастрите. Обычно применяются тройные или четверные схемы, включающие ингибитор протонной помпы и два антибиотика (кларитромицин и амоксициллин или метронидазол),

при необходимости добавляется висмут. Цель такой терапии — уничтожение инфекции, снижение воспаления и профилактика атрофии слизистой и риска рака желудка. После курса лечения обязательно проводят контрольное тестирование на наличие *H. pylori*[4,5]..

При симптоматическом гастрите, эрозивной форме или повышенной кислотности применяются ингибиторы протонной помпы (омепразол, пантопразол, эзомепразол) и антациды. Эти препараты снижают кислотность желудочного сока, защищают слизистую и уменьшают болевой синдром и дискомфорт. Дополнительно может использоваться субцитрат висмута для защиты слизистой[9]..

Не менее важной является нутритивная поддержка и изменение образа жизни. Всем пациентам рекомендуется соблюдение диеты с ограничением острой, кислой и жирной пищи, отказ от алкоголя и курения, а также умеренная физическая активность. Эти меры помогают предотвратить обострения, поддерживать здоровье слизистой и улучшать общую функцию желудочно-кишечного тракта.

Особый подход требуется при аутоиммунном гастрите, который часто сопровождается анемией и дефицитом витамина B12. Лечение включает регулярный эндоскопический контроль, наблюдение за аутоантителами и коррекцию питания и витаминной поддержки. Основная цель — предотвращение осложнений, мониторинг прогрессирования заболевания и поддержание нормального уровня витамина B12.

Таким образом, современный подход к лечению хронического гастрита сочетает лекарственную терапию, направленную на устранение причины и защиту слизистой, с изменением образа жизни и персонализированной поддержкой при особых формах заболевания. Такой комплексный подход позволяет эффективно контролировать симптомы, снижать риск осложнений и улучшать качество жизни пациентов[8,9].

Профилактика гастрита

Первичная: раннее выявление и эрадикация *H. pylori*, улучшение санитарных условий, формирование правильных пищевых привычек, ограничение курения и алкоголя, контроль приема лекарств [7].

Вторичная (скрининг): усиленный эндоскопический контроль у лиц из групп риска, динамическое наблюдение пациентов с атрофическим гастритом, внедрение популяционных скрининговых программ в регионах с высокой заболеваемостью раком желудка [3,7].

Третичная: предупреждение осложнений, повышение комплаентности пациентов, систематизация диспансерного наблюдения.

Выводы

Хронический гастрит остаётся одной из наиболее распространённых болезней желудочно-кишечного тракта с постоянно растущей заболеваемостью. Основным этиологическим фактором является инфекция *Helicobacter pylori*, при этом образ жизни, питание и социально-экономические условия значительно влияют на риск развития заболевания. Симптомы гастрита часто слабо выражены, что затрудняет раннюю диагностику и повышает вероятность атрофических изменений и онкологических осложнений. Наибольшая распространённость наблюдается среди пожилых людей, женщин и пациентов с аутоиммунной патологией. Современная терапия сочетает эрадикацию *H. pylori*, контроль кислотности, защиту слизистой и коррекцию образа жизни, что позволяет снизить воспаление и предотвратить осложнения. Профилактические меры, включая раннее выявление инфекции, скрининг групп риска и нутритивную поддержку, играют ключевую роль в контроле заболевания. Комплексный индивидуализированный подход обеспечивает улучшение качества жизни пациентов и минимизацию риска тяжёлых последствий хронического гастрита.

Литература

1. Ali A, AlHussaini KI. Helicobacter pylori: A Contemporary Perspective on Pathogenesis, Diagnosis and Treatment Strategies. *Microorganisms*. 2024;12(1):222. doi:10.3390/microorganisms12010222
2. Cho JH, Jin SY. Diagnosis and treatment of Helicobacter pylori infection: past, present, and future. *Future Microbiol*. 2025;20(13):913-929. doi:10.2217/fmb-2025-0054
3. Zhang Z, Chen S, Li S, et al. Association of Helicobacter pylori related chronic atrophic gastritis and gastric cancer risk: a literature review. *Front Med*. 2025;12:1504749. doi:10.3389/fmed.2025.1504749
4. Liu Z, Xu H, You W, et al. Helicobacter pylori eradication for primary prevention of gastric cancer: progresses and challenges. *J Natl Cancer Cent*. 2024;4(4):299-310. doi:10.1016/j.jncc.2024.04.005
5. Xie L, Liu GW, Liu YN, et al. Prevalence of Helicobacter pylori infection in China from 2014–2023: A systematic review and meta-analysis. *World J Gastroenterol*. 2024;30(43):4636-4656. doi:10.3748/wjg.v30.i43.4636
6. Cao X, Yang Y, Zhang Y, et al. Impact of Helicobacter pylori on the gastric microbiome in patients with chronic gastritis: a systematic review and meta-analysis protocol. *BMJ Open*. 2023;13(3):e050476. doi:10.1136/bmjopen-2021-050476
7. Livzan MA, Bordin DS, Gaus OV, et al. Classification of chronic gastritis: historical digression and current state of the issue: a review. *Ter Arkh*. 2024;96(2):153-158. doi:10.26442/00403660.2024.02.153-158
8. Higgins K, Nyssen OP, Veselkov D, et al. The Helicobacter pylori AI-Clinician: Harnessing Artificial Intelligence to Personalize H. pylori Treatment Recommendations. *arXiv preprint*. 2024. arXiv:2412.06841
9. Балабина НМ, Дружинина КД, Нуриева ДА, и др. Гематологические индексы как маркеры субклинического воспаления у пациентов с Helicobacter pylori-ассоциированными заболеваниями. *Актуальные исследования*. 2025. Available from: <https://apni.ru/article/12195-gematologicheskie-indeksy-kak-markery-subklinicheskogo-vospaleniya-u-pacientov-s-helicobacter-pylori-associirovannymi-zabolevaniyami-yazvennaya-bolezn-hronicheskij-gastrit>

Острый миокардит, имитирующий острый коронарный синдром: клинический случай

Сұлтан Айжан Смағұлқызы

врач-интерн НАО «Карагандинский медицинский университет», Казахстан,
Караганда

Асылжан Азат

врач-интерн НАО «Медицинский университет Астана», Казахстан, Астана

Таукелова Медина Корганбековна

врач-резидент кардиолог НАО «Карагандинский медицинский университет»,
Казахстан, Караганда

Аннотация. Острый миокардит представляет собой воспалительное заболевание миокарда, развивающееся вследствие воздействия инфекционных, иммуновоспалительных и токсических факторов. Патология встречается во всех возрастных группах и характеризуется значительным клиническим полиморфизмом, что нередко обуславливает её сходство с другими острыми сердечно-сосудистыми состояниями и затрудняет своевременную диагностику. Особое клиническое значение имеет дифференциальная диагностика с острым коронарным синдромом ввиду совпадения основных клинико-инструментальных проявлений, включая болевой синдром, электрокардиографические изменения и повышение уровня тропонинов. Диагноз устанавливается на основании комплексной оценки клинической картины, лабораторных показателей, данных эхокардиографии и коронарографии. Ранняя и точная верификация диагноза играет ключевую роль в определении лечебной тактики и улучшении прогноза заболевания.

Ключевые слова: миокардит, воспаление миокарда, острый коронарный синдром, подъем сегмента ST, тропонин.

Миокардит классифицируется на острую, молниеносную, подострую и хроническую формы в зависимости от клинического течения и длительности заболевания. Острая форма устанавливается при интервале менее одного месяца между дебютом симптомов и верификацией диагноза.

Молниеносный миокардит является наиболее тяжелым вариантом течения и характеризуется быстрым прогрессированием с развитием кардиогенного шока, требующего инотропной поддержки и/или механической поддержки кровообращения.

Подострая форма определяется сохранением воспалительной активности и продолжающимся повреждением миокарда на фоне персистирующего либо рецидивирующего воспалительного процесса. В ряде случаев она рассматривается как стадия восстановления после перенесенного острого процесса. Диагностическим критерием служит длительность от 1 до 3 месяцев от начала клинических проявлений.

При сохранении симптоматики более 1 месяца заболевание расценивается как хроническая воспалительная кардиомиопатия, имеющая клинико-патогенетическое перекрытие с подострой формой [1].

Заболевание встречается во всех возрастных группах, однако наиболее часто диагностируется у пациентов 20-50 лет. Клинические проявления характеризуются

выраженной вариабельностью, что существенно снижает диагностическую настороженность и затрудняет раннюю верификацию диагноза [2].

Клинический спектр миокардита варьирует от бессимптомного течения до тяжелых форм с клиникой острого коронарного синдрома, острой сердечной недостаточности и жизнеугрожающих аритмий [3]. Наиболее частыми симптомами являются загрудинная боль (85-95%), лихорадка (около 65%) и одышка (19-49%) [1, с. 89]. У большинства пациентов развитию заболевания предшествует продромальный период, проявляющийся симптомами респираторной, гриппоподобной либо гастроинтестинальной инфекции.

Анамнестические данные имеют ключевое значение для установления вероятной этиологии и выбора диагностической стратегии. Наиболее частыми триггерами являются вирусные инфекции (Coxsackie, аденовирусы, парвовирус B19), а также SARS-CoV-2 [3]. Существенное значение имеют сведения о поездках, приеме лекарственных препаратов, вакцинации, иммунном статусе и наличии аутоиммунных заболеваний [4], поскольку данные факторы расширяют дифференциально-диагностический ряд.

Клинический случай. В экстренном порядке по линии скорой медицинской помощи в многопрофильную больницу г.Караганды госпитализирован мужчина 27 лет с клинической картиной острого коронарного синдрома давностью около 2 часов. Основная жалоба - давящие, сжимающие боли за грудиной.

Хронические заболевания в анамнезе не отмечает, наследственный анамнез не отягощен, вредные привычки отрицает. Со слов пациента, эпизодически отмечались повышения систолического артериального давления до 140 мм рт. ст., ранее у кардиолога не наблюдался и не обследовался. Настоящее ухудшение состояния началось за 2 дня до госпитализации с повышения температуры тела до 38 °С, после чего присоединились загрудинные боли. В связи с ангинозным синдромом неоднократно была вызвана бригада скорой медицинской помощи, в первый раз пациент оставлен на месте. В динамике отмечено усиление ангинозного синдрома, в связи с чем повторно вызвана СМП. На электрокардиограмме зарегистрирован подъем сегмента ST по нижней стенке.

При поступлении состояние пациента расценено как тяжелое за счёт выраженного ангинозного синдрома. Гемодинамика стабильная: ЧСС 78 уд/мин, АД 110/80 мм рт. ст. Со стороны других органов и систем клинически значимой патологии не выявлено. Уровень тропонина составил 15,94 нг/мл.

В общем анализе крови отмечен умеренный лейкоцитоз $13,2 \times 10^9/\text{л}$ при сохранении остальных показателей в пределах референсных значений. В биохимическом анализе крови выявлено повышение АЛТ до 109,6 МЕ/л, АСТ до 207,6 МЕ/л, а также значительное увеличение С-реактивного белка до 81,65 мг/л.

В связи с сохраняющимся ангинозным синдромом пациент в экстренном порядке направлен в рентгенооперационную для проведения коронарной ангиографии, по результатам которой гемодинамически значимого поражения коронарного русла не выявлено.

По данным эхокардиографии выявлен гипокинез всех апикальных сегментов левого желудочка. Глобальная систолическая функция левого и правого желудочков сохранена, фракция выброса левого желудочка составила 50%. Для исключения пневмонии выполнена компьютерная томография органов грудной клетки, по результатам которой данных за воспалительные изменения легочной ткани не получено. Уровень прокальцитонина составил 0,1 нг/мл, что не свидетельствует в пользу бактериального воспалительного процесса. Вместе с тем отмечено повышение натрийуретического пептида до 1413,2 пг/мл, отражающее наличие гемодинамической нагрузки на миокард.

С учетом молодого возраста пациента, связи дебюта заболевания с перенесенной респираторной инфекцией, отсутствия значимого поражения коронарного русла по данным

коронарографии, а также выявленных нарушений локальной сократимости миокарда по данным ЭхоКГ, клиническая картина расценена как Острый миокардит.

В результате проведенной противовоспалительной терапии отмечена положительная динамика состояния пациента. Зарегистрирован регресс проявлений интоксикационного синдрома и признаков сердечной недостаточности, кардиалгии не отмечается, гемодинамика стабильная. На электрокардиограмме отмечаются слабовыраженные отрицательные зубцы Т в отведениях II, III, aVF, V3-V6, при этом сегмент ST на изолинии.

При контрольной эхокардиографии через 7 суток четких зон нарушения локальной сократимости левого желудочка не выявлено. Глобальная систолическая функция левого и правого желудочков сохранена, фракция выброса левого желудочка увеличилась до 58%. В лабораторных показателях также отмечена положительная динамика: уровень С-реактивного белка снизился до 0,82 мг/л, активность АЛТ до 90,9 МЕ/л, АСТ до 24,2 МЕ/л. Общее состояние пациента расценено как удовлетворительное, на фоне терапии достигнута клиничко-лабораторная стабилизация.

Диагностика острого миокардита представляет значительные трудности вследствие выраженной гетерогенности клинических проявлений, варьирующих от бессимптомного течения до картины, имитирующей острый коронарный синдром и острую сердечную недостаточность. Наличие болевого синдрома в грудной клетке, ишемических изменений на ЭКГ (включая смещение сегмента ST), а также повышение уровня кардиоспецифических маркеров (тропонин) требует обязательного исключения острого инфаркта миокарда. Эхокардиографические изменения, такие как глобальная или региональная дисфункция левого желудочка и нарушения диастолической функции, не являются специфичными и могут встречаться при различных кардиальных патологиях. В связи с этим ключевым этапом диагностического алгоритма остается проведение коронарной ангиографии для исключения обструктивного поражения коронарных артерий и подтверждения некоронарогенной природы повреждения миокарда.

Выводы:

1. Острый миокардит может полностью имитировать острый коронарный синдром с подъемом сегмента ST.
2. Отсутствие поражения коронарных артерий является ключевым критерием в дифференциальной диагностике.
3. Повышение тропонина и изменения ЭКГ не являются специфичными признаками инфаркта миокарда.
4. Инфекционный продромальный период является важным диагностическим маркером.
5. Комплексный подход с использованием ЭхоКГ, КТ, лабораторных данных и коронарографии позволяет установить правильный диагноз.

Представленный клинический случай демонстрирует диагностические сложности острого миокардита, особенно при его манифестации в виде острого коронарного синдрома. Своевременное проведение коронарографии и комплексная оценка клиничко-инструментальных данных позволяют избежать диагностической ошибки и определить воспалительную природу поражения миокарда.

Список литературы:

1. Ammirati E, Frigerio M, Adler ED. et al. Management of acute myocarditis and chronic inflammatory cardiomyopathy: an expert consensus document. *Circ Heart Fail* 2020;663-87.
2. Caforio ALP, Calabrese F, Angelini A. et al. A prospective study of biopsy-proven myocarditis: prognostic relevance of clinical and aetiopathogenetic features at diagnosis. *Eur Heart J* 2007;28: 1326-33.
3. Cooper LT, Jr. Medical progress: myocarditis. *New Engl J Med* 2009; 360:1526-38.
4. Guzik TJ, Mohiddin SA, Dimarco A. et al. COVID-19 and the cardiovascular system: implications for risk assessment, diagnosis, and treatment options. *Cardiovasc Res* 2020; 116:1666-87.

Historical Sciences

332.1:351

Аймақтық басқару тәжірбиесі және Тұранбике аңызы

Сабек Дильназ

Тұран университетінің Аймақтану мамандығының 2 курс студенті.

Ғылыми жетекшісі:

ТулековаГүлжан

Аңдатпа

Мақалада аймақтық басқару тәжірибе және тарихи басқару жүйесі соның ішінде «Тұранбике» аңызы қарастырылды. Зерттеу барысында Тұранұғымының дереккөздердегі көрінісі соның ішінде Авеста мен Шахнама еңбектеріндегі мәліметтер талданады. Сонымен қатар Низами Гәнжауи Франсуа Пети де ла Круа, Карло Гоцци және Джакома Пуччини шығармаларындағы Тұранбике бейнесінің түрлі трансформациясы қарастырылады. Зерттеу нәтижесінде Тұранбике аңызындағы үміткерлерді іріктеу моделі билікке ең қабілетті тұлғаны таңдауға негізделген. Және бұл принцип қазіргі басқару жүйесіндегі меритократия ұғымымен сәйкес келеді. Және мақалада заманауи мысалдармен зерттеліп цифрландырудың рөлі қарастырылып оларды тарихи тәжірбиелермен байланыстырып талдаймыз.

Кілт сөздер: аймақтық басқару, басқару тәжірбиесі, тарихи тәжірибе, халық аңыздары, Тұранбике аңызы, әділдік, шешім қабылдау, жергілікті басқару, цифрландыру.

Кіріспе

Тұранбике Еуропа әдебиеттерінде белгілі атаумен Турандот адамзат мәдениетінде ерекше орын алатын күрделі және көпқырлы бейне болыптабылады. Бұл образ нақты бір тарихи дерекке сүйенбейді, керсінше әртүрлі дәуірлер мен мифтерге халықтардың аңыздары нәтижесінде қалыптасқан. Сондықтан Тұранбике бейнесі тек әдеби кейіпкер емес тарихи-мәдени құбылыс ретінде қарастыру қажет. Қазіргі таңда Тұранбике көбіне Қытай ханшайымы ретінде танылып кеткенімен оның шығу тегі туралы ғылыми пікірлер әртүрлі. Осыған байланысы зерттеудің мақсаты

Тұранбике бейнесінің мәдени және тарихи негізін талдап оның шынайылығы тегін анықтау. Тұранбике бейнесі негізінде ежелгі Тұран кеңістігі туралы түсінік жатыр. Тұран даласы Орталық Азияны қамтыған тарихи аймақ. Бұл аймақ туралы мәліметтерді зороастризмнің қасиетті кітабы Авестада кездеседі. Бұл кітапта Тұран кең, бай әскери күшті мемлекет ретінде сипатталады. Деректер сүйенсек бұл өңірлерде хиониттер, протохундар сияқты тайпалар өмір сүрген. [1]

Кейінірек бұл түсінік Шахнама эпосында да жалғасын тапты. Ақын Фирдоуси өз еңбегінде Тұран даласымен Иран арасындағы күресті бейнелеп Тұранды батырлық пен ерліктің символы ретінде көрсетеді. Ақын аты аңызға айналған Феридун патша өзіне бағынышты жерлерді үш бөлікке бөлгенін атап өткен: «Бір бөлігі – Батыс пен Рум, екіншісі – Қытай мен Тұран, үшіншісі – Жауынгерлер шөлі мен Иран. Яғни Тұран кеңістігі тек географиялық ұғым ғана емес мәдени мәнге ие болды. [2] Яғни Тұран кеңістігі тек географиялық ұғым емес сонымен қатар мәдени мәнге ие болды. Тұранбике бейнесінің қалыптасуына тағы бір үлес қосқан бұл Низами Гәнжауидің шығармалары. Оның <Жеті ару> поэмасында

ханшайымдардың күйеу таңдауда түрлі сынақ ұйымдастыруы ,жұмбаққою мотиві көрсетіледі.Бұл элементтер Тұранбике аңызының сюжеттік желісіне айналды.Негізгі мазмұн бойынша Тұранбике ақылды әрі қатал ханшайым болған.Ол өзіне үйленгісі келген үміткерлерге үш жұмбақ қояды.Келген үміткерлер жауап бере алмаған жағдайда өлім жазасына кесіп отырған.Яғни бұл шарт билікке жетудің күрделігін,ақыл мен қабілеттің маңыздылығын көрсетеді.Бұл жерде билік күш арқылы ғана емес интеллектуалдық сынақ ретінде де берілед.Тұранбикенің қаталдығы қатігездіктен емес билікке деген жауапкершіліктен туындаған.Ол егер адамда тіптен үш жұмбақты шеше алмаса ,бір тұтас елді қалай басқарады деген ұстанымда болған.Бұл дегеніміз әйел адамның мемлекеттік деңгейде олай алатыны ,ел тізгінін ұстайтын адамға талапты жоғары қоятынын білдіреді.XVII-XVIII ғасырларда Тұранбике туралы сюжеттер Еуропаға таралды.Француз шығыстанушысы Франсуа Пети де ла Круа <Мың бір күн> атты жинағында әртүрлі шығыс ертегілерін біріктіріп Тұранбике туралы аңызды өңдеп, әдеби формаға түсірді. Бұл жинақ Мың бір күн деп аталып, Еуропада кең таралды. Зерттеулер көрсеткендей, бұл шығарма нақты бір түпнұсқаға емес, әртүрлі дереккөздердің негізінде жасалған.

Кейбір зерттеушілер Тұранбике бейнесінің артында нақты тарихи тұлға бар дейді.Мысалы Амирикалық тарихшы Джек Уэззерфорд бұл бейненің прототипі ретінде моңғол ханшайымы Хултунды айтқан болатын. Хутулун — Қайду ханның қызы, ерлермен күресіп, тек өзін жеңген адамға ғана тұрмысқа шығатынын айтқан батыл әрі күшті әйел. Бұл қасиеттер

Тұранбике бейнесіне өте ұқсас. Сонымен қатар, Алтан хан дәуіріндегі Бальджин-Хатун сияқты тұлғалар да аңыздың қалыптасуына әсер етуі мүмкін.Тағы бір бейне ретінде масагеттердің патшайымы Томирискеде ұқсатып жатады. [3] Алайда бұл айтылған тұлғалардың ешқайсысы Тұранбикенің бейнесімен сәйкес келмиді.Бұл деректер Тұранбикенің нақты бір тарихи тұлға емес әртүрлі образдардан құралған нұсқа екенін көрсетеді. Жалпы Тұранбике бейнесі одан әрі Еуропада дамып,әдеби және сахналық өнерде кеңінен қолданылды.Итальян драматургі Карло Гоцци ТУРАНДОТ пьесасын жазып образды театр сахнасына шығарды.Кейін неміс ақыны Фридрих Шиллер бұл шығарманы қайта өңдеп шығарды. Композитор Джакомо Пуччини «Турандот» операсын жазып, бұл бейнені әлемдік музыка мәдениетіне енгізді. Операда Қытай элементтері қолданылғанымен, зерттеулер бұл бейненің шынайы қытайлық емес екенін көрсетеді.[4] Негізгі себебіне тоқталсақ Еуропалық шығармаларда Тұранбике Қытай ханшайымы ретінде бейнеленеді ,алайда қытай әдебиеті мен фольклорында мұндай кейіпкер кездеспейді.Қытай зерттеушілері бұл сюжеттің Қытайдан шығпағанын дәлелдеуге тырысты.Және тіпті ұзақ уақыт бойы Қытайда Турандот операсын көрсетуге тыйым салынды, өйткені ол қытай мәдениетін бұрмалап көрсетеді деп есептелді.Тұранбике бейнесі қазіргі таңда театр,опера және кино өнерінде де кеңінен қолданылып келеді.Пуччинидің операсы , басқада театр қойылымдары ,фильмдерде бұл образды көрсетеді.Мысалы Карло Гоцци жазған ТУРАНДОТ пьесасы әртүрлі елдерде сахна төрінде көрініп ,әр режиссер тарапаны жаңа идеялар арқылы толықтырылып келеді.Соның ішінде Қазақстанда Абай атындағы Қазақ Ұлттық опера және балет театры сахнасында Пуччини операсы бірінші рет қойылған болатын.Сонымен қатар Астана Опера театры да бұл туындыны заманауи рижжисерлік шешімдермен сахнаға ұсынған болатын.

Кино әлемінде алыс емес , мысалға Қытайда түсірілген <Тұрандот қарғысы> фильмінде бұл образ фантастикалық жанрда қайта өңделіп ,Туранбике бейнесін мифологиялық және символикалық түрде ұсынды. Бұдан бөлек Орталық Азия елдерінде де бұл тақырыпқа қызығушылық арттуда.Қырғыстан Әзербайжан және Өзбекстан театрларында

ТУРАНДОТ түрлі қойылымдар мюзиклдер сахналанып ұлттық интерпретациялар пайда болуда.Бұл деген Тұранбике бейнесі тек еуропалық емес ,қайтадан Шығыстық яғни оның ішінде түркілі мәдениетке оралып жатқанын көрсетеді.

Жалпы Тұранбике бейнесін тек әдеби немесе мифологиялық кейіпкер ретінде емес, сонымен қатар аймақтық басқару жүйесінің символдық көрінісі ретінде қарастыруға болады. Аңыздың негізгі сюжетінде ханшайым билікке үміткерлер таңдауда үш жұмбақ арқылы өткізеді. Бұл бастапқыда айтылғандай билікке жетудің интеллектуалдық қабілеттілігін іріктеу принципіне негізделеді.

Бұл принциптерді қазіргі басқару жүйесіндегі рөлін және интеллектуалдық іріктеудің басқарудағы мәнін ашсақ.

Бұл жерде жұмбақтың өзі емес, оның функциясы маңызды. Яғни, ол: Басқарушының ойлау қабілетін, Күрделі жағдайларда шешім қабылдауын, Жауапкершілік деңгейін анықтайтын құрал ретінде қызмет етеді.

Сондықтан бұл механизмді қазіргі басқару жүйесіндегі:

Кадрларды бағалау,

Кәсіби іріктеу,

Біліктілікті тексеру жүйелерімен салыстыруға болады

Аймақтық басқарудағы легитимділік факторы

Бұл модельдің тағы бір маңызды қыры – биліктің заңдылығын қамтамасыз ету. Яғни, мұнда негізгі мәселе – кім билікке келеді? емес, неге дәл сол адам билікке лайық? деген сұрақ. Осы тұрғыдан: Іріктеу процесінің ашықтығы, Талаптардың нақты болуы, Нәтижесінің айқын көрінуі биліктің легитимділігін арттырады.

Бұл қазіргі аймақтық басқарудағы: Ашықтық әділдік, есеп берушілік принциптерімен тікелей байланысты.

3. Басқарудағы гендерлік аспект

Тұранбике бейнесі арқылы басқарудағы әйел рөлі де ерекше көрсетіледі.

Бұл жерде маңыздысы – тек әйел билігі емес, оның басқару стилі.

Аңыздағы ханшайым: рационалды шешім қабылдайды, жүйе құрады, талап қояды. Бұл қазіргі басқару теориясындағы: тиімді көшбасшылық, стратегиялық ойлау, жауапкершілік ұғымдарымен сәйкес келеді.

Қорытынды

Қорытындылай келе, Тұранбике (Турандот) – нақты тарихи тұлға емес, әртүрлі мәдениеттер мен дәуірлердің ықпалымен қалыптасқан күрделі образ болып табылады. Оның түп-тамыры Тұран өркениетіне байланысты болғанымен, Еуропалық интерпретациялар нәтижесінде бейне айтарлықтай өзгеріске ұшыраған. Бүгінгі таңда бұл образды қайтақарастыру, оның тарихи-мәдени негіздерін дұрыс түсіну маңызды. Тұранбике бейнесі тек әдеби кейіпкер ғана емес, сонымен қатар мәдени және басқарушылық идеяларды бейнелейтін әмбебап символ ретінде қарастырылады.

Түйіндеме

Қорытындылай келе, Тұранбике (Турандот) бейнесі әртүрлі тарихи деректер мен әдеби дәстүрлердің ықпалымен қалыптасқан күрделі мәдени образ болып табылады. Оның түп-тамыры шығыстық өркениетке, әсіресе Тұран кеңістігіне байланысты болғанымен, еуропалық интерпретациялар нәтижесінде мазмұны өзгеріске ұшыраған. Сонымен қатар, Тұранбике бейнесіндегі билікке жетудің интеллектуалдық механизмі қазіргі басқару жүйесіндегі меритократиялық қағидалармен үндеседі. Бұл образды тек әдеби кейіпкер ретінде емес, сонымен қатар басқару, мәдениет және гендерлік мәселелерді қамтитын көпқырлы феномен ретінде қарастыруға болады.

Пайдаланылған әдебиеттер тізімі:

1 Авеста.

– Ежелгі парсы діни мәтіндері.

2 Фирдоуси. Шахнама.

– Алматы: Жазушы, 2004.

3 Низами Гәнжауи. Жеті ару.

– Алматы: Ғылым, 2009.

4 Алшанов Р. Тұранбике (Турандот) бейнесінің тарихи-мәдени негіздері.

– Алматы, 2020.

5 Ә.Кекілбаев. Таңдамалы шығармалар.

– Алматы: Жазушы, 1999

Physical and Mathematical Sciences

ЖАҢАРТЫЛАТЫН ЭНЕРГИЯ – БОЛАШАҚТЫҢ КӨЗІ

Нишантаев Б.З.

Е.А.Бөкетов атындағы Қарағанды ұлттық зерттеу университеті, физика және информатика мамандығының 3-курс студенті

Ғылыми жетекші:

А.С. Балтабеков

физ.-мат. ғыл. канд., PhD докторы, қауымдастырылған профессор

Бұл мақалада жаңартылатын энергия көздерінің (ЖЭК) Қазақстандағы даму перспективалары сандық талдау негізінде қарастырылады. Зерттеу барысында күн және жел энергетикасының әлеуеті бағаланып, олардың экономикалық тиімділігі мен экологиялық әсері салыстырмалы түрде талданды. Сонымен қатар, Қазақстандағы ЖЭК үлесінің динамикасы қарастырылып, көмір энергетикасымен салыстырмалы есептеулер жүргізілді. Нәтижесінде жаңартылатын энергия көздерінің парниктік газдарды азайтудағы және энергетикалық қауіпсіздікті арттырудағы рөлі дәлелденді.

Кілт сөздер: жаңартылатын энергия, күн энергетикасы, жел энергетикасы, тұрақты даму, CO₂, энергетика

Қазіргі таңда энергия тапшылығы мен климаттың өзгеруі жаһандық деңгейдегі ең өзекті мәселелердің бірі болып отыр. Дәстүрлі энергия көздерін пайдалану атмосфераға көмірқышқыл газының көп бөлінуіне алып келеді. Қазақстанда электр энергиясының шамамен 70–75%-ы көмір арқылы өндіріледі, бұл экологиялық жағдайдың нашарлауына әсер етеді [1]. Осыған байланысты жаңартылатын энергия көздерін дамыту стратегиялық маңызды бағытқа айналды.

Зерттеу барысында ғылыми әдебиеттерге талдау жасау, салыстырмалы әдіс, статистикалық деректерді өңдеу және сараптамалық бағалау әдістері қолданылды. Дереккөз ретінде халықаралық ұйымдардың есептері, Қазақстан Республикасының ресми мәліметтері және ғылыми зерттеулер пайдаланылды.

Жаңартылатын энергия мәселесі әлемдік ғылымда кеңінен зерттелген. Twidell және Weir еңбектерінде жаңартылатын энергия тұрақты дамудың негізгі элементі ретінде қарастырылады [2]. Duffie мен Beckman күн энергиясының тиімділігін ғылыми тұрғыдан дәлелдеген [3]. Manwell жел энергетикасының экономикалық және техникалық артықшылықтарын сипаттайды [4].

Қазақстандық зерттеушілер де бұл бағытқа назар аударып, елдің табиғи әлеуеті жоғары екенін атап көрсетеді. Сонымен қатар, халықаралық ұйымдар Қазақстанды жаңартылатын энергияны дамытуға қолайлы аймақ ретінде бағалайды [5].

Жаңартылатын энергия көздері табиғи түрде қалпына келетін ресурстардан алынады. Олардың негізгі түрлері – күн, жел, су және биомасса энергиясы.

Күн энергиясы Қазақстанда ең перспективалы бағыттардың бірі болып табылады. Елдің оңтүстік аймақтарында жылына 2200–3000 сағат күн сәулесі түседі, бұл күн энергетикасын дамытуға қолайлы жағдай жасайды [6].

Шағын есеп: Орташа алғанда 1 м² күн панелі жылына шамамен 150–200 кВт·сағ энергия өндіреді. Егер қуаты 1 МВт болатын күн электр станциясын қарастырсақ, оның жылдық энергия өндіруі: жылына $E \approx 1500000$ кВт·сағ.

Бұл көрсеткіш Қазақстан жағдайында күн энергетикасының жоғары тиімділігін дәлелдейді. Қазіргі уақытта Қазақстанда бірнеше ірі күн электр станциялары жұмыс істейді.

Жел энергиясының әлеуеті де жоғары. Сарапшылардың бағалауы бойынша, Қазақстанның жел энергетикалық ресурстары жылына миллиардтаған киловатт-сағат электр энергиясын өндіруге мүмкіндік береді [5]. Жоңғар қақпасы мен Шелек дәлізі жел энергетикасының негізгі орталықтары болып табылады.

Салыстырмалы талдау: Орташа жел жылдамдығы 6 м/с болған жағдайда, 1 МВт жел турбинасы жылына шамамен:

$E \approx 2000000$ кВт·сағ өндіре алады. Бұл күн энергетикасымен салыстырғанда кейбір аймақтарда жел энергиясының тиімдірек болуы мүмкін екенін көрсетеді.

Жаңартылатын энергия көздерін пайдаланудың артықшылықтары:

- экологиялық қауіпсіздік
- сарқылмайтын ресурс
- экономикалық тиімділік
- жаңа жұмыс орындарын құру.

Зерттеулер көрсеткендей, жаңартылатын энергияға салынған инвестиция ұзақ мерзімде бірнеше есе пайда әкеледі [1]. Сонымен қатар, бұл энергия түрлері парниктік газдардың бөлінуін азайтып, климаттың өзгеруін бәсеңдетеді [7].

Экологиялық әсерді бағалау: Көмір электр станциялары 1 кВт·сағ энергия өндіргенде шамамен 0.9 кг CO₂ бөледі. Егер жоғарыда қарастырылған 1 МВт күн станциясы жылына 1 500 000 кВт·сағ энергия өндірсе, онда үнемделетін көмірқышқыл газының мөлшері: жылына CO₂ ≈ 1350000 кг.

Бұл нәтижелер жаңартылатын энергияның экологиялық артықшылығын нақты сандық түрде көрсетеді.

Қазақстанда 2009 жылдан бастап жаңартылатын энергия заң жүзінде қолдау табуда. «Жасыл экономикаға көшу» тұжырымдамасы бойынша 2050 жылға дейін энергияның 50%-ын жаңартылатын көздерден алу жоспарланған [8]. Қазіргі таңда елде 100-ден астам жаңартылатын энергия нысандары жұмыс істейді.

Алайда бұл саланың дамуына кедергілер де бар. Оларға:

- жоғары бастапқы инвестиция
- технологиялық тәуелділік
- инфрақұрылымның жеткіліксіздігі жатады [9].

Қосымша талдау (экономикалық аспект): Орташа есеппен 1 МВт күн электр станциясының құны 800 000–1 000 000 АҚШ долларын құрайды. Егер жылдық өндіріс 1 500 000 кВт·сағ болса және 1 кВт·сағ бағасы шамамен 20 теңге деп алсақ, жылдық табыс: $T \approx 30000000$ теңге.

Бұл инвестицияның 6–8 жыл ішінде өзін ақтайтынын көрсетеді.

Жаңартылатын энергия – болашақтың негізгі энергия көзі. Ол экологиялық қауіпсіздікті қамтамасыз етіп, экономикалық өсімге ықпал етеді. Қазақстан үшін бұл бағытты дамыту аса маңызды, себебі елдің табиғи ресурстары жеткілікті.

Жүргізілген талдау нәтижелері жаңартылатын энергия көздерінің Қазақстан үшін стратегиялық маңызы жоғары екенін көрсетті. Сандық есептеулер күн және жел энергетикасының жыл сайын мыңдаған тонна CO₂ шығарындыларын азайта алатынын дәлелдейді. Сондықтан Қазақстанда ЖЭК дамыту тек экологиялық емес, сонымен қатар экономикалық тұрғыдан да тиімді бағыт болып табылады.

Әдебиеттер

1. Adilbekov E., Sultanov T. Renewable Energy in Kazakhstan. 2018
2. Twidell J., Weir T. Renewable Energy Resources. Routledge, 2015
3. Duffie J.A., Beckman W.A. Solar Engineering of Thermal Processes. New York, 2013
4. Manwell J.F. Wind Energy Explained. Wiley, 2010
5. International Energy Agency. Renewables Report. Paris, 2022
6. Қазақстан Республикасы Энергетика министрлігі. Жаңартылатын энергия бойынша есеп [Report]. Астана, 2023.
7. Stern N. The Economics of Climate Change. Cambridge, 2007
8. Қазақстан Республикасы. Жасыл экономикаға көшу тұжырымдамасы [Concept]. Астана, 2013.
9. OECD. Renewable Energy Development Report. Paris, 2021

Literature

ТРАНСФОРМАЦИЯ СОВРЕМЕННОЙ ПОЭЗИИ В ИНТЕРНЕТ-ЛИТЕРАТУРЕ: СЕТЕВЫЕ ФОРМЫ И МЕДИАПОЭТИКА

Арын Еркежан Жарасқызы

Департамент социально-гуманитарных наук, Университет международного бизнеса им. К.Сагадиева (UIB), Алматы, Казахстан

Аннотация

В статье рассматриваются процессы трансформации современной казахской поэзии в условиях цифровизации и развития интернет-литературы. Анализируются новые формы поэтического выражения, такие как медиапоэзия, визуальная поэзия и сетевой дискурс. Исследуется влияние социальных сетей и искусственного интеллекта на поэтическое творчество, а также процессы ремедиации традиционных поэтических форм в цифровую среду.

Ключевые слова: интернет-литература, поэзия, медиапоэзия, интертекстуальность, цифровые медиа, ремедиация.

Введение

Современный этап развития литературы характеризуется глубокой цифровизацией всех аспектов текстопорождения, бытования и рецепции художественного произведения. В условиях перехода к цифровой культуре традиционные поэтические формы претерпевают значительную трансформацию. Казнет и глобальные социальные сети становятся не просто средством дистрибуции, но и новым пространством существования поэтического текста. Актуальность исследования обусловлена необходимостью осмысления того, как меняется поэтика казахского стиха под воздействием сетевой среды, новых медиа и технологий искусственного интеллекта.

1. Теоретико-методологические основы исследования интернет-литературы

Интернет-литература (или цифровая литература — *network literature*) включает произведения, созданные специально для цифровой среды и использующие ее возможности. Понятие «born-digital» (рожденный в цифре), введенное теоретиками цифровой гуманитаристики, отражает неразрывную связь текста с гипертекстовой и мультимедийной средой. В контексте современной казахской поэзии происходит активный процесс ремедиации — перенос характеристик одного медиума в другой.

Изучение феномена казахской интернет-поэзии требует междисциплинарного подхода, включающего элементы литературоведения, семиотики и медиатеории. Сетевая поэзия разрушает традиционные границы линейного текста, предлагая читателю-пользователю новый опыт взаимодействия.

2. Специфика современной казахской медиапоэзии

Медиапоэзия представляет собой синтез словесного, визуального и аудиального искусства. В современной казахской поэзии наблюдаются следующие ключевые тенденции:

- **Интертекстуальность и сетевой дискурс:** активное включение элементов массовой культуры, мемов, аллюзий на цифровые реалии в поэтический текст.

- **Визуальная поэзия:** использование шрифтовых композиций, анимации, глитч-эффектов и эстетики Y2K в визуализации стихов в Instagram и TikTok.
- **Аудиовизуальный синтез:** перформативное чтение стихов с музыкальным сопровождением или с использованием технологий генерации речи (например, ElevenLabs).

3. Сравнительный анализ традиционной и цифровой поэзии

Для понимания масштаба изменений в поэтической форме рассмотрим сравнительную характеристику традиционной печатной и цифровой поэзии:

Критерий	Традиционная поэзия	Интернет-поэзия (медиапоэзия)
Форма бытования	Печатное издание, книга	Экран смартфона, социальные сети, веб-страницы
Интерактивность	Линейное чтение, статичный текст	Гипертекст, комментирование, создание ремиксов и коллабораций
Мультимедийность	Исключительно текст (иногда графика)	Анимация, видеоряд, звуковые эффекты, интерактивные элементы
Авторство и распространение	Индивидуальное авторство, цензура редакции	Коллективное творчество, вирусное распространение, алгоритмы

Заключение

Таким образом, трансформация современной казахской поэзии в интернет-литературе носит закономерный, эволюционный характер. Использование цифровых платформ позволяет поэтам расширять аудиторию, экспериментировать с форматами и создавать новые смыслы. Дальнейшее исследование этих процессов поможет глубже понять динамику развития казахской литературы в эпоху глобализации и цифровизации.

Список литературы

1. Smolskaya, E. P., & Barteneva, A. S. (2021). *Поэзия и её читатель в цифровую эпоху*. <https://doi.org/10.24833/2541-8831-2021-1-17-157-168>
2. Боннет, Дж. Jay David Bolter and Richard Grusin's Remediation: Understanding New Media [Электронный ресурс] / Дж. Боннет // Jay David Bolter and Richard Grusin's Remediation: Understanding New Media. — 2002. — Vol. 5, no. 1 (May). — Режим доступа: <http://hdl.handle.net/2027/spo.3310410.0005.111> (дата обращения: 06.05.2026).
3. Орда, Г. Ж. Қазіргі қазақ поэзиясындағы дәстүр және жаңашылдық / Г. Ж. Орда // Вестник КазНУ. Серия филологическая. — 2024. — Т. 195, № 3. — С. 152—... — DOI: 10.26577/EJPh.2024.v195.i3.ph014.

Art History

METHODOLOGICAL FOUNDATIONS FOR THE APPLICATION OF AI TOOLS IN THE PROFESSIONAL AND CREATIVE TRAINING OF MUSICAL POP ARTISTS

Shindaulova R.B.

Doctor of Philosophy, Professor, T. Zhurgenov Kazakh National Academy of Arts

Oserbaeva Zh. B.

Master's Student, 2nd Class, T. Zhurgenov Kazakh National Academy of Arts

The integration of artificial intelligence (AI) into the musical arts and creative industries requires the development of a fundamental methodological framework that allows us to understand this process not simply as a technological innovation, but as a profound artistic and aesthetic transformation. In the context of the "Variety Artist" specialty (educational program 6B02194 "Variety Art," T. Zhurgenov Kazakh National Academy of Arts), which aims to develop competitive, distinctive stage performers, the methodology for using AI should be based on an understanding of the genre and style specifics of variety performance. In pop-jazz, pop, and rock genres, key categories include a unique stage persona, charisma, original interpretation, and inimitable sound design.

Philosophical, aesthetic, and humanistic paradigms in artist development. The integration of artificial intelligence into the musical arts and creative industries requires the development of a fundamental methodological framework that allows this process to be understood not simply as a technological innovation, but as a profound art historical and aesthetic transformation. In the context of the "Variety Artist" program, which aims to develop competitive, distinctive stage performers, the methodology for using AI should be based on an understanding of the genre and style specifics of variety vocal and instrumental art. In the pop-jazz, pop, and rock genres, key categories invariably include a unique stage persona, charisma, an original (body-mediated) interpretation, and a distinctive sound design.

The fundamental methodological basis for integrating AI into an artist's professional and creative training is the humanistic principle: the human being must always remain the goal of the creative act. In terms of music education, this means that any neural network technologies (harmony generators, automatic arrangers, intelligent equalizers) are viewed solely as an instrumental tool serving to maximize the creative potential of a living musician. The human remains the semantic and emotional center of the artistic expression, while the computer takes on the routine tasks of technical processing, statistical selection of chord substitutions, and textural modeling. The ethics of interaction between the student performer and AI presupposes the highest degree of professional awareness: the more powerful and rapid software capabilities the algorithm provides, the deeper the artist's aesthetic, intonational, and auditory foundation must be to remain an autonomous subject of art and act as a rigorous critical filter for machine simulations.

Art Critical Approaches to AI Integration Methodology. The methodology of this study is based on a set of complementary approaches specifically adapted to the specifics of educational program 6B02194 "Variety Arts" and the requirements of art criticism:

1. The systems-analytical approach (based on M.A. Gaides and B.F. Lomov) considers the training of a musical variety artist as a holistic, dynamic artistic system, including vocal and instrumental, compositional and arranging, sound engineering, and scenographic components. Artificial intelligence is organically integrated into this system not as an external disruptor, but as an interactive subelement, providing high-speed generation of variable material, acoustic analysis, and stylistic modeling in a unified digital workspace (DAW).

2. The personality-oriented (individualizing) approach emphasizes that a pop artist's work is inextricably linked to the development of a unique image, which is perceived by the audience as the performer's personal brand. The use of AI should not be aimed at standardizing sound (which is the main risk of algorithms), but rather at identifying the student's unique timbre and stage expressiveness. The algorithm offers a range of templates, from which the artist crystallizes their uniqueness.

3. The artistic and creative (improvisational) approach utilizes AI tools as a catalyst for improvisational and arranging exploration. Spontaneity plays a crucial role in the aesthetics of pop and jazz music. AI allows the artist to instantly simulate various rhythmic and textural solutions (in "generative drum machine" mode), acting as a tireless sparring partner. However, the final aesthetic choice, articulation, and phrasing (microrhythmics) always remain with a living person, relying on their emotional apparatus.

Synergy, Cognitive Partnership, and the Phenomenon of "Neuroaleatorics." The central methodological concept of artist-machine interaction in pop music is the idea of synergy and cognitive partnership. In contemporary art criticism, this interaction is classified (according to V.E. Grigoriev) as a "generative duet" mode, in which the composer-performer and the algorithm exchange musical ideas in real time. The human generates the initial emotional or textual impulse (prompt), the machine offers dozens of variations on its harmonic or rhythmic development, and the artist carries out the final selection, editing, and, most importantly, the live stage or vocal embodiment.

This gives rise to the phenomenon of neuroaleatorics—controlled algorithmic randomness within a given stylistic framework. For example, when creating a pop arrangement, a student inputs genre (synthwave), tempo (120 BPM), and emotional tone parameters into an AI system (AIVA, Amper Music), resulting in a randomly generated motif, which is then manually deconstructed, harmonically complexified, and timbrally enriched in a sequencer.

However, a critical aspect defining the limits of AI application is the machine's inability to generate meaning, or the problem of "emotionless creativity." True creativity is rooted in human biography, sociocultural experience, and emotional experiences. True creativity is intersubjective and embodied: the process of extracting living sound and forming meaning occurs through the human body. AI, on the other hand, is incapable of feeling; it merely simulates emotions by analyzing statistics. This is precisely why algorithmic generation without human participation is merely a simulation, and AI is conceptualized solely as a cognitive partner (assistant).

Integration of AI tools into the core disciplines of program 6B02194 "Variety Arts." The modern music scene demands not only performance skills but also self-production skills. In a highly competitive music market, the ability to independently create high-quality arrangements and demo recordings (pre-production) is crucial. The methodology for training artists in the "Variety Arts" program involves the in-depth integration of specific AI tools directly into the core disciplines outlined in the Modular Educational Program:

1. Integration into the "Computer Notation Editors" course and the arrangement cycle. According to the curriculum, students must master the skills of working with computer notation

editors, importing MIDI files, and creating scores for big bands and small ensembles. AI-powered programs (generative MIDI plugins, built-in tools in modern DAWs like Logic Pro Drummer) seamlessly complement this process. Students use AI to create the so-called "skeleton" of a composition. Machine learning enables the generation of complex rhythm sections that dynamically adapt to the style of a given motif. This frees students from hours of routine note programming and allows them to immediately begin working on vocal phrasing, voice-leading, and finding fresh harmonic solutions, developing their polyphonic ear.

2. Integration into the "Vocal Production" course. This course covers audio editing techniques, vocal track arrangement, mixing, and mastering. Mixing a pop composition traditionally required years of technical experience from a sound engineer. Today, AI-powered plugins (e.g., iZotope Neutron, Ozone, smart:EQ) use machine learning algorithms to instantly analyze the spectral composition of audio tracks. They automatically detect frequency conflicts (masking of the desired signal), free up frequencies for solo vocals, and dynamically manage the volume balance. This radically democratizes the pop production process: student vocalists gain the opportunity to achieve commercial, studio-quality sound for their tracks, focusing exclusively on the artistic and emotional aspects of the performance, completely delegating the technical routine of frequency alignment to algorithms.

3. Integration into the "Pop Vocal Specialty" course. The specifics of vocal training (especially in jazz) require the development of a unique style, working with syncopation (within and between bars), and vocal improvisation. AI acts as an adaptive accompanist here. Generative algorithms (for example, in the style of intelligent accompaniment) can adapt in real time to the tempo and microrhythms of the vocalist, providing them with an infinitely variable harmonic background for practicing complex improvisational patterns. Furthermore, deep learning technologies (e.g., Google NSynth) are used for intelligent timbre modeling (sound design), allowing performers to synthesize fundamentally new sounds that combine the acoustic properties of different instruments.

4. Interaction with the "Working with a Director" and "Stage Speech" disciplines. A modern stage act is a synthetic performance that requires the creation of a vibrant artistic image, as well as work with costumes and lighting. Textual and visual generative networks (LLM, Midjourney) can provide powerful support during the concept development stage of a performance. Students can generate visual references (sketches) for scenography or receive assistance in structuring the performance script, which develops the artist's directorial vision. The creative approbation method as an art historical alternative to pedagogical experimentation. The specific nature of art historical research, as well as the strict requirements of educational programs in the "Variety Arts" program, necessitate a conceptual rejection of a purely formalized, mathematical pedagogical experiment in favor of a creative approbation method. In variety arts, the effectiveness of professional training is measured not by dry numbers in questionnaires, but by the quality, originality, and emotional impact of the artistic (musical) product created. This approach closely aligns with the objectives of the "Thesis Writing Methodology" course, where the primary outcome is the defense of a creative project.

The methodological format of creative testing involves integrating AI technologies directly into the development, studio preparation, and implementation of a student's comprehensive artistic performance project (creation of a solo pop track, EP album, or full-length concert performance). Testing involves a strictly algorithmic sequence of stages:

1. Diagnostic and conceptual stage: Evaluation of the artist's initial stylistic requirements, formulation of the artistic idea, and identification of technical deficiencies (for example, a lack of arranging skills in a specific genre to implement the intended project).

2. Training and analytical stage (Prompt generation): The student interacts with AI services. The artist writes text queries, generates rough harmonic grids, bass lines, and rhythmic loops. A

critical, art-historical listening and analysis of the machine-generated material for its aesthetic suitability takes place. 3. Creative and Design Stage (Generative Duet in Action): Manual stylistic adaptation of machine-generated material. The artist selects the best fragments, modifies the harmony in a DAW, applies sound design skills, and, most crucially, performs a live studio recording of their vocals (or instrument) over the electronic "skeleton." It is at this stage that the artist introduces unique human microrhythms (swing, twang), timbral colors, and bodily emotion inaccessible to algorithms. Next, within the "Vocal Production" competencies, AI algorithms are applied for mixing and mastering the track.

4. Reflective and Evaluative (Expert) Stage: The final stage or studio implementation of the project is evaluated by a professional expert community (art historians, faculty members, sound producers) as part of a short or final presentation. The primary criterion for success is artistic synergy: how seamlessly and stylistically the algorithmic background merges with human charisma, and whether the artist has managed to maintain their authentic voice against the backdrop of machine generation.

Axiological Challenges: Ethics, Copyright, and the Risks of "Algorithmic Homogenization." The methodological framework for applying AI in higher music education must necessarily take into account the axiological (value-based) and ethical challenges currently shaking the creative industries. One of the most pressing problems is the phenomenon of hyperindustrialization and commodification of music, when the ease and affordability of neural network generation leads to the devaluation of the human labor of composers and arrangers.

Furthermore, the industry faces unprecedentedly complex issues of intellectual property and copyright. Modern AI models (Big Data) are trained on terabytes of existing original compositions without the express consent of the original creators. A profound philosophical question arises about the value of future art: who will win in this confrontation—humanity with its unique spiritual experience or a high-speed algorithmic machine? (Kuznetsova, Bulygo, 2025).

However, from the perspective of art history and higher education pedagogy, the most dangerous, hidden risk is the algorithmic homogenization (standardization) of musical culture. Machine learning algorithms, aimed at predicting maximum popularity based on analyzing the preferences of millions of listeners on streaming platforms, are fundamentally inclined to reproduce "average," predictable mass taste. They generate clichéd chord progressions, predictable melodic lines, and standardized forms, completely ignoring the bold, avant-garde, dissonant, and unconventional solutions that historically propel the development of musical art forward. The blind, uncritical use of generative platforms by students in pop departments can lead to the algorithmization of creative thinking itself, the atrophy of musical-auditory self-regulation, and the irreversible loss of the author's unique vision (Korsakova, 2024).

This is precisely why the methodology for using AI in the training of pop artists strictly and uncompromisingly regulates the role of the algorithm: a neural network never replaces the creative impulse, but serves only as a high-tech extension of the expressive palette. The role of the pop artist themselves is radically transformed in the digital age. They become not simply performers of someone else's material, but operators of complex creative systems, curators, and sound producers, whose highest skill lies in fine-tuning the aesthetics of generated results, ruthlessly weeding out machine-generated banalities, and imbuing musical form with genuine human, physical, and emotional meaning.

In summary, it can be confidently stated that the methodological foundations for using artificial intelligence tools in the professional and creative training of pop artists are based on the humanistic paradigm of interactive cognitive partnership ("generative duet"). When implementing a systemic, student-centered, and creative-improvisational approach, AI acts as a powerful catalyst for the development of students' arranging, sound design, and production skills. Provided that the leading aesthetic and control role of humans is strictly maintained, and performance is assessed

exclusively through a comprehensive creative evaluation process, the implementation of neural network technologies allows routine computational and textural tasks to be offloaded to the machine. This, in turn, maximally frees up the inner resources of young performers for lively, emotional, and physical communication with the audience, elevating their onstage originality and competitiveness to a fundamentally new professional level.

VISUAL AND CONCEPTUAL CHARACTERISTICS OF POSTMODERN TYPOGRAPHY IN CONTEMPORARY POSTER DESIGN

Allahverdiyev Ulvi

Master's Student, Azerbaijan State University of Economics (UNEC), Baku, Azerbaijan

Abstract

This article examines the visual and conceptual characteristics of postmodern typography as manifested in contemporary poster design, tracing the ideological and aesthetic principles that distinguish postmodern typographic practice from its modernist predecessor. Postmodern typography, emerging as a critical response to the rational universalism of the International Typographic Style, embraces complexity, contradiction, fragmentation, and cultural plurality as core design values. The research investigates how these abstract philosophical commitments are translated into specific visual strategies — including layering, deconstruction, typographic hierarchy subversion, eclectic historical citation, and the integration of image and text — and how these strategies shape the communicative and expressive capacities of the poster as a medium. A conceptual analysis framework is applied to a corpus of significant postmodern poster works drawn from international and regional contexts, enabling identification of recurring structural patterns and their ideological underpinnings. The article further examines the influence of digital tools and screen-based culture on the evolution of postmodern typographic aesthetics in the twenty-first century, arguing that the proliferation of digital design environments has both amplified and transformed postmodern typographic tendencies. Practical implications for contemporary poster designers and design educators are discussed, with attention to the tension between postmodern typographic freedom and the imperatives of visual communication effectiveness.

Keywords: *Postmodern Typography, Poster Design, Visual Communication, Deconstruction, Typographic Aesthetics, Graphic Design History.*

JEL Codes: Z11, L82, O31

1. Introduction

Typography is among the most fundamental instruments of visual communication, occupying a position at the intersection of linguistic meaning, aesthetic form, and cultural signification. Its history is inseparable from the history of ideas: each major typographic movement has corresponded to a broader ideological shift in how societies understand knowledge, authority, expression, and identity. The transition from modernist to postmodern typography represents one of the most consequential such shifts in the discipline's history, inaugurating a set of visual and conceptual strategies that continue to define significant currents in contemporary graphic design.

The poster, as a medium, occupies a privileged position in the history of typographic experimentation. Its large format, public address, and combination of image and text have made it a site where typographers and graphic designers have consistently tested the limits of legibility, convention, and communicative possibility. From the Vienna Secession broadsides of the early twentieth century through the psychedelic concert posters of the 1960s to the deconstructivist

works of the Cranbrook Academy in the 1980s, the poster has functioned as a laboratory for typographic avant-garde practice.

Postmodern typography, as a design philosophy, is not reducible to a single style or movement. It encompasses a diverse range of practices united by a shared scepticism towards the universal claims of modernist design rationalism — the belief, most forcefully articulated in the principles of the International Typographic Style, that typography should be neutral, systematic, and subordinated to the transparent conveyance of content. Against this conception, postmodern typography asserts the plurality of visual languages, the cultural situatedness of aesthetic judgement, and the expressive autonomy of typographic form.

This article investigates how these philosophical commitments manifest as specific visual and conceptual characteristics in contemporary poster design. It traces the historical origins of postmodern typographic practice, analyses its defining visual strategies, and examines how digital tools and contemporary cultural contexts have reshaped its application in twenty-first-century poster production. The analysis draws on design history scholarship, visual analysis of significant poster works, and theoretical frameworks from postmodern cultural theory and visual communication research.

2. Historical Context: From Modernist Rationalism to Postmodern Plurality

To understand postmodern typography, it is necessary first to understand the modernist design paradigm against which it positioned itself. The International Typographic Style, also known as the Swiss Style, emerged as the dominant framework for professional graphic design in the post-war period, codified in institutions such as the Kunstgewerbeschule Zurich and disseminated through publications such as the journal *Neue Grafik* (1958–1965). Its central principles included the use of grid systems to impose rational spatial order, preference for sans-serif typefaces such as Helvetica and Univers as vehicles of neutral, universal communication, asymmetric layout governed by mathematical proportion, and the subordination of visual form to communicative function.

These principles reflected a broader modernist ideology in which design was conceived as a universal problem-solving activity, transcending cultural particularity and personal expression in favour of objectively effective communication. As Massimo Vignelli, one of the International Style's most distinguished proponents, declared: 'The life of a designer is a life of fight — fight against the ugliness.' This framing positioned modern design as a moral and rational enterprise, with the designer as a neutral mediator between information and audience.

The postmodern critique of this paradigm developed along multiple fronts during the 1970s and 1980s. Philosophically, it drew on the post-structuralist theory of thinkers such as Roland Barthes, Jacques Derrida, and Jean-François Lyotard, who challenged the assumptions of universal meaning, transparent communication, and neutral authorship that underpinned modernist design ideology. Barthes' concept of the 'death of the author' — the argument that a text's meaning is not determined by its producer's intentions but constructed in the act of reading — was particularly influential in liberating designers from the modernist imperative of controlled, unambiguous communication.

In design practice, the postmodern turn was given institutional form by the Cranbrook Academy of Art in Michigan, under the co-directorship of Katherine McCoy from 1971 to 1995. Cranbrook became a hotbed of typographic experimentation, producing designers including Ed Fella, Jeffrey Keedy, and Barry Deck whose work systematically interrogated the conventions of modernist typography. Wolfgang Weingart at the Basel School of Design in Switzerland simultaneously pioneered what he called 'typographic anarchy', introducing expressive manipulation of spacing, weight, and orientation into the previously regimented typographic practice of the Swiss tradition. The publication of the journal *Emigre* from 1984, coinciding with

the emergence of the Apple Macintosh and the democratisation of desktop publishing, provided a crucial platform for disseminating postmodern typographic experimentation to a global design audience.

3. Methodology

This study employs a qualitative conceptual analysis approach, combining design history research with systematic visual analysis of exemplary postmodern poster works. The analytical framework integrates three methodological strands: historical-contextual analysis, which situates typographic strategies within their ideological and institutional contexts; formal visual analysis, which identifies and describes the specific visual characteristics of selected works; and semiotic-conceptual analysis, which examines how visual forms generate meaning and embody philosophical positions.

The corpus of poster works examined was selected to represent the diversity of postmodern typographic approaches across different national contexts, time periods (1980–2025), and communicative functions (cultural, political, commercial, and institutional). Selection criteria prioritised works that have achieved canonical status in design scholarship, works that have been extensively discussed in peer-reviewed design history literature, and works that illustrate specific theoretical arguments about postmodern typographic strategy.

Theoretical frameworks drawn upon include Derrida's concept of deconstruction as interpreted by design theorist Ellen Lupton, Hal Foster's distinction between a postmodernism of reaction and a postmodernism of resistance, and the typographic theory developed by postmodern designers including Rudy VanderLans, Zuzana Licko, and David Carson. The analysis also draws on contemporary design research addressing the impact of digital tools on typographic aesthetics, including the work of Liz Stinson on algorithmic typography and Paul Soulellis on network-based design practice.

4. Visual Characteristics of Postmodern Typography in Poster Design

4.1 Deconstruction and Typographic Fragmentation

Deconstruction, as a typographic strategy, involves the systematic dismantling of conventional typographic structures — the word, the line, the column, the grid — to expose the arbitrary and constructed nature of communicative conventions. In poster design, deconstructive typography typically manifests as the fragmentation of words across spatial discontinuities, the interruption of text by image or graphic elements, and the disruption of reading direction through unexpected rotations, scale changes, or spatial dispersal of letterforms.

Ed Fella's concert poster work of the late 1980s and early 1990s provides paradigmatic examples of deconstructive typographic practice. Fella's posters layer hand-lettered, photocopied, and digitally manipulated text elements in compositions that resist linear reading while generating rich visual complexity. The viewer is invited to construct meaning actively from the typographic field rather than receive it passively from a communicatively optimised layout. This participatory model of reading — in which meaning is produced in the encounter between text and reader rather than encoded by the designer — directly enacts the post-structuralist theory that informed Cranbrook's design pedagogy.

David Carson's work for Ray Gun magazine in the 1990s, while primarily an editorial rather than poster context, exerted enormous influence on poster design through its radical use of typographic fragmentation, including the famous layout of a Bryan Ferry interview set entirely in Zapf Dingbats as a statement of disengagement from the content. Carson's approach demonstrated that typographic illegibility could itself be communicative — conveying attitude,

atmosphere, and cultural identity through the texture and energy of the typographic field rather than through decodable linguistic content.

4.2 Layering and Visual Complexity

Layering — the superimposition of multiple typographic and image elements to create spatial depth and visual density — is one of the most visually distinctive characteristics of postmodern poster design. Where modernist grid-based layouts achieved visual clarity through hierarchical separation of elements in clearly defined spatial zones, postmodern layering embraces visual complexity as a value in itself, reflecting the postmodern philosophical embrace of multiplicity and the rejection of singular, dominant readings.

The layered poster operates on several registers simultaneously. Typographically, layering creates interactions between letterforms and background elements that generate secondary meanings and visual effects not present in any individual layer. A word printed in transparent letterforms over a photographic image acquires connotations from its visual environment that would not be present in a conventional layout, creating what semiotician Roland Barthes termed 'anchorage' — the mutual specification of meaning through the co-presence of text and image — but in reverse: rather than the text anchoring the image's meaning, the image inflects and destabilises the text's meaning.

Designers such as April Greiman, whose pioneering work in the 1980s combined photographic, typographic, and diagrammatic elements in dense spatial compositions influenced by the emerging possibilities of digital image processing, established layering as a signature strategy of postmodern design. Greiman's 1986 poster for the California Institute of the Arts, combining personal photographic imagery with typographic fragments and data-visualisation elements, represents a landmark in the establishment of the layered postmodern aesthetic.

4.3 Subversion of Typographic Hierarchy

Modernist typography relies on hierarchical organisation to guide the reader through content in a predetermined sequence, typically from most to least important information, using size, weight, position, and contrast to signal relative communicative priority. Postmodern typography systematically interrogates and subverts this hierarchy, treating all typographic elements as potentially equivalent in visual weight and communicative importance, or actively inverting conventional hierarchical signals.

In poster design, hierarchical subversion takes several forms. Scale inversion places secondary information in large, dominant letterforms while primary information is rendered in small, subordinate type, compelling the viewer to reconsider their assumptions about what the poster communicates and to what end. Weight inversion uses light weights for headline text and bold weights for body text, creating visual dissonance that draws attention to the typographic structure itself. Spatial inversion displaces what convention would identify as the primary typographic element — the event name, the product identity, the call to action — from the positions of visual dominance that convention prescribes.

The work of Dutch designers associated with the Werkplaats Typografie, and of design studios including Experimental Jetset and The Stone Twins, illustrates the contemporary persistence of hierarchical subversion as a postmodern typographic strategy. Their poster works frequently deploy minimal typographic elements in arrangements that refuse conventional hierarchy, creating works that reward close, patient attention rather than rapid information extraction.

4.4 Eclecticism, Historical Citation, and Typographic Pastiche

Postmodern culture's characteristic mode of historical engagement is citation rather than rejection: rather than the modernist break with the past in pursuit of formal and ideological novelty, postmodernism recycles, combines, and recontextualises historical references, producing meanings through juxtaposition and incongruity. In typographic terms, this manifests as the simultaneous deployment of typefaces from different historical periods and stylistic traditions — Art Nouveau lettering alongside 1950s commercial script, Victorian wood type beside modernist grotesque — without irony or the hierarchical subordination of one tradition to another.

Typographic historian Robin Kinross has described this eclectic historicism as one of the defining characteristics of postmodern typography, distinguishing it from both the modernist rejection of historical ornament and the nostalgic revivalism of conservative design. The postmodern typographic pastiche does not seek to authentically recreate a historical style but to mobilise its cultural associations and aesthetic texture as material for new meaning construction.

In contemporary poster design, eclectic historical citation is visible in the widespread use of 'vintage' typographic styles — letterpress aesthetics, hand-drawn lettering, retro commercial typography — deployed with full awareness of their constructedness and cultural freight. The designer Stefan Sagmeister's poster work exemplifies a sophisticated approach to typographic historicism, combining handcrafted letterforms, found typographic material, and conceptually provocative statements in works that use the tension between historical citation and contemporary context as a primary generator of meaning.

5. Conceptual Characteristics of Postmodern Typography in Poster Design

5.1 Intertextuality and Cultural Referencing

Intertextuality — the property of a text to carry within it traces of other texts, in explicit quotation or implicit allusion — is a central conceptual characteristic of postmodern typographic practice. Postmodern poster designers construct meaning not only through the immediate visual and linguistic content of their works but through the web of cultural references and associations that their typographic choices activate.

The choice of typeface is the most direct vehicle of typographic intertextuality. Each typeface carries a history of use that generates associations in culturally literate viewers: Helvetica connotes corporate modernity and the International Style; Fraktur connotes Germanic nationalism and historical antiquity; OCR-A connotes computational technology and surveillance culture; Cooper Black connotes 1970s commercial nostalgia. Postmodern designers exploit these associative histories, selecting typefaces not primarily for their formal properties but for the cultural meanings their use activates.

Paula Scher's iconic poster for the Public Theater in New York, produced in 1994, illustrates typographic intertextuality with particular clarity. Scher's design, with its compressed sans-serif lettering and dense, all-capitals typographic field, directly cites the wood-type poster typography of nineteenth-century American commercial printing, activating associations of democratic populism and vernacular vitality. The citation is knowing rather than naive — Scher's design is obviously contemporary in its scale, finish, and context — and it is this knowingness, this awareness of the citation as citation, that marks it as postmodern rather than nostalgic.

5.2 Irony, Parody, and Self-Reflexivity

Irony — the production of a meaning different from or opposite to the literal content of a statement — is identified by many theorists, including Linda Hutcheon, as the defining rhetorical mode of postmodern cultural production. In typographic practice, irony operates through the deliberate mismatch between the visual characteristics of typographic form and the content it

conveys, or between the implied communicative register of a typeface and the context of its deployment.

Postmodern poster design frequently employs typographic irony to generate critical distance from the communicative conventions it uses. A design that deploys the visual conventions of authoritative institutional communication — serif headline typefaces, formal layout, official colour palettes — to convey subversive or anti-institutional content uses the contrast between form and content as a vehicle of critical meaning. The German design collective Büro Destruct and the Austrian designers of the early Emigre circle were among the first to develop systematic postmodern typographic irony as a design strategy, and its use has since become ubiquitous in culturally engaged poster design.

Self-reflexivity — the quality of calling attention to one's own status as a designed artefact, rather than presenting oneself as transparent communication — is a closely related characteristic. Self-reflexive postmodern posters make their own construction visible: they expose the grid, display the typographic process, reference the materials and methods of their production, or explicitly address the viewer as a viewer of a designed object. This self-reflexivity enacts the postmodern philosophical position that no representation is innocent or neutral, and that foregrounding the constructed nature of design is itself a form of critical honesty.

5.3 Pluralism and the Rejection of Universalism

Perhaps the deepest conceptual characteristic of postmodern typography is its insistence on plurality — the refusal of any single typographic style, system, or philosophy as universally valid or applicable. Where modernist typography sought a universal visual language that would transcend cultural difference and communicate with equal effectiveness to all audiences, postmodern typography insists on the cultural specificity of visual communication and the equal validity of diverse typographic traditions.

This pluralism has significant implications for the politics of design. The International Typographic Style, for all its formal sophistication, embodied a Eurocentric vision of modernity that marginalised non-Western typographic traditions and visual cultures. Postmodern typographic pluralism, at its most politically engaged, constitutes a challenge to this cultural imperialism, asserting the legitimacy of Arabic calligraphy, East Asian typography, Cyrillic lettering systems, and other non-Latin traditions as equal participants in the global typographic conversation rather than exotic alternatives to a normative Western standard.

Contemporary poster design in countries including Japan, Iran, Poland, and increasingly Azerbaijan reflects this pluralistic typographic sensibility, combining local typographic traditions with international design references in works that resist easy categorisation within Western design historical narratives. Azerbaijani designers working with Cyrillic and Latin scripts simultaneously, or drawing on the ornamental traditions of Islamic calligraphy within contemporary design frameworks, participate in a global postmodern typographic pluralism that enriches the field beyond its historical European and North American centres.

6. Digital Environments and the Evolution of Postmodern Typographic Aesthetics

The development of digital design tools has had a complex and paradoxical relationship with postmodern typographic aesthetics. On one hand, digital tools — beginning with early desktop publishing software and culminating in contemporary creative applications such as Adobe Illustrator, Photoshop, and After Effects — have dramatically extended the technical possibilities available to poster designers, making previously laborious layering, distortion, and typographic manipulation techniques accessible to a vastly larger design community. The democratisation of postmodern typographic strategies through digital tools has, in one sense, fulfilled the postmodern promise of plural, non-hierarchical design practice.

On the other hand, the ready availability of digital tools for typographic effect has generated a new aesthetic problem: the distinction between postmodern typographic strategies deployed with conceptual intent and decorative eclecticism deployed without it. Critics including Steven Heller have noted the emergence of what might be called 'postmodern lite' — superficially complex, eclectic poster design that deploys the visual vocabulary of postmodern typography as aesthetic decoration rather than critical intervention. The risk, in Heller's analysis, is that the radical conceptual content of postmodern typographic practice is evacuated as its visual strategies are mainstreamed.

The emergence of web-based design tools, generative typography software, and artificial intelligence-assisted design applications in the 2010s and 2020s has introduced a new dimension to this dynamic. Tools that generate typographic compositions algorithmically or through machine learning models can produce extraordinarily complex, layered typographic artefacts at speeds that far exceed manual production. This raises questions about authorship, intentionality, and the conceptual depth of algorithmically generated postmodern typographic aesthetics that design theory is only beginning to address.

Social media platforms, and Instagram in particular, have become major sites for the dissemination and development of contemporary postmodern typographic poster aesthetics. The platform's image-first, rapid-consumption format has shaped a distinctive visual culture characterised by high-contrast, bold typographic compositions that perform postmodern visual complexity while remaining legible and impactful at small screen sizes. This 'screen postmodernism' represents a significant evolution of the tradition, shaped by the constraints and affordances of digital distribution rather than print production.

7. Contemporary Applications and Emerging Tendencies

Contemporary postmodern poster design occupies a complex position, simultaneously canonical and contested. Its key visual strategies — layering, deconstruction, historical citation, hierarchical subversion — have achieved wide currency in commercial and cultural design practice, to the point where they can no longer be claimed as exclusively avant-garde or critical interventions. At the same time, significant designers continue to develop and extend postmodern typographic practice in directions that maintain its critical edge.

The work of designers including Astrid Stavro, Jessica Walsh, and Marian Bantjes exemplifies the continuing vitality of postmodern typographic exploration in contemporary poster practice. Bantjes, in particular, has developed a distinctive approach to typographic ornament that draws on historical decorative traditions while deploying them in compositions of extraordinary visual complexity, generating works that position themselves simultaneously within and against the postmodern tradition.

In Eastern European and post-Soviet design contexts, postmodern typography has found distinctive expression through the work of designers who engage with the specific cultural and historical layering of their environments. Polish poster design, with its long tradition of cultural poster production and its complex historical relationship to both Western modernism and Soviet visual culture, represents a rich site for the development of postmodern typographic strategies that are culturally specific yet internationally legible.

In the Azerbaijani context, the emergence of a younger generation of graphic designers educated in both local and international design traditions is producing work that engages self-consciously with postmodern typographic aesthetics while drawing on the rich visual heritage of Azerbaijani culture, including Azerbaijani and Persian calligraphic traditions, Soviet-era graphic design, and contemporary Central Asian visual culture. This culturally embedded postmodern typographic practice represents a significant and underexplored contribution to the global design conversation.

8. Implications for Design Education and Practice

The analysis of postmodern typographic characteristics in poster design has significant implications for design education and professional practice. For design educators, the central pedagogical challenge is to enable students to engage with postmodern typographic strategies not merely as a stylistic repertoire but as a set of conceptually grounded practices with specific intellectual histories and critical potentials.

This requires design curricula to integrate design history, cultural theory, and typographic practice in ways that make explicit the connections between visual decisions and conceptual positions. Students who understand why Ed Fella's typographic fragmentation was a meaningful intervention in its historical context are better positioned to evaluate when and how deconstructive strategies remain productive and when they have become mere decoration than students who encounter these strategies only as formal techniques.

For professional designers, the analysis suggests that the most powerful applications of postmodern typographic strategies in poster design are those that align visual form with conceptual content — where the fragmentation, eclecticism, or hierarchical subversion of the typographic treatment is motivated by the communicative purpose of the poster rather than applied as a general aesthetic preference. The tension between typographic expressiveness and communicative effectiveness that postmodern poster design has productively explored for four decades remains generative, but it demands designers who are equipped to navigate it with both visual sophistication and intellectual clarity.

9. Conclusion

Postmodern typography has fundamentally reshaped the visual language of poster design over the past four decades, introducing strategies of deconstruction, layering, historical citation, and conceptual complexity that continue to define significant currents in contemporary practice. This article has examined both the visual and conceptual dimensions of this influence, tracing the philosophical origins of postmodern typographic practice, analysing its defining visual strategies, and assessing its development under the influence of digital tools and contemporary cultural contexts.

The key visual characteristics identified — fragmentation and deconstruction, layering and visual density, typographic hierarchy subversion, and eclectic historical citation — are not merely formal devices but embody specific philosophical positions: the rejection of universal communicative norms, the assertion of typographic form as meaning-bearing in itself, the embrace of plurality and cultural specificity, and the insistence on the active, constructive role of the viewer in producing meaning from visual texts.

Conceptually, postmodern typography in poster design is characterised by intertextuality, irony and self-reflexivity, and a principled pluralism that challenges the cultural imperialism implicit in universalist design ideologies. These conceptual characteristics remain relevant and productive in contemporary practice, even as postmodern visual strategies have been mainstreamed through digital tool accessibility and social media dissemination.

The ongoing evolution of postmodern typographic aesthetics in digital and networked environments, and its distinctive development in non-Western cultural contexts including the Azerbaijani design scene, represent productive areas for future research. A fuller understanding of how postmodern typographic principles are adapted and transformed across diverse cultural contexts promises to enrich both design history scholarship and the critical resources available to contemporary practitioners.

References

1. Bangert, A. (1994). *The Postmodern Design Reader*. Prestel Verlag.
2. Barthes, R. (1977). *Image–Music–Text*. Translated by S. Heath. Fontana Press.
3. Carson, D., & Blackwell, L. (1995). *The End of Print: The Graphic Design of David Carson*. Laurence King Publishing.
4. Derrida, J. (1976). *Of Grammatology*. Translated by G. C. Spivak. Johns Hopkins University Press.
5. Foster, H. (1983). *The Anti-Aesthetic: Essays on Postmodern Culture*. Bay Press.
6. Heller, S., & Pomeroy, K. (1997). *Design Literacy: Understanding Graphic Design*. Allworth Press.
7. Hollis, R. (2006). *Swiss Graphic Design: The Origins and Growth of an International Style, 1920–1965*. Laurence King Publishing.
8. Hutcheon, L. (1989). *The Politics of Postmodernism*. Routledge.
9. Kinross, R. (2004). *Modern Typography: An Essay in Critical History*. 2nd ed. Hyphen Press.
10. Lupton, E., & Miller, J. A. (1999). *Design Writing Research: Writing on Graphic Design*. Phaidon Press.
11. Lupton, E. (2010). *Thinking with Type: A Critical Guide for Designers, Writers, Editors and Students*. 2nd ed. Princeton Architectural Press.
12. Lyotard, J.-F. (1984). *The Postmodern Condition: A Report on Knowledge*. Translated by G. Bennington & B. Massumi. University of Minnesota Press.
13. McCoy, K. (1990). American graphic design expression: The evolution of American typography. *Design Quarterly*, 148, 3–22.
14. Meggs, P. B., & Purvis, A. W. (2016). *Meggs' History of Graphic Design*. 6th ed. Wiley.
15. Poynor, R. (2003). *No More Rules: Graphic Design and Postmodernism*. Laurence King Publishing.
16. Sagmeister, S., & Walsh, J. (2012). *Beauty*. Phaidon Press.
17. VanderLans, R., & Licko, Z. (1993). *Emigre: Graphic Design into the Digital Realm*. Van Nostrand Reinhold.
18. Weingart, W. (2000). *My Way to Typography*. Lars Müller Publishers.

Political Studies

Олжас Сүлейменовтың халықаралық мәдени дипломатияға қосқан үлесі

Хайрол Нұргүл Жеңісқызы

Тұран университетінің “халықаралық қатынастар және дипломатия” мамандығының 2 курс студенті

Тулекова Гүлжан Хажмуратовна

ассоциированный профессор, кандидат филологических наук, университет Тұран, г. Алматы

АНДАТПА: Бұл мақалада Олжас Сүлейменовтың халықаралық мәдени дипломатияға қосқан үлесі жан-жақты қарастырылады. Олжас Сүлейменовтың әдеби шығармашылығы мен қоғамдық-саяси қызметі арқылы Қазақстанның әлемдік мәдени кеңістіктегі орнын нығайтудағы рөлі талданады.

Зерттеу барысында Олжас Сүлейменовтың әдеби шығармалары мен қоғамдық бастамалары мәдениетті елдер арасындағы өзара түсіністік құралы ретінде қызмет еткені көрсетіледі. Сонымен қатар, мәдениетаралық диалогты дамытудағы бастамалары, әсіресе ядролық қарусыздану және гуманистік құндылықтарды ілгерілету бағытындағы қызметі сараланады. Бұл бағыттағы бастамалар халықаралық қауымдастық тарапынан қолдау тапқаны байқалады. Әдебиет пен қоғамдық қызметтің байланысы арқылы Қазақстанның халықаралық деңгейдегі бейнесінің қалыптасуына әсері түсіндіріледі.

Оның идеялары халықтар арасындағы сенімді нығайтуға бағытталғаны көрсетіледі. Зерттеу нәтижесінде Олжас Сүлейменовтың мәдени дипломатияның дамуына қосқан үлесі жоғары бағаланып, оның халықаралық деңгейдегі үлкен маңызы айқындалады.

Түйін сөздер: Олжас Сүлейменов, мәдени дипломатия, мәдениетаралық диалог, ядролық қарусыздану, гуманистік құндылықтар.

АННОТАЦИЯ: В данной статье рассматривается вклад Олжаса Сулейменова в развитие международной культурной дипломатии. Анализируется его роль в укреплении имиджа Казахстана на мировой арене через литературное творчество и общественно-политическую деятельность.

Особое внимание уделяется его инициативам в области межкультурного диалога, а также деятельности, направленной на продвижение идей ядерного разоружения и гуманистических ценностей. Рассматривается влияние его литературного и общественного наследия на формирование статуса Казахстана. В ходе исследования подчеркивается актуальность его идей в современном мире. Подчеркивается, что Сулейменов рассматривал культуру как инструмент взаимопонимания между народами.

Его идеи способствовали укреплению доверия на международном уровне. В результате исследования подчеркивается значимость вклада Сулейменова в развитие культурной дипломатии на международном уровне.

Ключевые слова: Олжас Сулейменов, культурная дипломатия, межкультурный диалог, ядерное разоружение, гуманистические ценности.

ABSTRACT: This article examines the contribution of Olzhas Suleimenov to international cultural diplomacy. It analyzes his role in strengthening Kazakhstan's position in the global cultural space through his literary work and socio-political activities.

The study explores how his literary and public activities influenced the international image of Kazakhstan. Particular attention is given to his initiatives in promoting intercultural dialogue, as well as his efforts in advocating nuclear disarmament and humanistic values. The research highlights that his ideas remain relevant in the modern world. It is emphasized that Suleimenov viewed culture as a tool for mutual understanding between nations.

His ideas contributed to building trust at the international level. The study concludes that Suleimenov's contribution to cultural diplomacy is significant and has considerable international importance.

Key words: Olzhas Suleimenov, cultural diplomacy, intercultural dialogue, nuclear disarmament, humanistic values.

Кіріспе

XXI ғасырда халықаралық қатынастар жүйесі түбегейлі өзгерістерге ұшырап, дипломатия тек мемлекетаралық келіссөздер шеңберінен шығып, кең ауқымды қоғамдық және мәдени құбылысқа айналды. Әсіресе жаһандану жағдайында мемлекеттердің халықаралық беделі олардың мәдени ықпалымен, рухани құндылықтарды тарату қабілетімен және әлемдік қауымдастықпен орнатқан гуманитарлық байланыстарымен анықталады. Қазақстан үшін бұл бағытта маңызды рөл атқарған тұлғалардың бірі – Олжас Сүлейменов. Зерттеудің мақсаты – Олжас Сүлейменовтың халықаралық мәдени дипломатиядағы рөлін жан-жақты талдау және оның қызметінің қазіргі заманғы маңызын анықтау. Зерттеудің міндеті – Сүлейменовтың мәдени дипломатиядағы негізгі бағыттарын анықтап, заманауи халықаралық қатынастардағы маңызын көрсету. Зерттеудің өзектілігі қазіргі әлемде “жұмсақ күш” ұғымының күшеюімен байланысты. Мәдени дипломатия мемлекеттердің имиджін қалыптастыруда маңызды құралға айналғандықтан Қазақстан үшін бұл бағыттағы тарихи тәжірибені зерттеу аса маңызды. Зерттеу әдіснамасы ретінде тарихи-салыстырмалы талдау, контент-талдау, сондай-ақ жүйелі тәсіл қолданылды. Одан бөлек, Сафар Абдулло еңбектері, атап айтқанда “Беседь с Олжасом” және “Феномен Олжаса” кітаптары негізгі дереккөз ретінде пайдаланылды. Зерттеудің жаңалығы – Сүлейменовтың қызметі тек әдебиет тұрғысынан емес, мәдени дипломатия контекстінде қарастырылып, оның халықаралық деңгейдегі ықпалы жүйелі түрде талданады. Зерттеу сұрағы: Олжас Сүлейменов мәдени дипломатия құралдары арқылы Қазақстанның халықаралық беделін қалыптастыруға қалай ықпал етті? Маңыздылығы: зерттеу Олжас Сүлейменовтың қызметі арқылы мәдени дипломатияның мемлекет беделін арттырудағы нақты рөлін көрсетеді. Зерттеу сұрағының пәні – Сүлейменовтың мәдени және қоғамдық қызметі. Зерттеу сұрағының аймағы – Қазақстан және халықаралық мәдени кеңістік.

Негізгі бөлім

1. Олжас Сүлейменовтың мәдени қызметі.

Олжас Сүлейменов – қазақ мәдениетін әлемдік деңгейде танымал еткен тұлға. Оның әдеби шығармалары тек Қазақстанда емес, сонымен қатар бүкіл Түркі әлемі мен Батыс елдерінде де кеңінен таралып, зерттелді. Сүлейменовтың ең белгілі туындыларының бірі – «Аз и Я» еңбегі, 1975 жылы жарық көрген бұл шығарма арқылы ол әдебиет әлемінде өз ерекшелігін танытып, мәдени диалогқа жаңа қадам басты. Бұл туынды тілдік тәжірибесімен ғана емес, ой тереңдігімен де оқырмандарды қызықтырды, өйткені онда әлемдік өркениет пен қазақ мәдениеті арасындағы байланыстың жаңа қырлары ашылған. Алайда, халық арасында үлкен резонанс туып, осы кітабы үшін Кеңес Одағы Коммунистік партиясы тарапынан сынға ұшырады. Себебі «Слово о полку Игореве» жырын жаңа тұрғыда талдап, түркі элементтерінің

ықпалын көрсетті. Оған пантюркизм және ұлтшылдық идеологиясын таратқаны үшін айып тағылды. 2017 жылы жарық көрген “Воспоминания” атты жазбада сол уақытта Д.А.Қонаевтың қолдау көрсетіп, оны аман алып қалғанын айтты [2]. Кейіннен кітап қысқа уақыт ішінде 50000 данадан астам тиражбен таралған. Сүлейменовтың шығармаларының халықаралық деңгейде танылуы оның мәдени елші ретінде беделін көтерді. Оның еңбектері бірнеше тілге аударылып, халықаралық басылымдарда жарық көрді. Бұл қадам қазақ әдебиетін әлемдік әдеби кеңістікке жеткізудің маңызды сатысы болды. Сонымен қатар, Олжас Сүлейменов өзінің шығармаларында түркі халықтарының ортақ мәдени мұрасына ерекше мән берді. Сафар Абдулло өзінің “Феномен Олжаса” еңбегінде оны “Мәдени көпір” деп сипаттайды [3]. Оның пікірінше, Сүлейменов Түркі әлемі мен Батыс арасындағы мәдени байланыстарды дамытуда зор еңбек етті. Ол әдебиет арқылы Түркі халықтарының дәстүрін, тарихын және мәдени ерекшеліктерін әлемге паш етті. Сонымен қатар, ол қазақ тілінің ғана емес, жалпы түркі тілдерінің дамуы мен олардың мәдени кеңістікке енуіне үлесін тигізді. Осы тұрғыдан, Олжас Сүлейменовты мәдени дипломатияны әдебиет негізінде жүзеге асыратын көшбасшы ретінде қарастыруға болады. “Беседы с Олжасом” деген кітабында Сафар Абдулло: “Олжас мәдениетті саясаттан жоғары қойған бірден-бір тұлға” екенін айтады.

2. Халықаралық дипломатиялық қызметі

Олжас Сүлейменовтың дипломатиялық қызметі оның мәдени қызметімен тығыз байланысты болды. 1990 жылдардың басында Қазақстанның Италиядағы елшісі қызметін атқарды. Бұл кезең Қазақстан үшін халықаралық қатынастар жүйесіне енудің бастапқы сатысы болғандықтан, елдің жағымды имиджін қалыптастыруда дипломаттардың рөлі аса маңызды болды. Ол ЮНЕСКО-да қызмет атқарып, халықаралық дәрежеде мәдени байланыстарды дамытты. ЮНЕСКО-дағы қызметінде ол бірнеше маңызды бағыттарға назар аударды:

- Қазақстанның мәдени мұрасын халықаралық деңгейде танымал ету,
- Мәдениетаралық диалогты дамыту.
- Гуманистік құндылықтарды ілгерілету.

Бұл бағыттар оның жалпы дүниетанымымен толық сәйкес келді. Сонымен қоса, ол мәдени дипломатия арқылы қақтығыстардың алдын алуға, бейбітшілік пен халықаралық келісімді арттыруға күш салды. Сүлейменов ядролық қаруға қарсы қозғалысты өз қолына алды. 1989 жылғы атақты «Невада-Семей» қозғалысы – оның негізгі бастамаларының бірі болды. Бұл қозғалыс Қазақстан мен АҚШ арасындағы ядролық сынақтарға қарсы бірлескен халықтық әрекет ретінде дүниежүзілік аренада танылды. 1949-1989 жылдар аралығында Семей полигонында шамамен 456 ядролық сынақ жүргізілген. Оның ішінде:

- 116 ашық (атмосфералық),
- 340 жерасты сынақтары.

Бұл сынақтардың салдарынан 1,5 миллионға жуық адам радиациялық әсерге ұшырағаны туралы деректер бар [5]. Олжас Сүлейменов бұл қозғалыс арқылы халықаралық дипломатияда Қазақстанның бейбітшілікке ұмтылған саясатын көрсетті. Оның дипломатиялық қызметі мәдениет пен саясат байланысының мысалы болып табылады, өйткені ол мәдениет пен әдебиетті саясатқа ықпал етудің негізгі құралы ретінде қолданды. Шетелдік зерттеушілер Дэвид Калл (2008) мен Джозеф Най (2004) бұл әрекеттерді “жұмсақ күштің” элементі деп бағаласа, отандық ғалымдар Сафар Абдулло (2011) мен Жұмаділов (2015) оның жеке тұлға арқылы жүзеге асатын мәдени дипломатияның практикалық үлгісі екенін атап көрсетеді.

3. Мәдени дипломатиядағы негізгі идеялары

Олжас Сүлейменов мәдени дипломатияның бірнеше негізгі принциптерін насихаттады. Біріншіден, ол өркениеттер диалогын маңызды деп санап, әртүрлі мәдениеттер арасындағы қарым-қатынасты дамыту үшін тарих, тіл, әдебиет сияқты құралдарды қолданды. Ол «Аз и Я» шығармасында да бұл идеяны көрнекі түрде көрсетті. Екіншіден, тарих пен тіл арқылы

халықтарды жақындастыру – Сүлейменовтың басты мақсаттарының бірі. Ол халықтардың мәдени тарихын зерттей келе олардың ортақ құндылықтарын анықтап, бір-бірін түсіну мүмкіндігін арттырды. Бұл идея әсіресе түркі халықтары мен Батыс арасындағы байланыстарды нығайтуда маңызды болды. Мысалы, өзінің “1001 сөз” атты этимологиялық сөздігінде ежелгі түркі сөздерінің мағынасын түсіндіріп, Батыс тілдеріне енген сөздермен сабақтастығын көрсетті. Мәселен, италиян тілінің “spaghetti” сөзі ұйғырлардың “ыспа етті” деген сөздерінен алынған деп түсіндірді. Италияндар сөздің басында дауысты дыбысты айтпағандықтан, бастапқы ы, е дыбыстары түсіп қалғанын түсіндіреді. Айтпасқа болмайды, “Аз и Я” кітабы халықаралық танымалдылыққа ие болғанымен, кей әдеби сыншылар оның тұлғалық және ұлттық ерекшеліктерді артық идеализациялайтынын атап өтті. Мәселен, Қабдеш Жұмаділов (2016) Сүлейменов тарихи фактілерді әдеби образға айналдыра отырып, реалистік контекстті бұрмалайтынын сынға алды. Ал Дэвид Калл оның кейбір шығармалары *“көркемдік құндылығы жоғары, бірақ дипломатиялық ықпалын шектейді”* деп сын білдірді [8].

4. Қазақстан имиджін қалыптастырудағы рөлі

Олжас Сүлейменовтың ең маңызды рөлдерінің бірі – Қазақстанның халықаралық алаңдағы беделін арттыру болды. Оның шығармалары мен дипломатиялық қызметі елдің мәдени және интеллектуалдық әлеуетін көрсетуге негізделген. Менің ойымша, “Аз и Я” еңбегі арқылы ол Түркі әлемі мен Батыс арасындағы көпірді нығайтты. Оны біз мәдени дипломатияның негізгі мақсаты – көп деңгейлі коммуникация дейміз. Ал пантүркизм идеясына қатысты сындарды ескере отырып, менің пікірімше, Сүлейменов бұл тұстарды әділетті, әдеби-символикалық деңгейде қолданған. Бұл оның елдің имиджін қалыптастырудағы стратегиялық рөлі ретінде қарастырылады. Оның бастамалары мен ұсыныстары Қазақстанның мәдениет саласындағы бағдарламаларына енгізіліп, халықаралық ынтымақтастықты дамытуға негіз болды. Мысалы, елімізде өткізілген ірі халықаралық іс-шаралардың бірі – EXPO-2017 көрмесі Қазақстанды инновациялық және ашық мемлекет ретінде танытты. Мұндай бастамалар Сүлейменов қалыптастырған мәдени дипломатия дәстүрінің жалғасы ретінде қарастырылады. Зерттеушілердің пікірінше, Сүлейменовтың басты жетістігі – ол Қазақстанның имиджін тек мемлекеттік саясат арқылы емес, жеке тұлғаның интеллектуалдық және мәдени ықпалы арқылы қалыптастыра алды. Бұл қазіргі халықаралық қатынастардағы «жұмсақ күш» концепциясының нақты көрінісі болып табылады.

Қорытынды:

Қорытындылай келе, ғылыми зерттеу Олжас Сүлейменовтың мәдени дипломатиядағы қызметін жан-жақты қарастырып, Қазақстанның халықаралық аренада жаңа қырын ашудағы рөлін көрсетті. Әдеби шығармашылықтың, қоғамдық бастамалардың және дипломатиялық қызметтің арқасында Сүлейменов әлемге елдің мәдени және зияткерлік әлеуетін көрсетті, Қазақстанның бейбітшілікке ұмтылатын мәдени бай және ашық мемлекет ретінде көрінуіне үлес қосты.

Зерттеу нәтижелері оның қызметі елдің имиджін қалыптастыруда шешуші рөл атқарғанын растады. Әдебиетті, тілді, тарихты және мәдени іс-шараларды тиімді пайдаланудың арқасында Сүлейменов халықаралық аренада Қазақстанның жаңа көкжиектерін ашты, елдің мәдени дипломатиядағы беделін нығайтты.

Осылайша, Сүлейменовтің тәжірибесі Қазақстан үшін стратегиялық үлгі ғана емес, сонымен қатар қазіргі халықаралық қатынастарда дипломатиялық құрал ретінде мәдениет пен гуманистік құндылықтарды пайдаланудың маңыздылығын көрсетеді.

Әдебиеттер тізімі:

- 1) Абдулло С. *Беседы с Олжасом*: Сборник / Абдулло С. – Алматы : ИД “Библиотека Олжаса”, 2011-556 С. URL: <https://asu.turan-edu.kz/library/books/113809>
 - 2) Олжас Сүлейменов “*Воспоминания*”.
 - 3) Абдулло С. *Феномен Олжаса*: Сборник / Абдулло С. – Алматы : ИД “Библиотека Олжаса”, 2011-1500 С. URL: <https://asu.turan-edu.kz/library/books/113814>
 - 4) “*Аал Луук Мас*”: Олжас Сүлейменов. Во имя слова. Часть 1-я
 - 5) ҚР Ұлттық ядролық орталығы. URL: <https://www.nnc.kz>.
 - 6) “*Аз и Я*”. URL: <https://adebiportal.kz/ru/books/view/.az-i-ia-kniga-blagonamerennogo-citatelia-346>
 - 7) ҚР СІМ. *Қазақстанның мәдени дипломатиясы*. – 2018
 - 8) *Public Diplomacy: Lessons from the Past*- Nicholas John Cull 2008. URL: <https://uscpublicdiplomacy.org>
- References:
- 1) Abdullo, S. *Besedy s Olzhasom*: Sbornik. Almaty: ID “Biblioteka Olzhasa”, 2011. 556 p. URL: <https://asu.turan-edu.kz/library/books/113809>
 - 2) Olzhas Suleimenov “*Vospominaniya*”.
 - 3) Abdullo, S. *Fenomen Olzhasa*: Sbornik. Almaty: ID “Biblioteka Olzhasa”, 2011. 1500 p. URL: <https://asu.turan-edu.kz/library/books/113814>
 - 4) “*Aal Luuk Mas*”: Olzhas Suleimenov. In the name of the world. Part 1.
 - 5) National Nuclear Center of the Republic of Kazakhstan. URL: <https://www.nnc.kz>
 - 6) Suleimenov, O. *Az i Ya*. Adeb Portal, URL: <https://adebiportal.kz/ru/books/view/az-i-ia-kniga-blagonamerennogo-citatelia-346>
 - 7) Ministry of Foreign Affairs of the Republic of Kazakhstan. *Kazakhstan’s Cultural Diplomacy*, 2018.
 - 8) *Public Diplomacy: Lessons from the Past*- Nicholas John Cull 2008. URL: <https://uscpublicdiplomacy.org>

Agricultural Sciences

СРАВНИТЕЛЬНАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА АЙРАНА ИЗ КОРОВЬЕГО И КОЗЬЕГО МОЛОКА: ОРГАНОЛЕПТИЧЕСКИЕ И ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ КАЧЕСТВА

Алимарданова Мария Калабаевна

д.т.н., профессор, Алматинский технологический университет, г. Алматы, Республика Казахстан

Бисен Альмира Нұржанқызы

студент, Алматинский технологический университет, г. Алматы, Республика Казахстан

Аннотация: В работе представлены результаты сравнительного исследования айрана, полученного из коровьего и козьего молока в условиях учебной лаборатории с последующей оптимизацией технологического процесса. Органолептическая оценка образцов проводилась по пяти показателям — внешний вид, цвет, запах, вкус и консистенция — по пятибалльной шкале с построением профилограммы. Активная кислотность (pH) определялась потенциометрическим методом, титруемая кислотность (°T) — методом титрования раствором гидроксида натрия (0,1 моль/дм³) в соответствии с ГОСТ 3624-92. Установлено, что айран из козьего молока характеризуется более высокой титруемой кислотностью и более низким значением pH по сравнению с образцом из коровьего молока, что свидетельствует о более интенсивном протекании молочнокислого брожения. Отмеченные различия обусловлены особенностями химического состава козьего молока, в частности структурой белков и дисперсностью жировых глобул, что влияет на скорость ферментационных процессов. В целом оба образца продемонстрировали высокие органолептические показатели и соответствие требованиям качества, что подтверждает эффективность оптимизированной технологии производства айрана.

Ключевые слова: айран, коровье молоко, козье молоко, молочнокислая ферментация, кисломолочные напитки.

Введение

Айран — традиционный кисломолочный напиток, широко распространённый в Центральной Азии, на Кавказе и в Средиземноморье. Согласно Техническому регламенту Таможенного союза ТР ТС 033/2013, айран определяется как кисломолочный продукт, полученный путём смешанного (молочнокислого и спиртового) брожения с использованием заквасочных микроорганизмов — термофильных молочнокислых стрептококков, болгарской молочнокислой палочки и дрожжей, с добавлением воды и поваренной соли или без них [1, с. 4].

Традиционно айран изготавливается из коровьего молока, однако в ряде регионов в качестве сырья используют козье молоко. Оба вида сырья существенно различаются по белковому и жирнокислотному составу. Как показано в работе Гавриловой Н.Б. и Щетининой Е.М., козье молоко является биологически полноценным сырьём: оно отличается повышенным содержанием кальция, фосфора и компонентов небелковой азотной фракции, а также апокриновым типом секреции, что обуславливает высокое содержание биологически активных веществ в готовом продукте [2, с. 68]. Не менее важны различия в составе молочного жира: по данным Садового В.В. с соавторами, жир козьего молока содержит более высокую долю короткоцепочечных и среднецепочечных триглицеридов по сравнению с коровьим, что улучшает биодоступность жирорастворимых нутриентов [3, с. 557]. Белковый профиль козьего молока также выгодно отличается: пониженное содержание α S1-казеина снижает вероятность аллергических реакций, а более мелкие жировые шарики (в отсутствие агглютина) способствуют равномерному распределению заквасочной микрофлоры при ферментации [4, с. 82].

Несмотря на это, сравнительных исследований кисломолочных напитков типа айран, полученных из обоих видов молочного сырья в единых технологических условиях, остаётся недостаточно. Так, исследования Анцыперовой М.А. и Арсеньевой Т.П. посвящены белковой и липидной составляющей коровьего и козьего молока, однако без анализа кисломолочного продукта на их основе [5, с. 39]. В связи с этим целью настоящей работы является сравнительная органолептическая и физико-химическая оценка айрана из коровьего и козьего молока, полученного в лабораторных условиях, с построением профилограммы органолептических показателей.

Материалы и методы

Исследование проводилось в АО «Алматинский технологический университет» на кафедре технологии продуктов питания и учебно-научном центре переработки молока. Были приготовлены два образца: Образец 1 — айран из пастеризованного коровьего молока; Образец 2 — айран из пастеризованного козьего молока.

Технологический процесс включал следующие стадии: пастеризацию молока при 85–87 °С; охлаждение до 30–32 °С; внесение сухой закваски (0,25 г) с культурами *Lactococcus lactis* subsp. *lactis*, *L. lactis* subsp. *cremoris* и *L. lactis* subsp. *lactis* biovar *diacetylactis* с концентрацией не менее 1×10^9 КОЕ/г; сквашивание при 41 °С в течение 6 ч. После образования сгустка продукт выдерживали в течении 6 ч, затем подвергали механическому перемешиванию до получения однородной жидкой консистенции, характерной для айрана. На заключительной стадии продукт охлаждали до температуры 4–6 °С для стабилизации структуры и замедления микробиологических процессов.

Органолептическую оценку проводили по пятибалльной шкале по пяти показателям: внешний вид, цвет, запах/аромат, вкус, консистенция. По результатам строилась профилограмма — паутинная диаграмма, наглядно отражающая профиль каждого образца. Активную кислотность (рН) определяли потенциометрическим методом. Титруемую кислотность (°Т) определяли методом титрования раствором NaOH (0,1 моль/дм³) в соответствии с ГОСТ 3624-92 [6, с. 3].

Результаты

По результатам органолептической оценки оба образца продемонстрировали высокое качество. Сравнительная профилограмма органолептических показателей представлена на рис. 1.

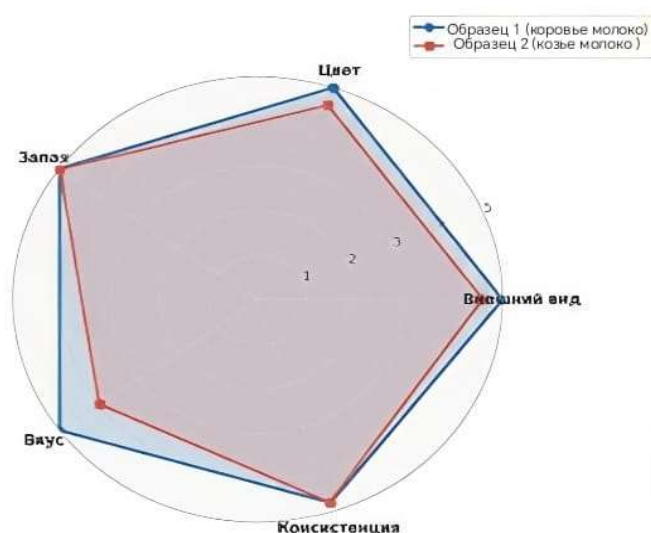


Рис. 1. Профилограмма органолептических показателей айрана (пятибалльная шкала)

Образец 1 (коровье молоко) характеризовался мягким, гармоничным вкусом, нежной однородной консистенцией и приятным кисломолочным ароматом. Образец 2 (козье молоко) получил оценку 4 балла ввиду более выраженного кисломолочного вкуса, обусловленного присутствием короткоцепочечных жирных кислот (каприловой, каприновой) [3, с. 558]; консистенция нежная. По внешнему виду и цвету оба образца получили высокие оценки.

Результаты определения физико-химических показателей представлены в таблице 1.

Таблица 1

Физико-химические показатели образцов айрана (рН, титруемая кислотность, лактоза)

№	Показатель	Образец 1 (коровье молоко)	Образец 2 (козье молоко)
1	Активная кислотность (рН)	4,3	4,2
2	Титруемая кислотность (°Т)	90	96
3	Лактоза исходного молока, г/100 мл	4,5	4,1
4	Содержание белка, г/100 мл	3,4	3,3
5	Массовая доля жира, %	3,0	3,5

Обсуждение

Профилограмма наглядно демонстрирует, некоторые расхождение между образцами. Полученные значения активной кислотности (рН 4,3 и 4,2) соответствуют нормативному диапазону для айрана (4,20–4,50 согласно ТР ТС 033/2013). Более низкое значение рН у образца из козьего молока коррелирует с более высокой титруемой

кислотностью (96°Т против 90°Т), что свидетельствует о более интенсивном протекании молочнокислого ферментации.

Повышенная интенсивность ферментации в образце из козьего молока может быть обусловлена более равномерным распределением заквасочной микрофлоры (в связи с отсутствием агглютина) [4, с. 84], а также особенностями его химического состава, включая повышенное содержание биологически активных компонентов, стимулирующих развитие молочнокислых бактерий [2, с. 70].

По данным Анцыперовой М.А. и Арсеньевой Т.П., более высокое содержание сывороточных белков в козьем молоке по сравнению с коровьим обеспечивает дополнительные питательные субстраты для заквасочных культур [5, с. 41], что объясняет более высокую скорость кислотообразования в образце2.

Более высокое содержание белка и жира в образце из козьего молока, соответствующее данным о его составе [2, с. 67], также при сквашивании козьего айрана сохраняются специфические кислоты — капроновая и каприловая, которые обладают высокой усвояемостью и антимикробными свойствами насыщенную текстуру и пищевую ценность [7, с. 85-88]. Сравнительная характеристика двух образцов представлена в таблице 2.

Таблица 2

Сравнительная характеристика айрана из коровьего и козьего молока

Критерий сравнения	Айран из коровьего молока	Айран из козьего молока
Вкус и аромат	Мягкий, сливочный, нейтральный кисломолочный аромат; 5 баллов	Специфический аромат (кап-риловая, каприновая к-ты); 4 балла
Аллергенность	Содержит α S1-казеин; возможна реакция при непереносимости	Низкое содержание α S1-казеина; гипоаллергенен
Усвояемость жиров	Жировые шарики крупные; усвояемость умеренная	Жировые шарики мелкие (нет агглютина); усвояемость выше
Са и Р	Са $\approx$ 120 мг/100 мл	Са $\approx$ 134 мг/100 мл; выше
Консистенция	Однородная	Нежная, однородная

Заключение

По результатам проведённого исследования установлено, что оба опытных образца — из коровьего и козьего молока — формируют продукт с высокими органолептическими характеристиками. Профилограмма демонстрирует практически идентичные сенсорные профили. Различие отмечено по показателю «вкус», что обусловлено специфическими вкусо-ароматическими особенностями козьего сыра.

Физико-химический анализ показал, что полученные образцы характеризуются значениями активной кислотности pH 4,3 и 4,2, а также титруемой кислотностью 90°Т и 96°Т соответственно, что соответствует нормативным требованиям для айрана и свидетельствует о правильно протекающем процессе молочнокислого брожения. Айран из козьего молока также отличается несколько более высоким содержанием белка и жира, что повышает его пищевую ценность.

Учитывая растущую потребность в продуктах лечебно-профилактического назначения, айран из козьего молока может быть рекомендован для включения в рацион работников промышленных предприятий. Как подчеркивают Таева А.М., Шамбулова Г.Д. и Бакиева В.М., «рационализация лечебно-профилактического питания предполагает использование продуктов с повышенной биологической ценностью, способных компенсировать неблагоприятное воздействие производственных факторов» [8, с. 112]. Гипоаллергенные свойства козьего молока и высокое содержание в нем легкоусвояемых белков и жирных кислот делают айран на его основе перспективным компонентом специализированных рационов питания.

Список литературы

1. Технический регламент Таможенного союза ТР ТС 033/2013 «О безопасности молока и молочной продукции». — Москва : ЕЭК, 2013. — 56 с.
2. Гаврилова Н.Б., Щетинина Е.М. Козье молоко — биологически полноценное сырьё для специализированной пищевой продукции // Хранение и переработка сельхозсырья. — 2019. — № 1. — С. 66–75.
3. Садовой В.В., Вобликова Т.В., Пермьяков А.В. Жирнокислотный состав козьего и овечьего молока и его трансформация в процессе производства йогурта // Техника и технология пищевых производств. — 2019. — Т. 49, № 4. — С. 555–562. DOI: 10.21603/2074-9414-2019-4-555-562.
4. Шуварики А.С. Биологическая ценность и технологические свойства козьего молока : учебное пособие. — Москва : Изд-во РГАУ-МСХА, 2015. — 160 с.
5. Анцыперова М.А., Арсеньева Т.П. Белковая и липидная составляющая коровьего, козьего молока и низколактозного напитка на козьем молоке // Вопросы питания. — 2019. — Т. 88, № 5. — С. 37–44.
6. ГОСТ 3624-92. Молоко и молочные продукты. Титриметрические методы определения кислотности. — Москва : Изд-во стандартов, 1993. — 8 с.
7. Канареев П. И., Кулажанов Т. К. Технология национальных молочных продуктов : учебник. — Алматы : Изд-во Алматинского технол. ун-та, 2011. — 240 с. (Информация о жирнокислотном составе обычно приводится на стр. 85–88).
8. Таева А.М., Шамбулова Г.Д., Бакиева В.М. Рационализация лечебно-профилактического питания работников промышленного предприятия // Пищевая промышленность Казахстана. — 2019. — № 2. — С. 110–115.

Philological Sciences

Türkçe–Çince Dil İlişkileri ve Çinceye Geçen Türkçe Sözcükler Üzerine Bir İnceleme

Svetlana SHUINSHINA

PhD Candidate, International Burch University, Dept. of Oriental Philology,
<https://orcid.org/0009-0000-2413-5709>

Sead IBRIĆ

Asist. Prof. Dr., International Burch University / Faculty of Education and Humanities /
Oriental Philology, ORCID: 0009-0006-2891-1924

ÖZ

Bu makalede, Türkçe ile Çince arasındaki dil ilişkileri ve Çinceye geçen Türkçe kökenli sözcükler üzerine yapılan araştırmalar incelenmiştir. Çalışmada tarihî dilbilim, etimoloji ve karşılaştırmalı dil inceleme yöntemlerinden yararlanılarak Türkçe–Çince arasındaki söz varlığı ilişkileri değerlendirilmiştir. Özellikle Çin kaynaklarında yer alan Türkçe kökenli sözcükler, eski Türk yazıtları ve Çinli Türkologların çalışmaları ele alınmıştır. Bununla birlikte, Türkçe ile Çince arasındaki dilsel etkileşimin yalnızca tek yönlü olmadığı, tarihî süreç içerisinde karşılıklı bir söz alışverişinin gerçekleştiği görülmüştür. Araştırmada, Çincedeki bazı sözcüklerin Türkçe ile fonetik ve anlamsal benzerlikleri olduğu, özellikle askerî, ticari, kültürel ve günlük yaşama ait kelimelerde karşılıklı etkileşimin belirgin olduğu tespit edilmiştir. Ayrıca Çin’de eski Türk yazılı eserleri üzerine yapılan çalışmaların XX. yüzyıldan itibaren gelişerek sistemli bir Türkoloji araştırma alanına dönüştüğü sonucuna ulaşılmıştır.

Anahtar kelimeler: Türkçe, Çince, dil ilişkileri, Türkoloji, ödünçleme, etimoloji, Çinli Türkologlar.

A Study on Turkish–Chinese Language Relations and Turkish Loanwords in Chinese

ABSTRACT

This article examines studies conducted on the linguistic relations between Turkish and Chinese, as well as research on Turkish-origin words that passed into Chinese. Within the study, vocabulary relations between Turkish and Chinese were evaluated by employing historical linguistics, etymology, and comparative linguistic analysis methods. In particular, Turkish-origin words found in Chinese sources, Old Turkic inscriptions, and the studies of Chinese Turkologists were discussed. In addition, it has been observed that the linguistic interaction between Turkish and Chinese was not one-sided, but rather involved a mutual exchange of vocabulary throughout history. The study reveals that some words in Chinese display phonetic and semantic similarities with Turkish, and that reciprocal interaction is especially evident in military, commercial, cultural, and daily-life vocabulary. Furthermore, it has been concluded that studies on Old Turkic written works in China have developed since the twentieth century and gradually transformed into a systematic field of Turkological research.

Keywords: Turkish, Chinese, language relations, Turkology, borrowing, etymology, Chinese Turkologists.

1. GİRİŞ

Türkler tarih boyunca geniş bir coğrafyaya yayılarak pek çok milletle temas hâlinde bulunmuş, bu temasların sonucunda hem komşu dilleri etkilemiş hem de onlardan etkilenmiştir. Türk dillerinin etki alanı Sibiryâ'dan Avrupa'ya kadar uzanmakta, bu süreç yalnızca dil düzeyinde değil, kültürel ve toplumsal alanlarda da iz bırakmaktadır. Geçmişte savaşlar, göçler, kervan ticareti ve siyasî ilişkiler aracılığıyla gerçekleşen dilsel etkileşim, günümüzde küresel iletişim araçları sayesinde daha hızlı ve yaygın hâle gelmiştir (Aksan, 1995).

Çin ise eski Türk tarihi ve kültürüne ilişkin zengin ve değerli verilerin bulunduğu bir ülkedir. Türk yazılı eserlerinin incelenmesi alanında da önemli çalışmalar yaparak büyük başarılar elde eden bir devlettir. XX. yüzyılın 70'li yıllarının sonlarından itibaren Çin'de eski Türk yazılı eserlerinin araştırılması yeni bir nitelik kazanmış ve daha ileri bir düzeye yükselmiştir. Nitekim Çinli araştırmacılar, eski dönemlere ait Kül Tigin, Bilge Kağan ve Tonyukuk yazıtlarının yazı ve dil özelliklerinden başlayarak, Sincan bölgesi, Orta Asya ve diğer ülkelerden elde edilen, özellikle Orta Çağ'a ait Türk yazılı eserlerini; başta Turfan bölgesi ile Dunhuang'daki Mogao Mağaraları'nda (Bin Buda Mağaraları) bulunan eski Türkçe yazıtları inceleme konusunda önemli başarılar elde etmişlerdir.

2. YÖNTEM

Bu çalışma, nitel araştırma yöntemine dayalı olarak hazırlanmıştır. Araştırmada veri toplama yöntemi olarak doküman incelemesi kullanılmıştır. Türkçe ile Çince arasındaki dil ilişkileri üzerine yapılmış yerli ve yabancı kaynaklar, makaleler, sözlükler ve tarihî dil araştırmaları incelenmiştir. Özellikle Çince'deki Türkçe kökenli sözcükler üzerine yapılan çalışmalar değerlendirilmiş; Türkçe ile Çince arasındaki söz varlığı ilişkileri tarihî dilbilim ve karşılaştırmalı dil incelemesi çerçevesinde ele alınmıştır.

Araştırma kapsamında Alimcan İnayet, Günay Karaağaç, Lajos Ligeti, Abdurishid Yakup, Yaşin Kumaruly ve Çinli Türkologların çalışmaları incelenmiş; bu çalışmalarda yer alan Türkçe kökenli sözcükler fonetik, anlamsal ve tarihî açıdan değerlendirilmiştir. Ayrıca Çin kaynaklarında geçen Türkçe kökenli kişi adları, yer adları ve kültürel unsurlar etimolojik açıdan analiz edilmiştir.

Çalışmada elde edilen veriler karşılaştırmalı yöntemle değerlendirilmiş, Türkçe ile Çince arasındaki dilsel etkileşimin tarihî süreç içerisindeki gelişimi ortaya konulmaya çalışılmıştır.

3. BULGU ve YORUMLAR

Türkler ile Çinliler tarih boyunca uzun süre komşu olmuş, ticari ve kültürel ilişkilerini kesintisiz biçimde sürdürmüşlerdir. Çok yakın komşu olması, edebiyat ve yazı dili açısından her iki milleti de etkilemiştir. Türkçe ile Çince arasında çok sayıda benzer veya ortak görünen sözcük bulunmaktadır. Ancak bu sözcüklerin hangi dilin verici, hangisinin alıcı olduğu konusu hâlâ tartışmalıdır. Hâlâ bu konu üzerinde geniş şekilde incelemeler yapılmamıştır. Çin dilinin yapı bakımından zor olması da bu işi zorlaştırmaktadır. Bu konuda zorlandığını, 1941'de, "Çin Transkripsiyonlu Barbar Glosarları Meselesi" adlı yazısında L. Ligeti de belirtmiştir.

Ligeti, bu yazısında, sinologların Altay dillerinin meseleleriyle ilgilenmediklerinden, Altay dillerini bilenlerin ve bu yolda araştırma yapanların da Çince'nin bilmeceleleri karşısında kılavuzsuz çırpındıklarından şikâyet eder (Karaağaç, 2008).

Nitekim Türkizm hakkında araştırma yapan Çin araştırmacıların çokluğunu Masimkhanuly ve Abidenkyzy'nın Kıtaydaki Türkolojiya: Köne Türkü jazba Jadigerlerinin zerttelui jane Jetekşi Galımdar isimli makalesinden görmekteyiz. Makalede, Çin'de eski Türk yazıtları ve Uygur yazısı üzerine yapılan araştırmalar XX. Yüzyılın 20–30'lu yıllarında başlamıştır. İlk dönem çalışmalar daha

çok metinlerin toplanması ve tanıtılmasıyla sınırlı kalmıştır. Ancak ilerleyen yıllarda bu alan sistemli bir bilim dalına dönüşmüştür. Bu süreçte özellikle Feng Jiasheng, eski Uygur yazıtlarını bilimsel olarak inceleyen ilk araştırmacılardan biri olmuş ve Türkoloji çalışmalarına önemli katkı sağlamıştır. Örneğin, onun Turfan Bölgesi'nde bulunan eski Türkçe metinler üzerine yaptığı çalışmalar bu alanın gelişmesine zemin hazırlamıştır.

Daha sonraki dönemde Geng Shimin, Çin'de Türkoloji alanının en önemli temsilcilerinden biri olarak öne çıkmıştır. Geng Shimin, eski Türk dili üzerine kapsamlı ders kitapları, sözlükler ve akademik çalışmalar hazırlayarak bu alanın kurumsallaşmasına katkıda bulunmuştur. Özellikle Köne Türkî tilindegî tandamalı jazba jädigerler (Eski Türk yazılı metinleri) gibi eserler, araştırmacılar için temel kaynaklar arasında yer almaktadır. Bunun yanı sıra, Li Futong eski Uygur yazısının kökeni üzerine çalışmalar yapmış, Abduheim Koja ve Tursun Ayup Orhon yazıtları (örneğin Tonyukuk yazıtı) üzerine incelemeler gerçekleştirmiştir. Ayrıca Qurban Wali, Turfan bölgesinde bulunan eski Türkçe ahşap yazıtlar üzerine araştırmalar yaparak alana katkı sağlamıştır.

1976 yılında Çin'de "Eski Türk dili" bölümünün açılmasıyla birlikte bu alanda uzman yetiştirilmeye başlanmış ve akademik çalışmalar hız kazanmıştır. Bu süreçte Budist içerikli eski Uygur metinleri (Altun Yaruk, Maitrisimit vb.) ile klasik Türk eserleri (Kutadgu Bilig, Oğuzname) üzerine yapılan çalışmalar da artmıştır. Sonuç olarak, Çin'de Türkoloji araştırmaları başlangıçta sınırlı olsa da, zamanla gelişerek sistemli ve kapsamlı bir bilim alanı hâline gelmiştir (Masimkhanuly & Abidenkyzy, 2023, s. 75)

Yakup, A'nın "Çin'de Türk dilleri ve Türk dilleriyle ilişkili dil ve dil çeşitlerine ilişkin son belgeler" isimli makalesinde son otuz yılda Kuzeybatı Çin'de Türk dilleri ve Türk dilleriyle bağlantılı diller ve varyantlar üzerine yürütülen dilbilimsel alan araştırması projelerinin sayısının çoğaldığını belirtmektedir. Bu alan araştırmalarına dayanan bilimsel çalışmaların sayısı da oldukça fazladır. Malzemenin hacmi göz önüne alındığında, çalışmaların hepsinin kapsamlı bir dökümünü vermek mümkün değildir (Yakup, 2025, s. 85).

İnayet (2007), Türkçe ve Çince'deki Bazı Benzer Kelimeler Üzerine adlı makalesinde, Eski Türkçede bulunan bazı kelimelerin bilimsel temelden uzak biçimde Çince kökenli gösterildiğini belirtir. Araştırmacı, özellikle şu örnekleri verir:

Bey – Türkçede "yönetici, soylu unvanı"; Çince'de bei ile ses benzerliği kurulmaktadır.

Donmak – Türkçede "soğuktan katılaşmak"; Çince'de dong köküyle karşılaştırılmaktadır.

Kap – Türkçede "kap, kap-kacak"; Çince'de fonetik benzerlik taşıyan sözcüklerle ilişkilendirilmektedir.

Denk – Türkçede "eşit, ölçü birimi"; Çince'de yakın sesli formlarla tartışılmaktadır.

Çın – Türkçede "çınlamak"; Çince'de qing/chen biçimleriyle benzerlik gösterir.

"inci" – Türkçede "inci (mücevher)"; Çince'de zhenzhu (inci) ile anlam düzeyinde ilişki kurulmaktadır.

İnayet bu örnekler üzerinden şunu vurgular:

Türk ve Çin dillerinde o kadar çok benzer kelimeler vardır ki, bunları hemen Çinceye mal etmek işi kolayına kaçmak olur. Çince her zaman verici, Türkçe ise alıcı bir dil olmamıştır. Türkçeden de tarihin çeşitli dönemlerinde Çinceye pek çok kelimenin geçtiği muhakkaktır. Çünkü Çin tarihinde Altay dil ailesine mensup Türk, Moğol ve Mançuların yüzyıllar boyunca devletler kurduklarını biliyoruz (2007, s. 115).

Aynı şekilde Karaağaç (2008) da *Türkçe Verintiler Sözlüğü*'nde, Çinlilerin Türklerin en eski komşularından biri olduğunu belirterek, Türkçe–Çince etkileşiminde alıntı ve verinti sözcüklerinin sayısının binlerle ifade edilmesi gerektiğini dile getirmektedir. Tüm bu bulgular, Türkçe–Çince ilişkilerinin yalnızca tarihsel değil, dilbilimsel açıdan da kapsamlı araştırmalar gerektiren bir alan olduğunu ortaya koymaktadır.

Çin yıllıklarında yer alan Türkçe kökenli toponimler ve onomastik unsurlar, Türk-Çin dil ilişkilerinin tarihsel derinliğini ortaya koyan önemli veriler sunmaktadır. Bu kayıtlar, eski Türk

halklarına ait yer adlarının Çin yazı sistemi aracılığıyla günümüze ulaştığını göstermektedir. Ancak söz konusu adların doğru biçimde okunması ve yorumlanması, Çin hiyerogliflerinin fonetik özellikleri ve tarihsel değişimleri nedeniyle oldukça güçtür. Bu nedenle araştırmalarda tarihî-karşılaştırmalı ve etimolojik yöntemlerin birlikte kullanılması gerekmektedir. Ayrıca, Çin kaynaklarında Türkçe unsurların çoğunlukla transkripsiyon yoluyla aktarıldığı ve bu süreçte önemli fonetik değişimlere uğradığı görülmektedir. Bu durum, Türkçe ile Çince arasındaki dilsel etkileşimin doğrudan değil, daha çok dolaylı ve yazı sistemi aracılığıyla gerçekleştiğini göstermektedir (Gabithanulı, 2025, s. 128).

Mustafaulı (2007), Eski Türkçe ile Çince Arasındaki Sözcük Aktarımlarına Dilbilimsel Bir Analizi adlı makalesinde, günümüzdeki Çin milletinin geçmişte yüzlerce hatta binlerce boy, kabile ve halkın birleşmesi sonucunda oluştuğunu belirtmektedir. Bu topluluklar arasında Türk dilli halkların da bulunduğu tarihî yazılı kaynaklardan anlaşılmaktadır. Dolayısıyla günümüz Çince dilinin de bu farklı halkların dillerinin birleşmesiyle ortaya çıktığı ifade edilmektedir.

Yasin Kumarulı'nın "Türki jane Kıtay tilderindegi "Kap" tübirleri" isimli makalesinde de Çin dili ile Türkçe arasındaki benzerlikler üzerinde durmuştur. Sadece bir kelimeyi ele alarak ortak yönlerini göstermiş. Bir "Kap" kelimesinin Çindeki anlamlarını ve Türkçedeki anlamlarını alt alta yazarak anlatmış.

Çin dilinde Türk diline ait unsurların yoğun biçimde bulunduğu artık inkâr edilemeyecek bir gerçek hâline gelmiştir. Bu görüşe göre eski dönemlerde Türkçe ile Çince arasındaki ilişkiler birkaç aşamada değerlendirilebilir.

Çince'nin oluşum sürecinde Türk dillerinin temel söz varlığı kaynaklarından biri olarak kullanıldığı belirtilerek, günümüz Çince'sindeki birçok kök sözcüğün Türkçe kökenli olduğu ileri sürülmektedir. Yer, su, toprak, yaprak, ev, parmak, görmek, yürümek, gelmek, gitmek, yüzmek, öğrenmek gibi eski kök sözcükler buna örnek gösterilmektedir.

İkincisi, Şang dönemi civarındaki kültürel etkileşim sırasında "buğday", "araba", "tümen" gibi bazı sözcüklerin Türk dilleri aracılığıyla Çinceye geçtiği belirtilmektedir.

Üçüncüsü, Çin Han hanedanlığı döneminde "er", "sangun", "deve" gibi kelimelerin kullanıldığı ifade edilmektedir.

Dördüncüsü, Tang Hanedanı döneminde Çinceye giren Türkçe sözcükleri ele almış.

Beşincisi ise Cengiz Han döneminde Türk-Moğol dilleri aracılığıyla Çinceye geçen Türkçe unsurlardır.

Kumarulı'ya göre Türkçe ile Çince arasındaki ilişkiler oldukça eski dönemlere dayanmaktadır. Araştırmacı, Çin dilinin oluşum sürecinde Türk dillerinin etkili olduğunu ve bazı temel kök sözcüklerin Türkçe ile ilişkili olduğunu ileri sürmektedir. Ayrıca tarihî dönemler boyunca kültürel temaslar sonucunda "buğday", "araba", "tümen", "er" ve "deve" gibi çeşitli sözcüklerin Çinceye geçtiğini belirtmektedir. Bunun yanında "kap" kökünün Türk dilleri ile bazı dünya dilleri arasında ortak özellikler de delilleriyle göz önüne sermektedir (Kumarulı, 2007, s. 65).

Genel kaynaklardan okuduğumuz bilgilere göre Çin'de Türk soylarının çok yaşadığıdır. Onlar: Türk dilli 7 millet ve 9 Türk dilidir. Bu halklar çoğunlukla Çin'in batı ve kuzeybatısındaki Şıncan, Gansu ve Çinghay bölgelerinde yaşamaktadır. Ayrıca Çin'in kuzeydoğusunda da bazı Türk toplulukları bulunmaktadır. Çin'de Türk dillerini konuşanların toplam nüfusunun yaklaşık 10 milyon olduğu belirtilmektedir. Bunlar arasında Kazak, Uygur, Kırgız, Özbek, Tatar, Salar ve Yugur halkları yer almaktadır. Bu kadar Türk soylarıyla iç içe yaşayan Çin halkı ister istemez Türkçenin etkisi altında kalacağı muhakkaktır.

İNAYET'e göre Türkler, tarihin çeşitli dönemlerinde Çinceye çok sayıda kelime kazandırmıştır. Liu Zhengyan, Gao Mingkai, Mai Yongqian ve Shi Youwei gibi Çinli dilbilimciler, farklı dillerden Çinceye geçen yaklaşık 10.000 kelimeyi Hanyu Wailaici Cidian ("Çinedeki Alıntılar Sözlüğü") adlı eserde toplamışlardır. Bu sözlüğe göre Huncadan Çinceye 28, Türkçeden 52 ve

Uygurcadan 83 kelime geçmiştir. “Konghou” (kopuz), “zhenzhu” (inci), “nang” (ekmek) ve “qiapan” (ceket) gibi bazı kelimeler günümüz Çincesinde hâlen kullanılmaktadır (İnayet, 2020).

Türkçe ile Çince arasındaki dil ilişkileri incelendiğinde, iki dil arasında tek yönlü bir aktarımın olmadığı görülmektedir. Uzun yıllar boyunca bazı araştırmalarda Çince yalnızca verici dil, Türkçe ise alıcı dil olarak değerlendirilmiş olsa da, tarihî veriler bu ilişkinin karşılıklı olduğunu göstermektedir. Özellikle Hun, Göktürk, Uygur ve Moğol dönemlerinde Türk topluluklarının Çin coğrafyasıyla yoğun siyasî, askerî ve ticarî ilişkiler kurması, Türkçenin de Çince üzerinde etkili olmasına zemin hazırlamıştır. Bu nedenle Türkçe–Çince ilişkisini yalnızca “Çince’den Türkçe’ye geçen kelimeler” çerçevesinde değerlendirmek eksik bir yaklaşım olacaktır.

Çin kaynaklarında yer alan Türkçe kökenli unvanlar, askerî terimler, müzik aletleri, yiyecek adları ve günlük yaşama ait bazı sözcükler, Türkçenin belirli dönemlerde Çince için de verici bir dil işlevi gördüğünü ortaya koymaktadır. Özellikle “konghou” (kopuz), “nang” (ekmek), “kan’er jing” (yer altı su kanalı) gibi örnekler, kültürel temas yoluyla gerçekleşen sözcük aktarımını göstermesi bakımından önemlidir. Bununla birlikte, Çincedeki bazı kelimelerin yalnızca ses benzerliğine dayanarak Türkçe veya Çince kökenli kabul edilmesi bilimsel açıdan yeterli değildir. Sözcüklerin tarihî kayıtları, kullanım alanları, fonetik değişimleri ve kültürel bağlamları birlikte değerlendirilmelidir.

Bu bağlamda Türkçe ile Çince arasındaki ilişki, tek taraflı bir etkilenmeden çok, uzun süreli tarihî temasların ortaya çıkardığı karşılıklı bir dil alışverişi olarak değerlendirilmelidir. Özellikle sınır bölgelerinde yaşayan Türk toplulukları, ticaret yolları ve kültürel etkileşimler, iki dil arasında çok katmanlı bir söz varlığı ilişkisi oluşturmuştur.

KAYNAKÇA

- Aksan, D. (1995). Her yönüyle dil: Ana çizgileriyle dilbilim. Türk Dil Kurumu Yayınları.
- Gabitkhanuly, K. (2025). Kytay zhylnamalaryndagy türkilik toponimder. Yessenov Science Journal, 1(50), 128–130. <https://doi.org/10.56525/CGDQ5635>
- İnayet, A. (2007). Türkçe ve Çince'deki bazı benzer kelimeler üzerine. Türkbilig, 14, 111–120.
- İnayet, A. (2020). Türklerin Çin kültürü üzerindeki etkileri. <https://akademiye.org/tr/wp-content/uploads/2020/12/17.-Turklerin-Cin-Kulturu-Uzerindeki-Etkileri.pdf>
- Karaağaç, G. (2008). Türkçe verintiler sözlüğü. Türk Dil Kurumu Yayınları.
- Kumaruly, Y. (2007). Türki jane Kıtay tilderindegi “Kap” tübirleri. Türkologiya, 5, 65–66.
- Masimkhanuly, D., & Abidenkyzy, A. (2023). Qytaydagy turkologiya: Köne türki zhazba zhädigerlerinin zerttelui zhane zhetekshi galymdar. Shygystanu seriyasy (Bulletin of Oriental Studies), 3(106), 74–77. <https://doi.org/10.26577/JOS.2023.v106.i3.08>
- Yakup, A. (2025). Çin’de Türk dilleri ve Türk dilleriyle ilişkili dil ve dil çeşitlerine ilişkin son belgeler. Türk Dili Araştırmaları Yıllığı – Belleten, 79, 83–112. <https://doi.org/10.32925/tday.2025.129>

УДК 347.78.034

Translating Children's Literature: English-Kazakh Analysis of Peter Pan

A.E. Olzhatay

A.D. Rumkul

Scientific supervisor:

A.B. Nabiyeva

senior lecturer

Karaganda National Research University named after E.A. Buketov, Karaganda, Kazakhstan

Abstract

This article examines the peculiarities of translating children's literature from English into Kazakh using J. M. Barrie's *Peter Pan* as the main source of analysis. The study focuses on the linguistic, cultural, grammatical, and stylistic features that arise in the translation of texts intended for young readers. Special attention is paid to the preservation of simplicity, emotional expressiveness, imagination, and character speech, which are essential elements of children's literature. The analysis shows that successful translation of children's texts requires not only accurate transfer of meaning but also adaptation to the cultural and linguistic norms of the target audience. Examples from the English original and its Kazakh translation demonstrate the use of such strategies as simplification, adaptation, and grammatical restructuring. The study concludes that effective translation of children's literature demands creativity, cultural sensitivity, and a deep understanding of the psychological and linguistic needs of child readers.

Keywords: adaptation, character speech, children's literature, cultural elements, grammatical restructuring.

Introduction

Children's literature significantly contributes to intercultural communication by enabling young readers to explore the values, traditions, and imaginative realms of diverse countries through translation. Translation enhances cultural awareness and promotes early cross-cultural understanding by rendering literary works accessible in other languages. *Peter Pan* by J. M. Barrie is a renowned work of English children's literature, depicting a kid who remains eternally youthful in a fantastical realm brimming with adventure, camaraderie, and creativity.

Translating children's literature entails several distinct obstacles. In contrast to works aimed at adults, children's literature necessitates clarity, emotional expressiveness, and accessibility, as it is crafted for readers whose linguistic and cognitive skills are still maturing. Consequently, the translator must ensure not only the precise conveyance of message but also the retention of stylistic simplicity, narrative tone, and imaginative components of the original text. This renders translation a complex and comprehensive endeavor that necessitates both linguistic proficiency and cultural awareness.

Moreover, the translation of children's literature frequently necessitates modification to align with the norms and expectations of the target audience. Translation studies indicate that tactics including simplification, adaptation, and restructuring are commonly utilized to preserve readability and communication efficacy [1]. These tactics ensure that the translated content remains captivating and comprehensible while maintaining its artistic integrity.

This article seeks to identify the principal translation procedures and modifications that facilitate the effective adaptation of the text for Kazakh-speaking kid readers.

Methods and Materials

The study examines the English original of *Peter Pan* by J. M. Barrie and its Kazakh adaptation.

The research utilizes a qualitative comparative examination of chosen extracts. The research emphasizes the identification of lexical, grammatical, stylistic, and cultural translation characteristics, along with methods like adaptation and simplification.

Results and Discussion

Children's literature is defined by uncomplicated language, concise sentences, and vibrant, expressive vocabulary designed to enhance understanding for young readers. The Kazakh rendition of *Peter Pan* by J. M. Barrie effectively maintains these characteristics via precise lexical selections and streamlined syntactic constructions. For example, the phrase "Peter flew in through the window" [2] is rendered as "Питер терезеден ұшып кірді" [3], preserving both clarity and comprehensibility.

The depiction of character dialogue also exhibits a significant degree of similarity. The expression "I am youth, I am joy!" [2] is rendered as "Мен жастықпын, мен қуанышпын!" [3], successfully maintaining the emotional intensity and expressive quality of the character. This signifies that the translator meticulously preserves the stylistic and psychological elements of the original text.

Cultural aspects are modified to guarantee understanding without substantial loss of meaning. For instance, "Mrs. Darling tucked the children into bed" [2] is rendered as "Дарлинг ханым балаларды ұйықтауға жатқызды" [3]. The cultural setting is preserved, yet the term is modified to resonate naturally within the Kazakh language milieu. This adaption demonstrates the necessity of reconciling cultural specificity with accessibility for the intended audience.

Imaginative and metaphorical components, integral to children's literature, are well maintained. The expression "Second star to the right and straight on till morning" is translated as "Оң жақтағы екінші жұлдызға қарай, таң атқанша тура жүр," preserving the enchanting tone and narrative ambiance of the original. This illustrates the translator's capacity to evoke images instead of depending on literal translation.

Grammatical adaptation is essential in the translation process. English sentence structures are altered to align with Kazakh grammatical conventions. For example, "All children, except one, grow up" [2] is rendered as "Барлық балалар өседі, тек біреуінен басқасы" [3], demonstrating the reorganization and modification of word order [4]. These modifications improve readability and guarantee linguistic accuracy.

The research indicates that the translation employs essential tactics like simplification, adaptation, and grammatical restructuring. These tactics aid in retaining the communicative function of the text, ensuring it stays comprehensible, expressive, and engaging for child readers while preserving the semantic and stylistic integrity of the original.

Conclusion

The analysis of the English original and the Kazakh translation of *Peter Pan* demonstrates that successful translation of children's literature requires the use of different translation strategies such as adaptation, simplification, and grammatical restructuring. These strategies help maintain the clarity of the narrative and ensure that the story is understandable and engaging for young readers.

Overall, the translation of children's literature requires creativity, cultural awareness, and sensitivity to the needs of young readers. Works such as *Peter Pan* demonstrate that a successful translation can bring different cultures closer together and enrich the literary experience of children. By carefully adapting language, preserving imagination, and maintaining emotional

depth, translators help ensure that classic stories continue to inspire and educate new generations of readers.

References

1. Barrie J.M. *Peter Pan*. London: Hodder & Stoughton, 1911, 200 p.
2. Barrie J.M. *Peter Pan* (Kazakh translation). Available from: <https://mura-kz.ru/ertegi-piter-pen.html> (Accessed 30 March 2026).
3. Oittinen R. *Translating for Children*. New York: Garland Publishing, 2000, 190 p.
4. Shavit Z. *Poetics of Children's Literature*. Athens: University of Georgia Press, 1986, 200 p.

Особенности перевода детской литературы: англо-казахский анализ «Питера Пэна»

А. Е. Олжатай*, А. Д. Рымқұл

Научный руководитель: старший преподаватель А.Б. Набиева

Карагандинский национальный исследовательский университет имени Е.А.

Букетова, Караганда, Казахстан

Аннотация: В данной статье рассматриваются особенности перевода детской литературы с английского языка на казахский на материале произведения Дж. М. Барри «Питер Пэн». Исследование сосредоточено на лингвистических, культурных, грамматических и стилистических особенностях, возникающих при переводе текстов, предназначенных для детской аудитории. Особое внимание уделяется сохранению простоты, эмоциональной выразительности, воображения и речевых характеристик персонажей, являющихся ключевыми элементами детской литературы. Анализ показывает, что успешный перевод детских текстов требует не только точной передачи смысла, но и адаптации к культурным и языковым нормам целевой аудитории. Примеры из оригинального английского текста и его казахского перевода демонстрируют использование таких стратегий, как упрощение, адаптация и грамматическая перестройка. Делается вывод о том, что эффективный перевод детской литературы требует творческого подхода, культурной чувствительности и глубокого понимания психологических и языковых особенностей детской аудитории.

Ключевые слова: адаптация, грамматическая перестройка, детская литература, культурные элементы, речевая характеристика персонажей.

Architecture

Преимущества музеефикации Боралдайских курганов посредством создания стационарного музейного комплекса вместо этнопарка

Садыкова Дильназ Халмуратовна

Студент 1 курса магистратуры, Казахская головная архитектурно-строительная академия, Алматы, Казахстан

Самойлов Константин Иванович

Доктор архитектуры, профессор, Казахский национальный исследовательский технический университет им. К.И. Сатпаева, Алматы, Казахстан

Аннотация

В статье рассматриваются подходы к музеефикации археологических объектов на примере Боралдайских курганов. Актуальность исследования обусловлена необходимостью выбора оптимальной модели сохранения и репрезентации культурного наследия в условиях возрастающей антропогенной нагрузки. Целью работы является сравнительный анализ форматов этнопарка и стационарного музейного комплекса. В ходе исследования выявлены ключевые различия в уровне сохранности объекта, научной достоверности интерпретации, характере использования территории и устойчивости функционирования. Обосновывается тезис о том, что музейный формат является более эффективной стратегией музеефикации, обеспечивающей сохранение археологического памятника и его научное осмысление.

Ключевые слова: музеефикация, археологическое наследие, курганы, культурный ландшафт, консервация, музейный комплекс, этнопарк

Вопрос сохранения и актуализации археологического наследия в условиях интенсивного градостроительного развития приобретает всё более выраженную научную и практическую значимость. Боралдайские курганы как памятник сакской и усуньской эпохи представляют собой ценный объект историко-культурного наследия, отражающий особенности погребальных практик, социального устройства и материальной культуры древнего населения региона. Вместе с тем уникальность данного комплекса определяется не только его археологической ценностью, но и масштабом территории, включающей десятки разновременных насыпей, образующих целостный погребально-поминальный ландшафт. Их расположение в зоне активного антропогенного воздействия усиливает необходимость разработки эффективных моделей их музеефикации и включения в современную культурную инфраструктуру. Расширение городской застройки Алматы создаёт реальную угрозу утраты визуальных связей между курганами и окружающей средой, что может привести к разрушению самого ландшафтного контекста, неотделимого от исторического содержания памятника. В этой ситуации выбор модели музеефикации перестаёт быть узкопрофессиональным вопросом и приобретает значение стратегического решения, способного определить дальнейшую судьбу объекта на десятилетия вперёд.

В современной практике охраны наследия наиболее распространёнными подходами к адаптации археологических памятников являются этнопарковая модель и создание стационарных музейных комплексов. Первый вариант ориентирован на реконструкцию исторической среды и развитие туристско-рекреационной функции, тогда как второй предполагает научно обоснованную консервацию и интерпретацию объектов «in situ», то есть работу с объектом на его исходном месте. При общей направленности на популяризацию наследия эти подходы базируются на принципиально разном понимании того, что именно и в каком виде следует предъявлять публике - имитацию ушедшей реальности или сохранившиеся материальные свидетельства о ней. Это различие имеет прямое следствие для физической сохранности археологических структур, поскольку определяет допустимую степень вмешательства в подлинную ткань памятника. Различие между этими подходами заключается не только в методах экспонирования, но и в уровне сохранения подлинности и степени научной строгости представления материала. Для наглядного сопоставления этих двух стратегий обратимся к сравнительной таблице (Табл. 1).

Таблица 1. Сравнительный анализ форматов музеефикации

Критерий	Этнопарк	Музейный комплекс
Цель	Развлекательная, рекреационная	Научная, образовательная
Подход к наследию	Реконструкция и стилизация	Консервация и научная интерпретация
Аутентичность	Частично утрачивается	Максимально сохраняется
Воздействие на курганы	Высокая антропогенная нагрузка	Минимальное контролируемое воздействие
Доступ посетителей	Свободный, неконтролируемый	Регулируемый, по маршрутам
Использование территории	Активное (мероприятия, застройка)	Ограниченное, с охранными зонами
Научная ценность	Низкая/средняя	Высокая
Тип экспозиции	Имитационная	Подлинная (артефакты, данные исследований)
Экономическая модель	Зависимость от сезонных событий	Стабильная, многокомпонентная

Как демонстрирует Таблица 1, различия между двумя подходами носят системный характер, охватывая цели, методы и результаты музеефикации. По сути, перед нами две принципиально разные философии обращения с наследием, каждая из которых по-своему отвечает на вопрос о допустимых границах трансформации памятника. Наиболее критичными представляются блоки, связанные с сохранением аутентичности и характером антропогенного воздействия на памятник. Именно эти параметры в конечном счёте определяют, сохранится ли объект для будущих поколений в своём подлинном виде или будет постепенно замещён новоделами и симулякрами. Применительно к Боралдайским курганам, где археологический ландшафт отличается особой хрупкостью, цена ошибочного выбора оказывается непереносимо высокой.

Этнопарк как форма репрезентации культурного наследия ориентирован преимущественно на создание визуально и эмоционально привлекательной среды за счёт реконструкций традиционных жилищ, организации массовых мероприятий и интерактивных программ. Ставка в этом случае делается на зрелищность и доступность, что, безусловно, способствует росту туристического потока и быстрой окупаемости проекта. Однако этот формат неизбежно сопряжён с высокой антропогенной нагрузкой на территорию памятника: свободное перемещение посетителей, проведение фестивалей и развитие инфраструктуры ведут к постепенной деградации археологических слоёв и нарушению структуры курганов. Особую тревогу вызывает то обстоятельство, что ущерб, наносимый археологическому слою в ходе такой эксплуатации, носит необратимый характер — утраченная информация не может быть восстановлена никакими последующими исследованиями. Кроме того, реконструкции в этнопарках зачастую носят обобщённый характер и не всегда соответствуют конкретному историческому контексту, что формирует упрощённое, а подчас и искажённое представление о прошлом. Подмена подлинной истории её стилизованной версией создаёт риск закрепления в массовом сознании недостоверных образов, которые впоследствии трудно поддаются научной корректировке. Таким образом, этнопарковый подход, несмотря на свою внешнюю привлекательность, оказывается ограниченным в аспектах обеспечения физической сохранности и научной достоверности.

В отличие от этнопарка, стационарный музейный комплекс основывается на принципах научной интерпретации и консервации. Его архитектурно-планировочная структура позволяет организовать контролируемые маршруты движения посетителей, ограничить доступ к наиболее уязвимым участкам и использовать защитные конструкции, что существенно снижает риск физического разрушения объекта. Кроме того, музейный формат даёт возможность гибко регулировать экскурсионную нагрузку в зависимости от сезона и состояния грунтов, чего невозможно достичь при свободном доступе на территорию этнопарка. Принципиально иным является и качество репрезентации: экспозиция музейного комплекса выстраивается вокруг подлинного археологического объекта, который сам по себе обладает статусом первоисточника. Включение в экспозиционное пространство результатов новейших исследований — от данных палеопочвоведения до трёхмерных реконструкций погребального обряда — позволяет сформировать у посетителя многомерное представление об изучаемой эпохе, не прибегая к домысливанию и вольным интерпретациям. Вместо потребления зрелищного образа прошлого посетителю предлагается интеллектуальное и эмоциональное переживание встречи с аутентичным свидетельством ушедшей эпохи. Именно в этом заключается ключевое преимущество музейной модели применительно к таким сложным и семантически насыщенным объектам, как погребально-поминальные комплексы раннего железного века.

Существенные различия между рассматриваемыми форматами проявляются также в характере взаимодействия с культурным ландшафтом. Этнопарк предполагает активное насыщение территории новыми постройками, что трансформирует исходную среду и снижает её аутентичность. Возведение реконструируемых сооружений непосредственно в зоне визуального восприятия курганов нарушает исторически сложившиеся панорамы и разрушает то ощущение масштаба и пространственной иерархии, которое составляло неотъемлемую часть замысла создателей некрополя. В противоположность этому, музейный комплекс ориентирован на интеграцию в существующий ландшафт с минимальным вмешательством: архитектурные решения разрабатываются с учётом сохранения визуальной целостности территории и доминирующей роли археологического объекта. Применение заглублённых или обвалованных построек, нейтральных по фактуре материалов и сдержанной цветовой гаммы позволяет инфраструктурным элементам не конкурировать с памятником, а напротив — подчёркивать его значимость. Такой подход соответствует современным принципам охраны культурного наследия и обеспечивает сохранение исторической среды. Международные хартии, в частности Венецианская хартия 1964 года, прямо указывают на недопустимость искажения исторического окружения памятника новыми постройками, что ещё раз подтверждает обоснованность музейной модели.

Анализ социально-экономической эффективности двух моделей (Табл. 2) также свидетельствует в пользу музейного комплекса.

Таблицы 2. Социально-экономическая эффективность моделей музеефикации

Критерий	Этнопарк	Музейный комплекс
Экономическая устойчивость	Зависит от сезона и событий	Стабильная (гранты + программы)
Тип занятости	Временная	Постоянная
Функциональная направленность	Рекреационная	Научно-образовательная
Источник дохода	Туризм, мероприятия	Многоуровневое финансирование
Развитие региона	Краткосрочный эффект	Долгосрочное влияние

Исходя из таблицы 2, функционирование этнопарка во многом зависит от сезонных колебаний спроса и событийной наполненности, что делает его экономически уязвимым. Музейный комплекс, напротив, формирует многофункциональную структуру, объединяющую выставочную, образовательную и научную деятельность. Это обеспечивает стабильный поток посетителей в течение всего года и диверсифицирует источники финансирования за счёт грантов, образовательных программ и международного сотрудничества. Дополнительным преимуществом становится создание постоянных, а не временных рабочих мест, что усиливает долгосрочное позитивное влияние на развитие региона.

Заключение

Проведенный анализ показал, что выбор модели музеефикации Боралдайских курганов напрямую влияет на степень сохранности археологического объекта и характер его научной интерпретации. Сопоставление этнопаркового и музейного форматов выявляет между ними фундаментальный конфликт приоритетов.

В первом случае этнопарк ориентирован преимущественно на визуальную реконструкцию и массовую туристическую активность, что усиливает рекреационную функцию, но одновременно повышает антропогенную нагрузку на территорию памятника и снижает уровень аутентичности. В результате исторический объект частично трансформируется в имитационную среду, где научная составляющая уступает место развлекательной.

Во втором музейный комплекс обеспечивает более строгий режим охраны и научно обоснованный подход к интерпретации. Он позволяет сохранить археологическую структуру курганов в исходном ландшафтном контексте, минимизируя вмешательство и обеспечивая контролируемый доступ посетителей. Это делает музейную модель более устойчивой с точки зрения долгосрочного сохранения наследия.

Таким образом, комплексный учёт критериев физической сохранности, научной достоверности интерпретации, щадящего режима использования ландшафта и экономической устойчивости позволяет утверждать, что формат стационарного музейного комплекса является предпочтительной стратегией музеефикации Боралдайских курганов. Именно эта модель способна обеспечить баланс между хрупкостью археологического памятника, нуждающегося в защите, и запросом современного общества на подлинное переживание истории, не подменяемое имитацией.

Список литературы:

- 1.Тургенбаев Е., Суюндикова М. Музеефикация памятников археологии Нижнего течения Сырдарьи (по городищам Сыганак, Жанкент) // Вестник КазНУ. Серия историческая. – 2019. – №2. – С. 221–229.
- 2.Кулемзин А.М. Историко-культурное наследие и общество: теория и методика охраны памятников. – Кемерово: КемГИК, 2018. – 147 с.
- 3.Археологическое культурное наследие г. Алматы / Институт археологии им. А.Х. Маргулана. – Алматы, 2024.
- 4.Археологическое наследие Центрального Казахстана: изучение и сохранение. В 2 т. – Алматы: Бегазы-Тасмола, 2017.
- 5.Ютина Т.К. Археологические коллекции музеев и университетов: возможности популяризации историко-культурного наследия // Археология Евразийских степей. – 2019. – №5. – С. 48–56.
- 6.Алтынбеков К. Возрождённые сокровища Казахстана: опыт научной реставрации. – Алматы: Evo Press, 2014. – 360 с.
- 7.Археологическое наследие Казахстана. – Алматы: Национальная электронная библиотека Казахстана.
- 8.Основы музееведения. – М.: Едиториал УРСС, 2005.
- 9.Каулен М.Е. Музеефикация историко-культурного наследия России. – М.: Этерна, 2012.

Цифровой двойник жилого здания: от BIM-модели реконструкции к интеллектуальной системе управления эксплуатацией

Өмірзақ Айдана Бердіғалиқызы

магистрант кафедры «Архитектура», Казахский национальный исследовательский технический университет им. К.И. Сатпаева, Алматы, Қазақстан

Мауленова Гульнар Джупарбековна

ассоциированный профессор кафедры «Архитектура», Казахский национальный исследовательский технический университет им. К.И. Сатпаева, Алматы, Қазақстан

Аннотация

Статья посвящена анализу концепции цифрового двойника (Digital Twin) применительно к жилым зданиям, проходящим реконструкцию. Рассматривается эволюция BIM от статичной трёхмерной модели (3D) через многомерные представления (4D-7D) до динамического цифрового двойника, интегрированного с IoT-датчиками и системами управления зданием. Систематизированы международные кейсы 2020-2025 годов, демонстрирующие эффективность цифровых двойников в снижении эксплуатационных расходов, сокращении потребления энергии и повышении качества технического обслуживания. Рассмотрены технологические компоненты, ключевые барьеры внедрения и перспективы применения для жилых многоквартирных домов в контексте казахстанской строительной отрасли.

Ключевые слова: цифровой двойник, BIM-технологии, информационное моделирование зданий, реконструкция жилых зданий, управление эксплуатацией, жизненный цикл здания.

Введение

Технология BIM исторически создавалась как инструмент управления полным жизненным циклом здания - от концепции до сноса. Однако на практике большинство BIM-моделей «умирают» вместе с завершением строительства или реконструкции: по данным исследования 2025 года, охватившего 534 публикации за 2010-2024 годы в Web of Science, основная часть BIM-исследований (более 70%) сосредоточена на стадиях проектирования и строительства. Стадия эксплуатации, на которую приходится до 85% совокупных затрат за жизненный цикл здания, остаётся наименее охваченной цифровыми инструментами.

Концепция цифрового двойника (Digital Twin) призвана восполнить этот разрыв. В отличие от статичной BIM-модели, цифровой двойник представляет собой динамическую виртуальную копию физического объекта, постоянно обновляемую данными с датчиков реального здания. По прогнозам Gartner, к 2025 году около 30% крупных строительных проектов должны использовать технологию цифровых двойников, что позволит сократить эксплуатационные расходы на 15-20%. Для реконструируемых жилых зданий, где после завершения строительных работ необходимо долгосрочно контролировать качество усиленных конструкций, эффективность инженерных систем и тепловой режим, цифровой

двойник становится не опциональным дополнением, а стратегически важным инструментом.

Настоящая статья ставит целью систематизировать международный опыт создания цифровых двойников жилых и общественных зданий на этапе постреконструкционной эксплуатации, определить технологическую архитектуру такого двойника и обозначить перспективы внедрения данного подхода в казахстанскую практику.

От BIM к цифровому двойнику: эволюция концепции

Современная концепция BIM включает несколько измерений, надстраивающихся над базовой трёхмерной геометрической моделью.



Рисунок 1. 10 измерений в BIM-технологиях

(Источник: <https://biblus.accasoftware.com/en/7d-bim-and-facility-management/>)

Таблица 1. Измерения BIM и их связь с цифровым двойником

Измерение	Содержание	Связь с DT
3D	Геометрия, материалы, пространство	Основа геометрической части DT
4D	Управление временем и расписанием	Мониторинг строительных работ
5D	Стоимостная оценка, QTO	Экономический мониторинг эксплуатации
6D	Энергоэффективность, устойчивое развитие	Энергетический двойник здания
7D	Управление эксплуатацией и техническим обслуживанием (FM)	Операционный слой DT

BIM 7D - ключевой этап трансформации модели в инструмент управления объектом. В 7D-модели каждый элемент здания содержит данные о технических характеристиках, паспортах оборудования, графиках технического обслуживания, гарантийных сроках и истории ремонтов. Международный стандарт COBie (Construction Operations Building Information Exchange) обеспечивает передачу этих данных в системы CAFM/IWMS (Computer-Aided Facility Management), CMMS и BMS.

Цифровой двойник является следующим уровнем развития BIM 7D: если 7D-модель содержит статические данные об объекте, то цифровой двойник интегрирует эти данные с непрерывным потоком информации от IoT-сенсоров, обновляя виртуальную модель в режиме реального времени.

Определение и архитектура цифрового двойника здания

По ISO 23247, цифровой двойник - динамическая виртуальная копия физического объекта, обновляемая в реальном времени. Применительно к зданию цифровой двойник включает шесть функциональных слоёв:

1. Геометрический слой - 3D BIM-модель (As-Built/As-Is), созданная в ходе строительства или обследования (Scan-to-BIM);
2. Информационный слой - база данных элементов здания: паспорта оборудования, технические характеристики, LOD/LOI;
3. Сенсорный слой - сеть IoT-устройств: датчики температуры, влажности, CO₂, освещённости, счётчики энергопотребления, датчики вибрации (для конструктивного мониторинга);
4. Аналитический слой - алгоритмы машинного обучения и ИИ для анализа данных, прогнозирования отказов и оптимизации режимов работы;
5. Операционный слой - интеграция с системами BMS/BAS, HVAC, освещением; автоматическое управление инженерными системами;
6. Визуализационный слой - 3D-интерфейс для управляющей компании и жильцов.

Международный опыт: ключевые кейсы 2020-2025

Реконструкция жилого здания в Чехии (1970-е годы постройки)

Наиболее близким к теме реконструкции советского/постсоветского жилого фонда является кейс, опубликованный в Journal of Building Engineering (2025): создание цифрового двойника многоквартирного дома 1970-х годов в Чехии. Авторы разработали BIM-платформу, интегрирующую исторические данные здания с результатами постреконструкционного мониторинга, что позволило выявить отклонения фактического потребления энергии от проектного на 12-18%.

Проект REHOUSE (EC, 2022-2025)

Европейский проект REHOUSE разработал цифровой двойник на основе BIM для четырёх демонстрационных объектов реконструкции в Греции, Венгрии, Франции и Италии. Ключевая особенность - интеграция цифрового двойника с Digital Building Logbook (DBL) и Energy Performance Certificate (EPC), обеспечивающая непрерывный мониторинг результатов реновации. Проект показал, что Digital Twin позволяет отслеживать соответствие реального потребления энергии проектным показателям и своевременно корректировать режим работы инженерных систем.

Цифровой двойник для тепловой эффективности (систематический обзор, 2026)

Систематический обзор 51 эмпирического исследования (2020-2025), опубликованный в Buildings (MDPI, 2026), показал, что BIM-IoT цифровые двойники достигают точности прогнозирования энергопотребления с погрешностью менее 10%. Алгоритмы reinforcement learning обеспечивают экономию энергии HVAC-систем на 25-40%, а системы предиктивного обслуживания демонстрируют точность диагностики 91-97%.

Проект ENSNARE: операционный цифровой двойник после реновации

Проект ENSNARE (EU) разработал концепцию Operational Digital Twin - цифрового двойника, создаваемого специально для постреконструкционной эксплуатации. По данным ENSNARE, внедрение операционных цифровых двойников позволяет снизить эксплуатационные выбросы зданий на 30%. При этом исследование фиксирует, что,

несмотря на потенциал технологии, её интеграция в практику реновации остаётся на уровне 13%.

Административное здание региона Лацио (Италия, 2024)

Кейс цифрового двойника для общественного здания с применением BIM + AI + IoT для управления пространством продемонстрировал снижение потребления энергии на 530,40 МВт·ч в год (641,32 тонны CO₂/год) при оптимизации работы HVAC и освещения.

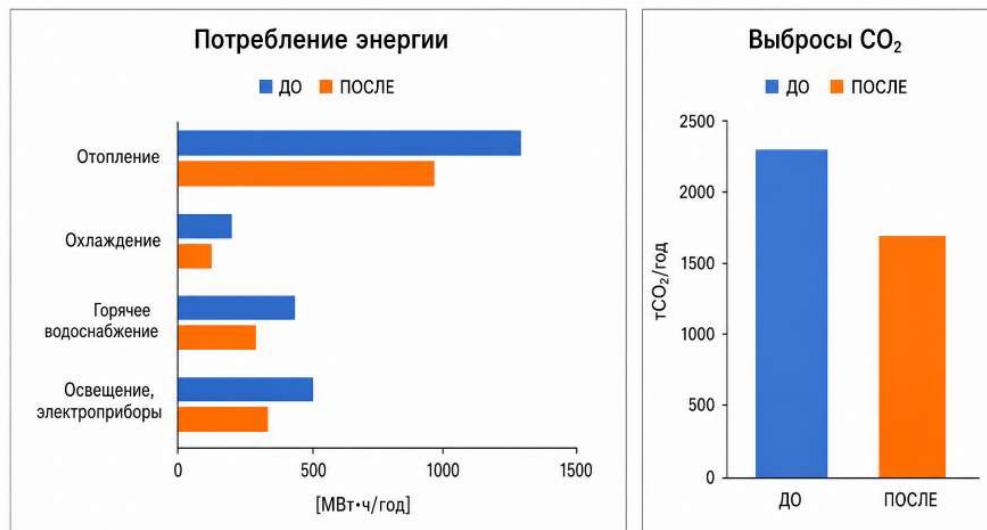


Рисунок 2. Сравнение между сценариями ДО и ПОСЛЕ:

(а) потребление энергии; (б) выбросы CO₂

(Источник: <https://www.mdpi.com/2076-3417/14/17/7463>)

Цифровой двойник как инструмент постреконструкционного контроля

Применение цифрового двойника особенно ценно именно для реконструированных зданий по ряду причин:

Верификация результатов реконструкции. После завершения реновации цифровой двойник позволяет сравнивать реальные показатели здания (потребление энергии, температура в помещениях, деформации конструкций) с проектными значениями. Это обеспечивает «замыкание петли» проектного решения - обратную связь от эксплуатации к проектированию.

Мониторинг конструктивного состояния. Для зданий, прошедших антисейсмическое или конструктивное усиление, критически важен непрерывный мониторинг состояния несущих конструкций. Датчики деформаций и акселерометры, интегрированные в BIM-модель через цифровой двойник, позволяют выявлять аномальное поведение конструкций без дорогостоящего визуального обследования.

Управление энергопотреблением. Исследования показывают, что глубокая реновация сокращает спроектированное потребление энергии, однако реальное потребление нередко отличается от расчётного. Цифровой двойник, обновляемый данными счётчиков и IoT-сенсоров, позволяет непрерывно отслеживать и минимизировать этот разрыв.

Предиктивное техническое обслуживание. Системы предиктивного обслуживания на основе ML-алгоритмов анализируют данные о работе инженерного оборудования и выявляют признаки надвигающихся отказов за 2-4 недели до их возникновения, сокращая внеплановые простои и аварийные ремонты.

Реализация цифрового двойника для жилого здания после реконструкции предполагает интеграцию следующих технологических компонентов:

Таблица 2. Технологический стек цифрового двойника жилого здания

Компонент	Технологии/ПО	Функция
BIM-платформа	Autodesk Revit, ArchiCAD	As-Built модель, LOD 400-500
CDE	Autodesk ACC, BIM 360	Хранение и управление данными
IoT-платформа	Arduino, Siemens Desigo, Schneider EcoStruxure	Сбор данных с сенсоров
Аналитика	Python, TensorFlow, Azure IoT Hub	ML-модели, предиктивное обслуживание
FM-система	IBM Maximo, Archibus, SAP PM	Управление активами и ТО
Стандарт обмена данными	COBie 2.4, IFC 4.3	Интероперабельность
Визуализация	Autodesk Tandem, Bentley iTwin	Интерфейс цифрового двойника

Рабочий процесс создания цифрового двойника жилого здания после реконструкции включает четыре последовательных этапа:

1. Scan-to-BIM - лазерное сканирование, создание As-Is/As-Built модели, LOD 300-400;
2. BIM 7D / AIM - наполнение модели эксплуатационными данными через COBie, передача в CAFM-систему;
3. IoT-интеграция - монтаж сенсоров, подключение к платформе сбора данных, привязка к элементам BIM-модели;
4. AI/ML-аналитика - обучение моделей прогнозирования, настройка алгоритмов управления.

Барьеры внедрения

Несмотря на технологическую зрелость концепции, внедрение цифровых двойников для жилых зданий сталкивается с рядом системных барьеров:

1. *Интероперабельность*. Отсутствие единого стандарта передачи данных между BIM-платформами, IoT-системами и CAFM создаёт технические барьеры. IFC 4.3 решает часть задач, но поддержка стандарта в коммерческом ПО остаётся неполной;
2. *Отсутствие As-Built моделей*. Для существующих зданий (особенно советской постройки) As-Built BIM-модели отсутствуют, что требует предварительного Scan-to-BIM - значительных временных и финансовых затрат;
3. *Стоимость IoT-инфраструктуры*. Монтаж полноценной сенсорной сети в жилом многоквартирном доме требует инвестиций, которые сложно распределить среди собственников жилья;
4. *Кадровый дефицит*. Управляющие компании жилого сектора, как правило, не располагают специалистами в области BIM и цифровых технологий;
5. *Нормативные пробелы*. Международные стандарты (ISO 19650, PAS 1192) и казахстанские нормы (СН РК 1.02-119-2019) регулируют создание AIM, однако не охватывают полный жизненный цикл цифрового двойника жилого здания.

Перспективы для Казахстана

Казахстан активно движется к цифровизации строительной отрасли: к 2028 году запланирован переход на обязательные цифровые стандарты проектирования и управления, включая широкое применение цифровых двойников. Государственная платформа «Smart Turmys» интегрирует данные ЖКХ-инфраструктуры в умные городские платформы с онлайн-мониторингом.

В рамках программы обновления жилищного фонда 2023-2029 годов реконструируемые здания могут стать «первыми ласточками» внедрения цифровых двойников в жилом секторе.

Предлагается концептуальная схема поэтапного перехода от BIM-модели реконструкции к цифровому двойнику.

Таблица 3. Этапы авторской BIM-методологии реконструкции и их вклад в цифровой двойник

Этап	Наименование	LOD	Ключевой результат	Вклад в цифрового двойника
1	Подготовка: EIR, BER	-	OIR, AIR, EIR	Требования к информационным потребностям цифрового двойника
2	As-Is BIM (Scan-to-BIM)	LOD 200-300	3D-модель существующего состояния (1 847 элементов)	Геометрическая основа цифрового двойника
3	Вариантное проектирование	LOD 200-300	MCDM-АНР выбор варианта реконструкции	Проектное решение для сравнения с фактом
4	Рабочее проектирование (BIM 3D/4D/5D)	LOD 300-350	Clash Detection, QTO, календарный план	4D/5D-слои цифрового двойника
5	Детальное проектирование	LOD 400	Рабочая документация, IFC 4.3	Инженерные данные для FM-системы
6	As-Built модель	LOD 400-500	Исполнительная модель здания	Точная геометрия цифрового двойника
7	AIM (BIM 7D)	LOD 500	Asset Information Model, COBie 2.4	Операционный слой цифрового двойника - основа FM
8	IoT-интеграция	-	Привязка датчиков к AIM (COBie 2.4)	Сенсорный слой цифрового двойника
9	Аналитическая платформа	-	Azure IoT Hub, ML-модели	Аналитический слой цифрового двойника
10	Операционный DT	-	Autodesk Tandem / Bentley iTwin	Полноценный цифровой двойник

Таким образом, предложенная методология не является конечной точкой проектного процесса, а представляет собой подготовительную базу для цифрового двойника: три дополнительных шага - монтаж IoT-инфраструктуры с привязкой к AIM, интеграция с аналитической платформой и формирование операционного DT - превращают каждый реконструированный дом в объект с полноценным цифровым управлением эксплуатацией в соответствии с СН РК 1.02-119-2019 и ISO 19650-1-2019.

Заключение

Цифровой двойник жилого здания представляет собой не просто очередной цифровую технологию, а принципиально новую модель управления постройкой на протяжении всего жизненного цикла - от замысла до сноса. В отличие от статичной BIM-модели, которая фактически завершает своё существование со сдачей объекта, цифровой

двойник продолжает жить вместе с зданием: он непрерывно обновляется, реагирует на изменения в реальном состоянии объекта и обеспечивает обратную связь между проектным решением и реальной эксплуатацией.

Проведённый анализ международного опыта 2020-2025 годов показывает, что цифровые двойники достигают измеримых экономических результатов: экономия энергии HVAC-систем 25-40%, снижение эксплуатационных выбросов CO₂ до 30%, точность предиктивной диагностики оборудования 91-97%, сокращение затрат на аварийные ремонты на 15-20%. При этом цифровой двойник решает ключевую проблему реновации – выявление разрыва в энергетической эффективности (отклонения реального потребления энергии от проектного на 12-18%): без непрерывного мониторинга этот разрыв невидим ни для проектировщика, ни для заказчика.

Особую ценность цифровой двойник приобретает именно в контексте реконструкции существующего жилого фонда. Реконструкция – это не только 3-5 лет строительных работ, но дальнейшие 25-30 лет эксплуатации. Именно на этот длительный период приходится подавляющая часть совокупных затрат здания – до 85% от стоимости жизненного цикла. Цифровой двойник превращает BIM-модель из единовременного документа в постоянно актуальный цифровой организм, помогающий управлять каждым аспектом жизнедеятельности здания: от планового обслуживания инженерных систем до контроля конструктивной безопасности и оптимизации энергопотребления.

Дальнейшие исследования должны быть направлены на разработку экономически доступной модели цифрового двойника для жилых многоквартирных домов в условиях казахстанской строительной отрасли, включая нормативную адаптацию стандартов BIM 7D/AIM и апробацию минимально жизнеспособных решений на реальных реконструируемых объектах.

Список литературы

1. Digital Twins for Thermal Comfort and Energy Efficiency in Buildings: A Systematic Review // Buildings. - 2026. - Vol. 16(9). - P. 1715. DOI: 10.3390/buildings16091715.
2. A review of building digital twins: Framework and enabling technologies // Journal of Building Engineering. - 2025. DOI: 10.1016/j.jobbe.2025.013543.
3. Reducing Building Emissions Post-Retrofit with Digital Twins. ENSNARE Project Report. - IES VE, 2024.
4. D4.3 Digital Twins of the 4 buildings of the 4 demos. REHOUSE Project. - European Commission, 2024.
5. Enhancing building energy performance with digital twin technologies. SmartWins Project. - BUILD UP EU, 2024.
6. Digital Twins and Their Roles in Building Deep Renovation Life Cycle / Pan Y., Hu Z., Brilakis I. - Cambridge University Repository, 2023.
7. A scientometric review of BIM in project and construction management: trends and emerging research frontiers (2010-2024) // Engineering, Construction and Architectural Management. - 2026. DOI: 10.1108/ECAM-03-2025-0348.
8. СН РК 1.02-119-2019. Требования к Asset Information Model. - Астана: Министерство индустрии и инфраструктурного развития РК, 2019.
9. Карта цифровой трансформации государственного управления в строительстве. - Комитет по делам строительства РК, 2024.

THE CONCEPT AND FACTORS OF FORMING URBAN IDENTITY

Ziyada Zhantuar Mukhtaruly

Scientific supervisor: Research Professor Priemets O.N.

ABSTRACT

The article examines the concept of urban identity as one of the key elements in forming a unique image of a city and shaping how it is perceived by residents. The main theoretical approaches to defining urban identity in contemporary academic literature are analyzed, and the factors influencing the process of its formation are identified. Particular attention is paid to the role of the architectural and spatial structure of the city, historical and cultural heritage, public spaces, natural features, and social interactions in forming a stable image of the urban environment. It is noted that urban identity is formed through the complex interaction of spatial, cultural, and social components that determine the uniqueness and recognizability of a city. The results of the study make it possible to systematize the main factors of urban identity formation and determine their importance for urban planning processes and the development of the contemporary urban environment.

Keywords:

urban identity, urban environment, public spaces, architectural environment, image of the city, urban planning, formation factors.

INTRODUCTION

Modern cities are complex spatial and social systems in which a unique environment for human life and interaction is formed. In the context of active urbanization, the issue of preserving the individuality of cities and shaping their unique image is becoming increasingly important. In recent decades, many cities have faced the problem of losing their distinctive characteristics, which is associated with the unification of architectural solutions, the standardization of urban development, and the rapid pace of urban planning development. In this regard, academic studies increasingly address the concept of urban identity, which reflects the set of characteristics that form the uniqueness and recognizability of the urban environment.

Urban identity develops under the influence of various factors, among which the architectural and spatial structure of the city, historical and cultural heritage, natural and landscape conditions, and public spaces as an important part of urban life are of particular significance. In addition, social processes, cultural traditions, and residents' perception of the urban environment play an important role. The interaction of these elements forms a stable image of the city, which defines its individuality and contributes to the formation of an emotional connection between people and the urban environment.

The study of urban identity makes it possible to understand more deeply the mechanisms by which a unique image of a city is formed and to identify the factors that influence the perception of the urban environment. In the context of contemporary urban development, such research is especially relevant, since taking the factors of urban identity into account contributes to the formation of a comfortable, sustainable, and expressive urban environment.

Architectural identity of the city and its indicators

In academic literature, the issue of urban identity is considered quite broadly; however, a single and stable definition of this concept has not yet been established. This is because the identity of a city lies at the intersection of several fields of knowledge at once: architecture, urban studies, sociology, cultural studies, and urban anthropology. In some studies, it is considered a social phenomenon connected with a person's self-perception in the urban environment, while in others it is understood as a set of spatial, historical, and cultural features that make it possible to distinguish one city from another [1]. Therefore, when studying architectural identity, it is important to take into account not only the physical structure of the city, but also how it is perceived by residents, what emotions it evokes, and what stable ideas it forms in public consciousness.

In most studies, urban identity is revealed through the relationship between a person and a place. In this case, the city is perceived not only as a set of buildings, streets, and squares, but as an environment of everyday life with which a person gradually develops an emotional, social, and cultural connection. This is why urban identity cannot be reduced only to the external appearance of a city or to its architectural expressiveness. It includes memories, habitual routes, social contacts, cultural symbols, and personal experience of interaction with the urban environment [2]. In this sense, the identity of a city is formed not instantly, but gradually, through long-term residence, repeated practices, and a person's constant inclusion in urban life.

This approach makes it possible to consider urban identity as the result of interaction between people and the urban environment, including a set of social, cultural, spatial, and symbolic meanings associated with a particular urban space. In this context, the residents' perception of the architectural environment, public spaces, historical heritage, and cultural traditions of the city becomes especially important. A city becomes recognizable not only through individual landmark objects, but also through its overall atmosphere, the character of its streets, the scale of its spaces, the rhythm of urban life, and the scenarios that are reproduced every day by its residents [3].

At the same time, it is important to note that urban identity is formed not only at the level of subjective perception, but also under the influence of objective characteristics of the urban environment. Such characteristics include the architectural and planning structure of the city, the features of its development, natural and landscape conditions, the system of public spaces, and the historically established organization of the territory. These elements create the material basis upon which social and cultural meanings are then layered. Thus, streets, squares, parks, historical buildings, natural landmarks, and urban dominants become not merely objects of the urban environment, but carriers of collective memory and recognizability [4].

The concept of "urban identity" can be understood as a person's idea of themselves as a resident of a city. This may be an understanding of oneself as a resident of a specific city, for example, "I am an Almaty resident," or a more general awareness of oneself as an urban dweller, that is, a person connected with an urban way of life, urban rhythms, culture, and a system of social relations. In this sense, urban identity is part of a person's social identity, since it is formed through belonging to a particular urban community, its norms, symbols, and lifestyle [2].

At the same time, it is important to distinguish between the concepts of "urban identity," "identity of the city," and "identity with the city." Urban identity relates primarily to the person and reflects how they recognize themselves as a resident of the city. The identity of the city, in turn, is associated with ideas about the city itself, its character, features, differences from other cities, and emotional attitude toward it. These are the stable feelings, images, and associations that arise among residents when the city is mentioned. Identity with the city can be understood as a deeper psychological connection between a person and a place, when the city becomes part of their personal biography, life experience, social ties, and everyday memory [2].

If the focus is placed not only on the person but also on the city itself, then identity can be considered not as a property of the subject's psyche, but as a set of material and immaterial qualities of the urban environment. These qualities may be expressed through architectural forms, the planning structure, the character of streets, the typology of development, public spaces, natural elements, historical layers, and cultural symbols. In this understanding, architectural identity becomes a special property of the urban environment that expresses its recognizability, continuity, and connection with the local context [5].

These qualities are most important not in isolation, but as an integral whole. A single building, square, or park may be expressive, but the genuine identity of a city emerges when these elements form a connected system. Such a system reflects the historical development of the city, its natural conditions, social structure, and the specific features of everyday use of space. Therefore, architectural identity cannot be created only through external decoration or decorative techniques. It is formed through a stable connection between spatial structure, the history of place, and the way of life of citizens [6].

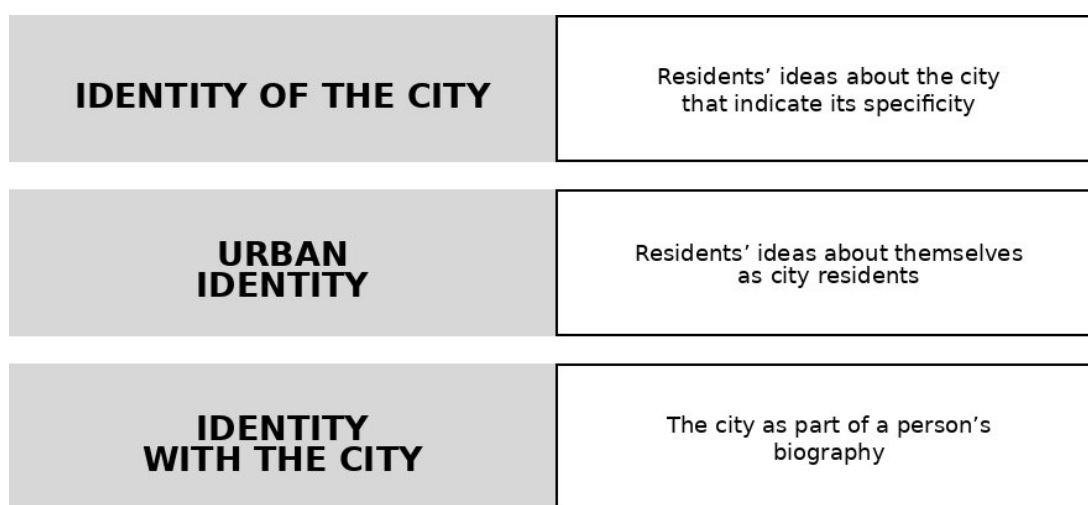


Figure 1. Categories of identity in relation to the city

Such a combination of material and immaterial features is formed both naturally, reflecting the stages of the city's development and changes over the course of its existence, and artificially, through certain historical processes, urban planning decisions, and social events. In this case, each city has its own unique combination of features. The task of research is not only to describe these features, but also to identify which of them truly shape the city's recognizability and support its internal integrity [7].

A set of qualities of the urban environment possesses the property of recognizability only when it is connected with local form factors. Such factors include natural conditions, relief, climate, historical planning, the character of development, the system of public spaces, transport structure, social practices, and cultural traditions. In the case of Almaty, an important role is played by its foothill location, visual connection with the Zailiysky Alatau, green plantings, climatic features, and the historically established structure of the central districts [8]. It is precisely the combination of natural and anthropogenic factors that makes the city recognizable and distinct from others.

Only in this case does the concept of “architectural identity” correspond to the main property of identity: recognizability through sameness. In other words, a city must not merely be different from others, but also equal to itself, preserving the internal logic of its development and its main contextual features even under conditions of change. In this case, the city's recognizability is conveyed not only through visual images, but also through a system of meanings connected with history, nature, culture, and everyday life [4].

Architectural identity is based on a person's ideas about the city, its essence, and its difference from other cities. Therefore, in order to determine the identity of a particular city, it is necessary to consider not only its physical characteristics, but also the perception of residents, users of the urban environment, and tourists. These ideas can be called the dominants of local patriotism, since they evoke in people a sense of community, belonging, and emotional connection with the city [2]. In this sense, public spaces are of particular importance, because everyday urban life is most actively manifested in them.

The identity of the city is perceived precisely from within, which significantly distinguishes it from the concept of the image of the city. The image of the city is more often associated with first impressions, external representation, tourist perception, and visual symbols. Identity, however, manifests itself more deeply, at the second and subsequent levels of perception. It becomes most visible to those people who have lived in the city for a long time, mastered its routes, become involved in social connections, and, in a sense, “immersed” themselves in its everyday processes [4].

When a person arrives in another city, they first perceive it through the most obvious and iconic elements: large squares, well-known buildings, monuments, main streets, or natural dominants. However, after a longer stay, perception changes. Not only symbols come to the fore, but also the atmosphere, rhythm of life, convenience of movement, quality of public spaces, the character of communication between people, and everyday scenarios of the urban environment. Therefore, the image of the city can be defined as external perception, while identity is internal perception formed through time, memory, and a person's interaction with the city [4].

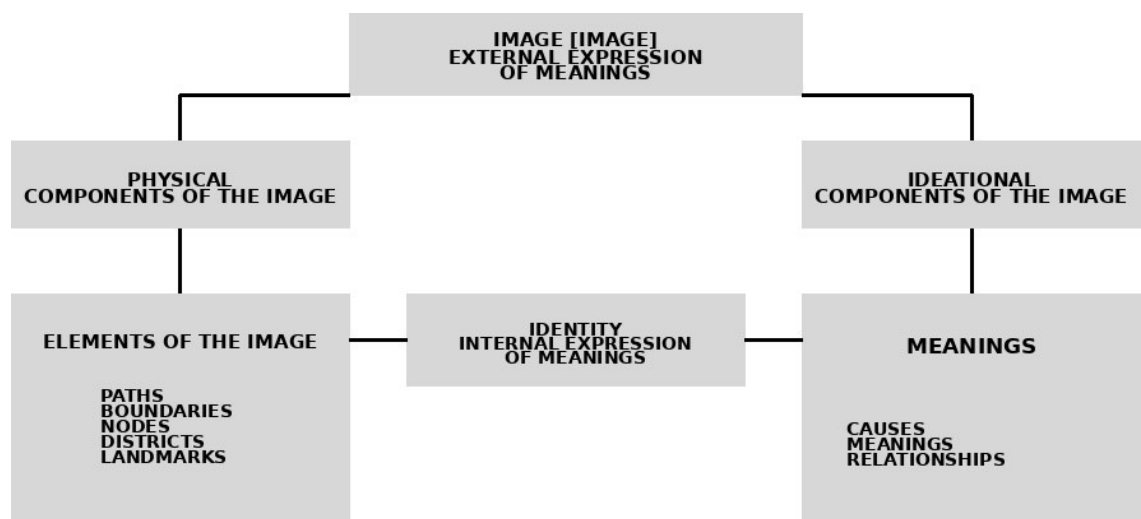


Figure 2. Identity in the structure of city perception

After formulating the definition, the main indicators of the architectural identity of the urban environment can be identified. These include recognizability and sameness, that is, the ability of the city to differ from others while at the same time preserving its connection with its own local patterns. Continuous development over time is also an important indicator, whereby the city may change while preserving its basic contextual components. The integrity of the urban structure is no less significant, since spatial fragmentation weakens the perception of the city as a unified system [5]. In addition, an important feature of identity is its orientation toward internal perception, and not only toward the formation of an external image.

Main factors in the formation of urban identity

The formation of urban identity is a complex and multifaceted process influenced by a combination of spatial, cultural, social, natural, economic, and infrastructural factors. Their

interaction determines the unique image of the city, its recognizability, and the nature of how the urban environment is perceived by residents and visitors. Among the main factors are architectural and spatial organization, historical development, cultural heritage, the system of public spaces, natural and landscape conditions, transport and pedestrian infrastructure, and the socio-cultural practices of citizens [1].

One of the key factors in the formation of urban identity is the architectural and spatial organization of the urban environment. The planning structure, the character of development, the scale of streets and squares, the city silhouette, the typology of quarters, and architectural styles form the visual image of the urban environment and determine the specific features of its perception. Architectural dominants, significant public buildings, historical structures, contemporary architectural objects, and transport hubs become landmarks in the urban structure and contribute to the formation of a recognizable appearance of the city [4].

Not only individual buildings are important, but also the system of spatial connections between them. A person perceives the city not as a set of isolated objects, but as a sequence of spaces, routes, views, transitions, and landmarks. Therefore, architectural identity is connected with the extent to which the urban environment can be read as an integral system. If individual elements are not connected with each other, the urban environment becomes fragmented and its identity weakens. This is why, in urban planning analysis, it is important to consider not only objects, but also the connections between them, the street structure, the character of public spaces, and the sequence of urban impressions [6].

The historical development of a city and the preservation of cultural heritage play an important role in forming its identity. Architectural monuments, historical development, cultural traditions, iconic places, and historical routes reflect the memory of the city and shape its cultural value. The presence of historical layers contributes to the preservation of the uniqueness of the urban environment and maintains the connection between the past and the contemporary stage of the city's development [7]. At the same time, cultural heritage should be considered not only as a set of individual monuments, but also as a broader system of material and immaterial traces of history.

For Almaty, the historical factor is of particular significance, since the city has passed through several stages of spatial and cultural formation: from Verny to Soviet Alma-Ata and the contemporary post-Soviet metropolis. Each of these stages left its own trace in the planning structure, architectural appearance, and system of public spaces. The historical core of Almaty, the features of the quarter structure, the character of the central streets, and preserved fragments of historical development are important elements of the city's architectural identity [8].

At the same time, Almaty's identity cannot be considered through architecture alone. The natural landscape is the most important element of urban perception. The foothill location, visual connection with the mountains, climatic conditions, green plantings, and recreational potential form a special spatial atmosphere of the city. Natural elements do not merely complement the architectural environment; they become independent carriers of urban identity. For many Almaty residents, the mountains are one of the city's main symbols and an important part of the emotional perception of the urban environment [9].

Squares, parks, public gardens, pedestrian streets, and embankments are important elements of the urban structure where the city's social and cultural life takes place. Public spaces create conditions for communication, recreation, everyday meetings, events, and the formation of urban communities. Owing to their openness and accessibility, they strengthen residents' emotional connection with the urban environment and contribute to a sense of belonging [10]. In this sense, public space is not only a physical territory, but also a social platform where urban culture is reproduced.

The importance of public spaces is especially emphasized in contemporary urban

approaches. A high-quality public space should be accessible, safe, convenient, functionally rich, and capable of supporting various scenarios of urban life. It should operate not only as a transit territory, but also as a place for staying, communicating, and observing urban life [11]. This is why the success of a public space is determined not only by its architectural appearance, but also by how actively and diversely it is used by people.

Jan Gehl's works emphasize human scale, the convenience of pedestrian movement, and the need to design an environment oriented toward people rather than only toward transport efficiency. In this approach, the urban environment is assessed by how comfortable it is for a person to walk, stand, sit, look, communicate, and remain in a space [12]. This is especially important for the formation of identity, since a city is remembered not only through its buildings, but also through the quality of everyday presence in the urban environment.

The social life of small urban spaces is also of great importance for the formation of identity. Even small squares, public gardens, street sections, or areas near building entrances can become meaningful places if they support everyday forms of communication, recreation, and observation. William Whyte showed that the success of such spaces often depends on simple but important characteristics: convenient seating, good visibility, sunlight, accessibility, and the possibility of freely choosing one's behavior [13]. Such spaces form a person's everyday attachment to the city.

Urban identity is formed not only through the physical environment, but also through social interactions, cultural traditions, and the lifestyle of citizens. Urban celebrations, cultural events, public activity, local traditions, meeting places, cafes, markets, shopping streets, and other everyday practices form the socio-cultural space of the city and strengthen its uniqueness [3]. In this sense, the city is perceived not only as an architectural form, but also as a cultural system in which space and human behavior constantly interact.

Transport and pedestrian infrastructure is an important factor in the formation of identity. Contemporary approaches to street transformation show that the street is not only a transport corridor, but also a full-fledged public space. Redistributing street space in favor of pedestrians, cyclists, public transport, and urban activity makes it possible to improve the quality of the environment and make the city more convenient for everyday use [14]. For Almaty, this issue is especially relevant, since for a long time the urban environment developed under the strong influence of automobile infrastructure.

Jane Jacobs emphasized that the viability of a city depends on the mixing of functions, the density of everyday contacts, the diversity of users, and the activity of streets. In her view, the safety and attractiveness of the urban environment are formed not only through planning decisions, but also through the constant presence of people, the diversity of scenarios, and natural social control [15]. These provisions are important for understanding urban identity, since it is active urban life that makes space recognizable, lively, and emotionally meaningful.

For Almaty, issues of public spaces and their transformation are especially relevant in connection with changes in the city's structure during the post-Soviet period. Contemporary studies show that the city is gradually moving from an administrative and transport-oriented logic of spatial formation toward a more human-oriented and multifunctional approach. In this process, public spaces become an important tool for improving the quality of the urban environment, developing pedestrian activity, and forming a new urban identity [16].

Studies devoted to the principles of organizing public spaces in large cities using Almaty as an example emphasize the need for accessibility, connectivity, functional diversity, and ecological sustainability of such territories [17]. This is especially important for a city where public spaces must take into account not only central districts, but also peripheral residential areas. The balanced development of parks, public gardens, pedestrian streets, and recreational zones makes it possible to form a more balanced urban environment and strengthen the identity not only of

the center, but also of individual districts.

In addition, demographic and socio-economic data must be considered in order to understand urban identity. Population size, density, migration processes, age structure, and the dynamics of urban growth affect the load on public spaces, the need for infrastructure, and the character of use of the urban environment [18]. Statistical data do not reveal identity directly, but they help to understand the objective conditions in which it is formed.

Thus, the formation of urban identity is connected with many factors. The architectural structure creates the visual basis of the city, historical heritage provides a connection with the past, the natural landscape forms the unique image of the place, public spaces support social life, and the everyday practices of residents fill the city with emotional and cultural content. Only through the interconnection of these factors can one speak of a full-fledged architectural identity of the urban environment.

Methodology for studying the architectural identity of the city

To work with the architectural identity of a city in a physical sense, it is necessary to recognize and study it within the framework of urban planning analysis as one of the fundamental directions of architectural science. Urban planning analysis has always existed in parallel with design practice and has been a synthetic discipline combining various methods for assessing the urban environment. It includes the study of the planning structure, functional zoning, transport system, natural conditions, historical and cultural context, and the social organization of space [18].

However, when studying architectural identity, ordinary urban planning analysis is not sufficient, because identity cannot be reduced only to the physical characteristics of the environment. It is connected not only with how a city is arranged, but also with how it is perceived, remembered, and lived by people. Therefore, the study of identity requires the comparison of the external manifestations of the urban environment with the internal reasons for its formation: historical, natural, social, cultural, and economic. In this case, urban planning analysis becomes not only a description of the existing state, but also a tool for identifying the causal logic of the city [5].

When speaking about identity, it is important to study not only individual architectural objects, but also the system of connections between them. It is necessary to take into account how streets connect public spaces, how the natural landscape influences the perception of the city, which districts are perceived as historically significant, which spaces become places of everyday activity, and which elements of the urban environment residents consider symbolically important. This approach makes it possible to consider the city as a complex system in which material structure and social perception constantly interact with each other [1].

The analysis and assessment of identity form factors is one of the key directions in the study of the urban environment. Such form factors include the natural, historical, social, economic, and infrastructural conditions of the city's formation. They make it possible to understand why the city acquired precisely this structure, what circumstances influenced its development, and which elements became the basis of its recognizability. As a result, a conditional "causal matrix" is formed, allowing one to answer the question of why the city is exactly as residents and visitors perceive it [19].

IDENTITY FORM FACTORS: CAUSES INFLUENCING THE IDENTITY OF PLACE		
CATEGORY	SUBCATEGORY	FACTORS
REGULAR (BASIC NATURAL PREREQUISITES)	GEOGRAPHICAL	Location, material resources; Soil type and character; Presence of water; Natural objects, landscape; Flora and fauna
	CLIMATIC	Temperature regimes; Types and prevailing kinds of precipitation; Insolation regime; Wind regime and directions
	HISTORICAL	Landmark places, events; Functions of territories; Monuments, urban systems
IRREGULAR (LOCAL AND BORROWED)	SOCIAL	Population composition and size; Social structure, age structure; Everyday life, migrations; Changes in ethnic composition
	CULTURAL	Cultural code, traditions; Religion, figures; Lifestyle, fashion, language
	ECONOMIC	Types of production, type of economy; Connection (transport communication); Interaction with other settlements
	POLITICAL	Local government policy; General political climate, ideology
	TECHNOLOGICAL	Communal structure, specialists; Methods of material processing; Craft directions

Figure 3. Identity form factors

The analysis of public spaces as places where urban identity is manifested most directly is also of great importance. A space may be architecturally designed and landscaped, but if it is not used by people, does not evoke an emotional connection, and is not included in everyday routes, its significance for identity will be limited. Therefore, the study of public spaces should include not only a description of the layout, paving, landscaping, and small architectural forms, but also observation of people's behavior, the nature of staying in the space, movement routes, and the intensity of social activity [10].

Sociological, cultural, and anthropological analysis is inseparable from the assessment of physical and spatial factors. These methods make it possible to study the city not only as a material environment, but also as a space of meanings, memories, habits, and social ties. Since architectural identity is determined not only by local factors, but also by residents' ideas about their city, it can be understood only through the analysis of perception, everyday experience, and user evaluations of the urban environment [2].

Methods for studying identity can conventionally be divided into quantitative and qualitative methods. Quantitative methods include sociological surveys, questionnaires, statistical analysis, and the processing of demographic and socio-economic data. These methods make it possible to identify general trends, the frequency of opinions, the distribution of answers, and objective parameters of the urban environment. They are useful for understanding the scale of phenomena, but they are not always capable of revealing the deeper causes of a person's emotional connection with the city [18].

Qualitative methods are especially important for studying the identity of a city. These include in-depth interviews, participant observation, analysis of everyday routes, the study of urban narratives, mental mapping, photographic documentation, and observation of scenarios for using public spaces. These methods make it possible to understand why a particular place is perceived as significant, what associations it evokes, what memories are connected with it, and why some spaces become part of urban identity while others remain neutral [13].

In this context, the study of the everyday life of the city becomes important. Identity is manifested not only in large monuments, central squares, or well-known architectural objects, but also in ordinary places of everyday use: streets, public gardens, courtyards, stops, cafes, markets, walking routes, and small public spaces. It is precisely such places that often form the most stable emotional connection between a person and the city, because they are included in their daily experience [3].

In the course of the study, it was established that in the professional and theoretical field of architecture, the concept of "identity" is often interpreted ambiguously and is frequently

replaced by related categories such as distinctiveness, originality, or authenticity. Such terminological ambiguity leads to identity being perceived as a universal quality of the urban environment, although in its essence it has a more complex and multilayered structure. For correct architectural analysis, it is necessary to distinguish these concepts, since each of them describes different aspects of the perception and existence of the urban environment [2].

Distinctiveness in the architectural context is most often associated with the formation of the external image of the city, its visual uniqueness, and its image-based expressiveness. It is oriented primarily toward the external effect of perception, that is, toward how the city is read by an outside observer, forming a first impression and visual recognizability. In contrast, identity is not limited to the visual level and is not reduced to the formation of an image; rather, it touches upon a deeper layer of perception connected with the internal experience of space, a person's emotional connection with the city, and stable scenarios of its everyday use [4].

Identity in this understanding manifests itself not as a primary, but as a secondary and more stable perception of the city, formed as a result of long-term interaction between a person and the urban environment. If an image can be created relatively quickly through architectural accents, symbolic objects, event programs, or marketing strategies, identity is formed gradually. It relies on the everyday experience of living in the city, habitual routes, local practices, cultural memory, and social ties [1].

Unlike originality, which presupposes novelty and difference from existing analogues, identity is not necessarily connected with innovation of form. Its key characteristic lies in stable recognizability, which is determined not by external visual effects, but by sameness with the causal factors of environmental formation. These include the historical context, natural conditions, social structure, economic processes, and cultural characteristics of the population. In other words, identity arises where the architectural environment reflects the internal logic of the place and its development over time [6].

The concept of authenticity, in turn, differs in that it emphasizes the genuineness of an object and its correspondence to itself in its historical or original state. Historical ensembles, architectural monuments, and preserved fragments of the urban environment may possess a high degree of authenticity, since they preserve a material and semantic connection with the past. However, unlike identity, authenticity does not necessarily include interaction with the contemporary user and their current perception. If authenticity fixes the genuineness of an object in relation to its origin, then identity is formed at the intersection of historical heritage and the contemporary experience of living in the city [7].

On the basis of the conducted analysis of the categorical apparatus, a more precise understanding of the architectural identity of the urban environment can be formulated. Architectural identity should be understood as a naturally formed, integral, and recognizable combination of material and immaterial characteristics of the city, oriented toward a person's internal perception and determined by sameness with local natural, historical, social, cultural, and economic factors, as well as with residents' ideas about their own city. In this definition, the connection between the physical environment and collective perception, formed in the process of long-term residence and interaction with the city, becomes especially important [2].

Returning to the methodological aspects of identity research, it should be noted that its study requires going beyond traditional architectural methods of analysis, which are based primarily on quantitative indicators such as development density, functional zoning, transport accessibility, or infrastructure provision. These parameters are important, but they do not fully reveal the semantic and emotional dimension of the city. In this regard, urban planning analysis must be supplemented by methods borrowed from the humanities, including sociology, cultural studies, and urban anthropology [1].

Based on the analysis of approaches to studying the urban environment, it can be concluded that exclusively quantitative methods are insufficiently effective in the study of identity. Quantitative data can record the formal parameters of space; however, they do not reflect the emotional and cognitive perception of the city, which plays a key role in the formation of identity. Such parameters as a sense of belonging, emotional attachment to place, stable associations, everyday practices of using space, and the symbolic significance of individual locations cannot be fully expressed only in numerical indicators [10].

For a comprehensive analysis of urban identity, it is necessary to use a combined approach that includes both quantitative methods of spatial and statistical analysis and qualitative methods. Quantitative analysis makes it possible to identify the objective conditions for the formation of the urban environment, including population size, density, demographic processes, and infrastructure provision [18]. Qualitative analysis, in turn, reveals the subjective perception of the city, the emotional connection with place, and the semantic characteristics of space.

Observation of user behavior in public spaces is especially important. It makes it possible to understand which territories actually function as places of urban life, which are used only for transit, and which remain underused. The analysis of people's behavior helps to identify real scenarios of urban activity that do not always coincide with design assumptions. In this sense, urban identity is studied not only through architectural form, but also through the practice of its everyday appropriation [15].

In the case of Almaty, the methodology for studying architectural identity must take into account the natural context, historical structure, Soviet and post-Soviet heritage, the system of public spaces, demographic dynamics, and contemporary processes of improvement and landscaping. Particular attention should be paid to central districts, the historical core, pedestrian streets, parks, public gardens, embankments, and recreational territories, since they are most actively involved in forming the image and identity of the city [16].

At the same time, it is important to take into account that Almaty's identity is formed not only in central public spaces, but also in district environments, everyday routes, and local places of attraction. A contemporary city cannot have only one central identity; it consists of many district, social, and cultural identities that together form the overall perception of the urban environment. Therefore, analysis should cover both iconic spaces and less visible territories that are nevertheless important for everyday life [17].

The methodology for studying architectural identity must be comprehensive and interdisciplinary. It should include urban planning analysis, the study of historical context, assessment of natural and landscape factors, analysis of public spaces, research on the transport and pedestrian structure, statistical data, observation of user behavior, and the study of residents' ideas about the city. Only with such an approach is it possible to identify not only the physical structure of the urban environment, but also its semantic, emotional, and perceived dimensions.

As a result, the architectural identity of the city can be considered a complex category that combines material and immaterial characteristics of the urban environment. It is formed on the basis of the interaction of the natural landscape, historical development, architectural structure, public spaces, transport organization, social practices, and residents' perception. To study it, it is necessary to use a limited but logically structured range of sources, where each source confirms a specific aspect of the analysis: identity theory relies on sociological and cultural studies, perception of the urban environment on works concerning the image of the city, public spaces on urban studies, and the local context of Almaty on historical, climatic, and contemporary studies of the city.

List of studied literature:

1. Merenkov, A. V. [et al.] Social Space of the Contemporary City: Collective Monograph. – Yekaterinburg: Ural University Press, 2015.
2. Semenova, D. M. Formation of Urban Identity in Small Towns of Russia // Sociology and Social Research. – 2015.
3. Zukin, S. The Cultures of Cities / translated from English. – Moscow: New Literary Observer, 2013. – 424 p.
4. Lynch, K. The Image of the City / translated from English. – Moscow: Stroyizdat, 1982. – 328 p.
5. Carmona, M., Heath, T., Oc, T., Tiesdell, S. Public Places – Urban Spaces: The Dimensions of Urban Design / translated from English. – Moscow: Architecture-S, 2015. – 312 p.
6. Trancik, R. Finding Lost Space: Theories of Urban Design / translated from English. – Moscow: Architecture-S, 2010. – 256 p.
7. Alma-Ata: Encyclopedia. – Alma-Ata: Main Editorial Office of the Kazakh Soviet Encyclopedia, 1983. – 608 p.
8. Galushchak, M. S. Strategy for the Formation of Development in the Historical Core of the City of Almaty: dissertation for the academic degree of Master of Art Studies. – Almaty: K. I. Satpayev Kazakh National Technical University, 2014. – 104 p.
9. RSE “KAZHYDROMET”: Ministry of Ecology, Geology and Natural Resources of the Republic of Kazakhstan. – Nur-Sultan, 2022. – URL: <https://www.kazhydromet.kz/ru/klimat/almaty>
10. Carr, S., Francis, M., Rivlin, L., Stone, E. Public Space of the City / translated from English. – Moscow: Strelka Press, 2014. – 400 p.
11. An, A. L. The Role of Public Spaces in Municipal Formations // Issues of State and Municipal Administration. – 2012.
12. Gehl, J. Cities for People / translated from English. – Moscow: Alpina Publisher, 2012. – 276 p. – URL: http://books.totalarch.com/cities_for_people_jan_gehl
13. Whyte, W. H. The Social Life of Small Urban Spaces / translated from English. – Moscow: Strelka Press, 2015. – 160 p.
14. Sadik-Khan, J., Solomonow, S. Streetfight: Handbook for an Urban Revolution / translated from English. – Moscow: Olimp-Business, 2018. – 416 p.
15. Jacobs, J. The Death and Life of Great American Cities / translated from English. – Moscow: New Publishing House, 2011. – 460 p.
16. Khodzhikov, A., Abilov, A., Yaskevich, V., Abaydulova, D. Transformation of Public Spaces in Almaty // Project Baikal. – 2023.

17. Bakytbekkyzy, I. Principles of Organizing Public Spaces in Large Cities: The Example of the City of Almaty // Bulletin of Science and Education. – 201.
18. Documents and Reports of Official Statistics / official website of the Committee on Statistics of the Ministry of National Economy of the Republic of Kazakhstan. – 2022. – URL: <https://stat.gov.kz>
19. Global Public Space Toolkit: From Global Principles to Local Policies and Practice / United Nations Human Settlements Programme (UN-Habitat). – Nairobi, Kenya, 2015. – 59 p. – URL: <https://cutt.us/rzFFn>
20. Gehl, J. Life Between Buildings: Using Public Space / translated from English. – Moscow: Alpina Publisher, 2016. – 200 p.

Geographic Sciences

Green Geography Education: Green Skills and Sustainable Development in School Geography

Tolepbergenov Saken

Microdistrict Zarechnyi 17-65, Alatau, Kazakhstan

Abstract

The transition to sustainable development requires school education to develop not only environmental knowledge, but also green skills that enable learners to understand, evaluate and improve the sustainability of real places. This article examines Green Geography Education as an integrated approach for connecting green skills with sustainable development in school geography. The study draws on international policy frameworks, including UNESCO's Greening Curriculum Guidance, Green School Quality Standard, the GreenComp competence framework, ILO green skills policy, and international geography education documents. It also synthesizes peer-reviewed research on Education for Sustainable Development (ESD), whole-school approaches, school geography curricula and fieldwork-based sustainability learning. The article argues that geography is a strategic subject for green skills development because it combines spatial thinking, systems thinking, field inquiry, GIS, environmental analysis and local action. A conceptual Green Geography Education model is proposed, linking curriculum topics, SDG-related issues, green skills, inquiry tasks and assessment evidence. The findings suggest that school geography can move beyond fragmented environmental topics when sustainable development is operationalized through place-based investigation, map-based reasoning, school eco-audits and community-oriented projects. The proposed framework offers a structured pathway for teachers and schools to transform geography lessons into measurable sustainability learning outcomes and to prepare students for responsible participation in a green and climate-resilient future.

Keywords: Green Geography Education, green skills, sustainable development, school geography, sustainability competencies, climate action, GIS, Education for Sustainable Development.

A bibliometric and policy-oriented review of recent literature shows that the concept of green education has moved beyond environmental awareness. It now includes sustainability competences, green skills, climate action, spatial data literacy, school transformation and learners' preparation for future green jobs. Within this agenda, school geography has a distinctive role because it explains the spatial organization of nature and society, the interaction between human activity and environmental systems, and the local consequences of global sustainability challenges.

This article develops the concept of Green Geography Education as an integrated pedagogical approach that connects green skills and sustainable development in school geography. The approach is grounded in three arguments: sustainability problems are spatial; geography develops learners' ability to interpret spatial evidence; and green skills become meaningful when students investigate real places, collect data, make maps, evaluate alternatives and propose practical solutions.

The topic is relevant for three reasons. First, UNESCO has established the Greening Education Partnership and related standards for greening schools, curricula, teacher training and communities [2-4]. Second, GreenComp defines sustainability as a competence that combines values, systems thinking, futures literacy and action capacity [5-6]. Third, international research on geography education confirms that geography has strong potential for Education for Sustainable Development (ESD), although this potential often remains fragmented unless curriculum, pedagogy and assessment are deliberately aligned [12-17].

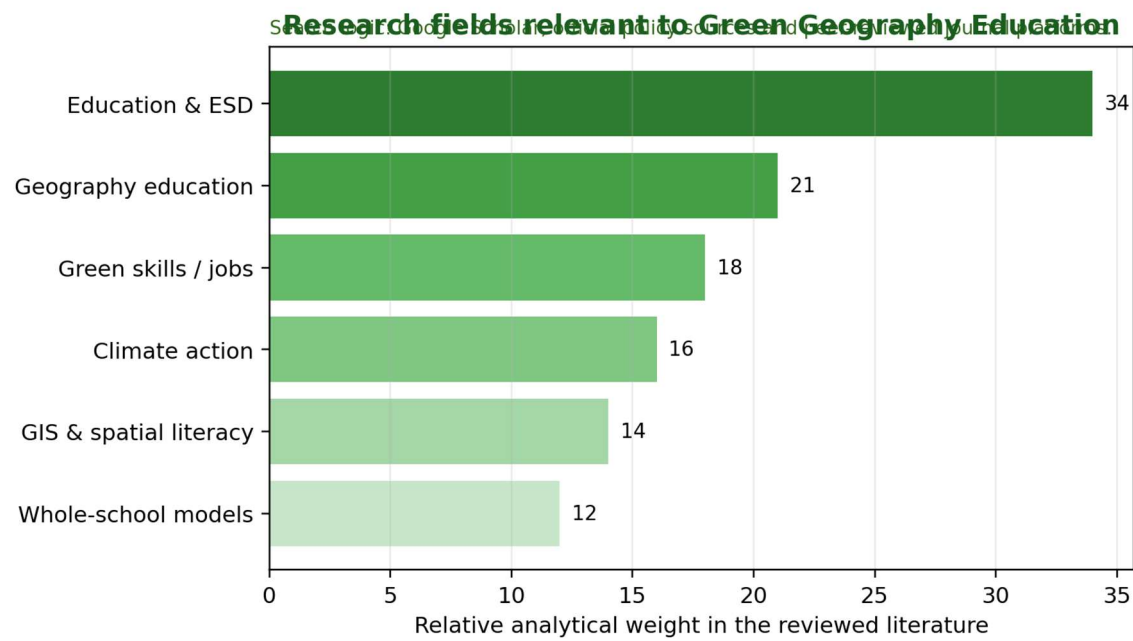


Figure 1. Research fields relevant to Green Geography Education based on the article’s Google Scholar, policy-source and peer-reviewed literature search logic.

The main research gap is that green skills are widely discussed in labour-market policy, vocational education and climate education, but their subject-specific operationalization in school geography remains insufficiently structured. Many school curricula include climate change, natural resources, urbanization, hazards or environmental protection, yet they do not always translate these topics into observable green skills, clear rubrics and action-oriented student products.

A second gap concerns the relationship between classroom learning and the whole-school approach. UNESCO's green school standard requires integration of sustainability principles across school governance, facilities and operations, teaching and learning, and community engagement [2]. In geography education, however, the link between lessons and school-level sustainability practices is often weak. Students may learn about global problems, but they do not always analyze the sustainability of their own school environment through fieldwork, spatial data or local decision-making.

A third gap relates to assessment. Sustainability competences such as systems thinking, anticipation, critical reflection and responsible action are complex and cannot be measured only by traditional factual questions. Geography needs assessment tools that evaluate maps, field data, explanations, scenario reasoning, evidence-based recommendations and civic communication. This article therefore proposes a Green Geography Education model that links curriculum topics, green skills, SDG logic, local inquiry and assessment evidence.

Key Evidence in International Literature and Normative Frameworks

UNESCO's Greening Curriculum Guidance provides a direct policy basis for integrating climate action and sustainability into teaching and learning [3]. The document calls for curriculum systems to become more action-oriented, justice-promoting, scientifically accurate, comprehensive and relevant for learners. For school geography, this means that climate change should not be reduced to a single textbook topic; it should be treated as a spatial, social, economic and ethical issue across physical geography, human geography and regional studies.

The official screenshots used in this article demonstrate the policy source base. Figure 2 shows the cover page of the UNESCO Greening Curriculum Guidance, while Figure 3 presents the UNESCO and Education 2030 framing within the same document. These materials are important because they link climate education to the global Education 2030 agenda and to the Greening Education Partnership, which aims to make learners climate-ready through curriculum, school, teacher-training and community action.

The GreenComp framework complements UNESCO's policy direction by specifying the competence dimension of sustainability education [5-6]. It describes sustainability competence as a combination of knowledge, skills and attitudes that enable learners to think, plan and act with responsibility and care for people and the planet. In geography, this framework can be translated into spatial thinking, systems thinking, place responsibility, scenario mapping, data literacy and sustainability action.

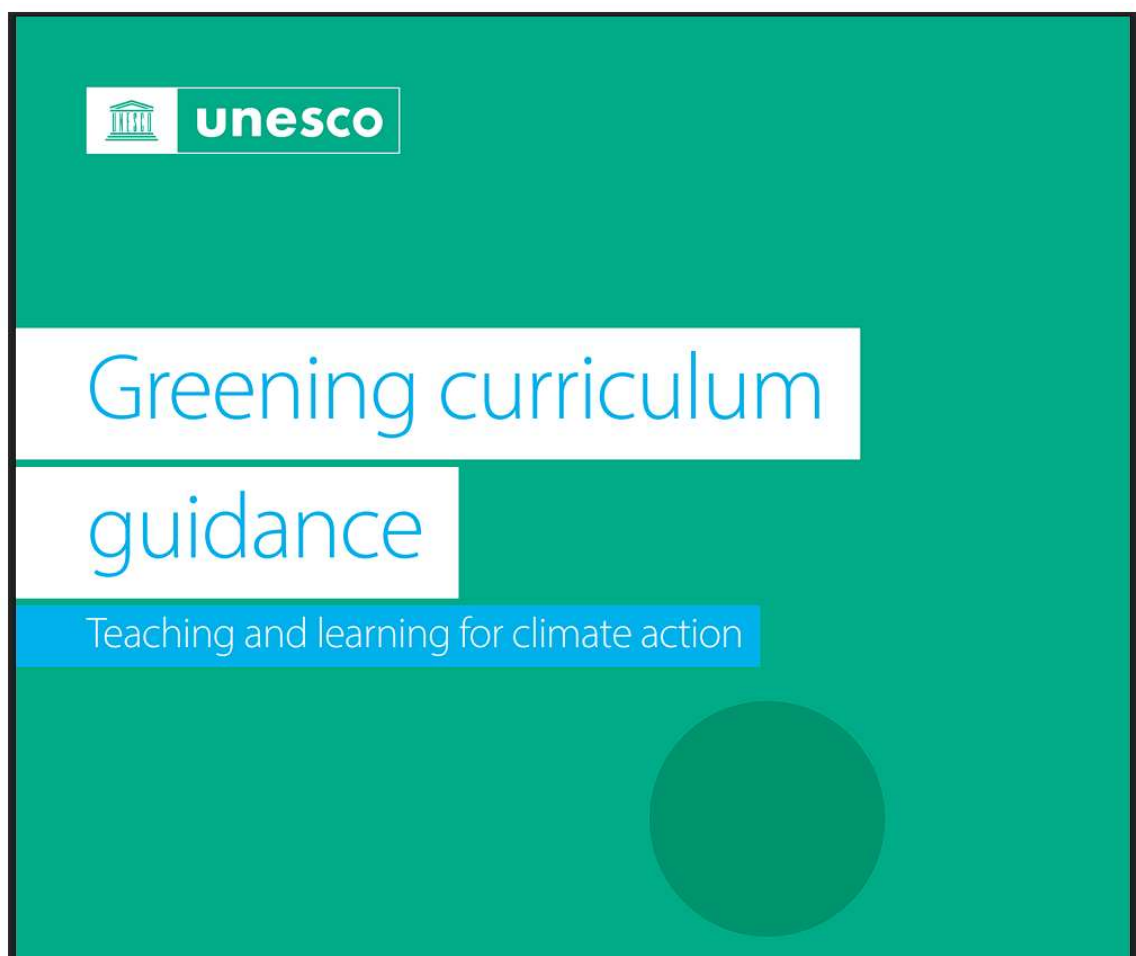


Figure 2. Cover page of UNESCO's Greening Curriculum Guidance: Teaching and learning for climate action (2024), used as a policy framework for curriculum greening.

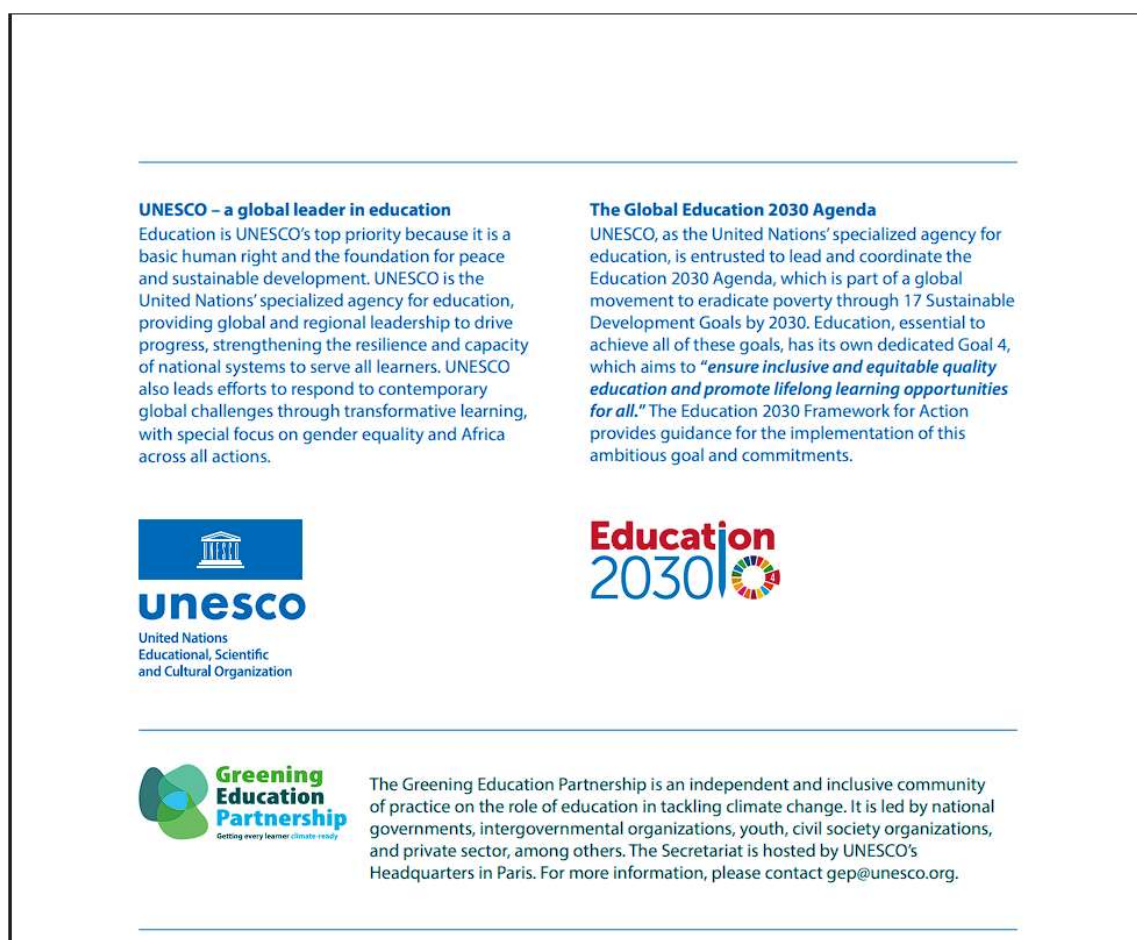


Figure 3. UNESCO and Education 2030 framing inside the Greening Curriculum Guidance document, showing the connection between climate education and the global education agenda.

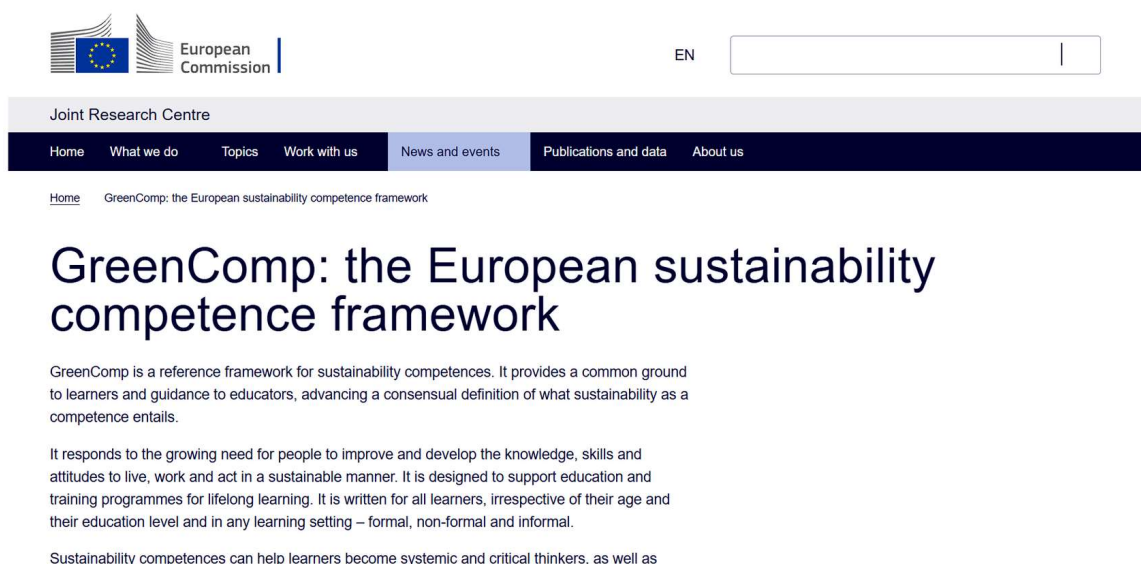


Figure 4. European Commission Joint Research Centre page for GreenComp, the European sustainability competence framework used to conceptualize green skills.

Green skills also have a labour-market and future-readiness dimension. The International Labour Organization emphasizes the need to equip individuals with knowledge and competencies for green jobs and for a transition to environmentally sustainable economies [7-8]. This does not mean that school geography should become vocational training. Instead, geography can develop transferable skills that support later participation in green sectors: environmental analysis, map

interpretation, climate-risk reasoning, resource management, communication of evidence and collaborative problem solving.

Figure 5 illustrates the official ILO Skills for Green Jobs webpage used as a source for this article. Its relevance to school geography lies in the connection between school learning and future social participation. When students investigate water use, waste, urban greening, biodiversity, energy, transport or climate risks, they begin to develop the cognitive and practical foundations of green skills. Thus, geography can connect general education, sustainability literacy and career awareness without losing its disciplinary identity.



Figure 5. International Labour Organization webpage on Skills for Green Jobs, used to connect green skills with future-oriented learning and sustainable economies.

Geography Education as an Anchor Subject for Green Skills

International geography education documents provide a disciplinary foundation for Green Geography Education. The International Charter on Geographical Education identifies geography as a subject that helps learners understand local-global interconnections, human-environment relations, climate change, land use, urbanization, mobility, poverty, identity and risk [10]. The Lucerne Declaration similarly links geography education with sustainable development and highlights the value of ICT, GIS, GPS and fieldwork for geographical literacy [11].

Scientific literature supports this position. Meadows argues that geography, as a science of sustainability, is well placed to develop the knowledge and skills needed for adapting to and mitigating environmental change [12]. Bagoly-Simo shows that geography curricula have a close affinity with ESD, but that explicit treatment of sustainability differs by national context [15]. Guo and colleagues demonstrate that middle-school geography can contribute to sustainable development learning, yet curriculum requirements and classroom implementation may remain uneven [16].

These findings indicate that geography education needs more than thematic inclusion. It requires a structured pedagogical mechanism that turns sustainability concepts into skills, learning tasks and evidence. In this article, green skills are therefore defined as the ability to use geographic knowledge and spatial methods to understand environmental problems, evaluate human impacts, design sustainable solutions and communicate evidence for responsible action.

Table 1. Green Skills Indicators in School Geography

Green skill domain	Geography learning activity	Observable student product	Assessment evidence	Related sustainability logic
Spatial data literacy	Reading maps, satellite images and simple GIS layers	Thematic map, GIS screenshot or annotated sketch map	Accuracy of scale, legend, symbols and spatial interpretation	SDG 4.7; data-based learning
Systems thinking	Explaining links between climate, water, land use, economy and people	Cause-effect diagram or systems map	Quality of connections, feedback loops and scale analysis	SDG 11, 13, 15
Field inquiry	Schoolyard or neighbourhood observation, measurements and surveys	Field table, photo log, transect and short report	Reliability, ethical data collection and explanation of patterns	Localizing sustainable development
Future-scenario reasoning	Comparing alternatives for green space, transport, water or waste management	Scenario map and written justification	Evidence-based evaluation of alternatives and trade-offs	Anticipatory competence
Action competence	Designing a feasible school or community sustainability solution	Action plan, presentation, eco-audit proposal or poster	Feasibility, impact, equity and communication quality	Whole-school action

The Representation of Green Skills and Sustainable Development in School Geography

In Kazakhstan and similar education systems, school geography already contains several prerequisites for green skills development. Geography curricula commonly include natural resources, environmental protection, sustainable development, demographic and economic geography, hazards, cartography, remote sensing and GIS. These topics can form a strong base for Green Geography Education if they are connected with clear competence outcomes and local inquiry projects.

However, the existing structure of geography teaching may still produce fragmentation. Sustainable development may appear as one topic, climate change as another, and GIS as a technical unit, while students may not see how these elements work together. A Green Geography Education model can overcome this fragmentation by linking each topic to a green skill, an SDG-related problem, a map-based or fieldwork task, and an assessment rubric.

For example, an urban geography unit may be transformed into a green-skills task by asking learners to map school access, green space distribution or urban heat risk. A hydrology unit may be connected to water-use audits and local watershed mapping. A natural hazards unit may involve risk-zone interpretation and community preparedness. In each case, geography becomes not only a subject about places, but also a method for making places more sustainable.

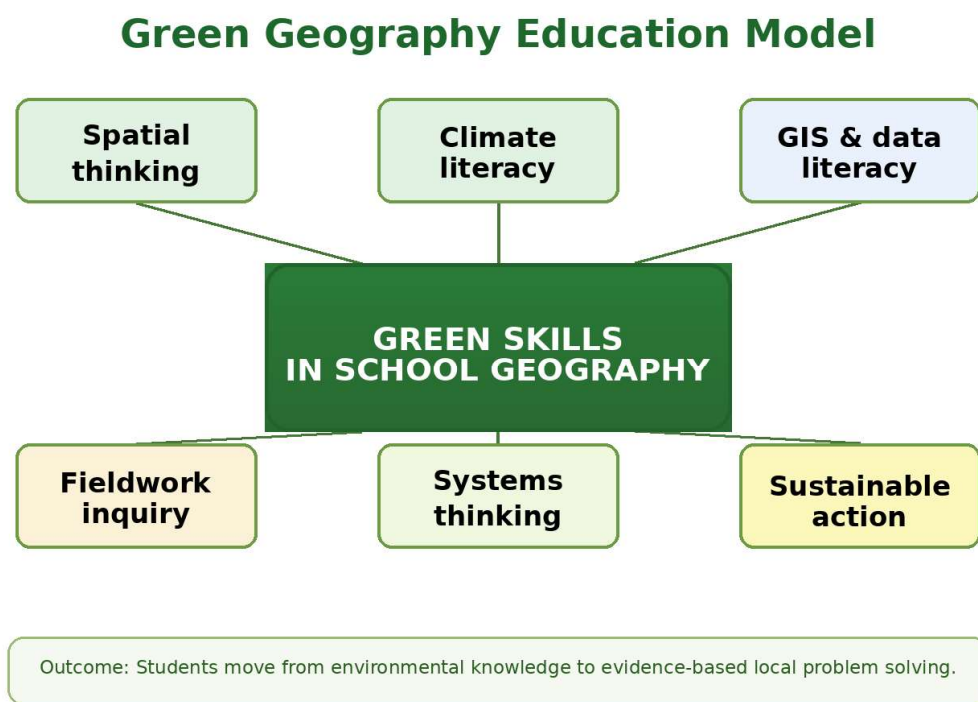


Figure 6. Conceptual model of Green Geography Education linking spatial thinking, climate literacy, GIS, fieldwork, systems thinking and sustainable action.

Comparison with International Green Education Models

To compare Green Geography Education with international models, this article uses UNESCO's green school standard, GreenComp, ILO green skills logic and international geography education documents. These frameworks show that effective sustainability education requires simultaneous attention to curriculum, pedagogy, school environment, teacher capacity, community engagement and assessment.

The comparison also shows that school geography can make a unique contribution. While whole-school models create an institutional framework, geography provides the spatial and methodological tools needed to analyze real places. Fieldwork and GIS make sustainability visible; maps turn abstract environmental problems into evidence; and local projects connect learners with their own communities.

Table 2. International Green Education Logic and School Geography Implementation

Dimension	International best-practice logic	School geography potential	Implementation gap / solution
Governance	Green school standards link sustainability to leadership, monitoring and partnerships [2].	Geography projects can generate evidence for school eco-plans.	Use school sustainability indicators and annual geography-based eco-projects.
Curriculum	Greening curriculum requires action-oriented, scientifically accurate and justice-promoting learning [3].	Climate, land use, water, population and risk topics can be mapped to green skills.	Create topic-SDG-skill-task-rubric matrices.
Competence	GreenComp defines sustainability values, complexity, futures and action [5-6].	Geography develops systems thinking, spatial thinking, future scenarios and place responsibility.	Translate general competences into geography learning outcomes.
Green jobs	ILO and OECD connect green skills with sustainable economies and future work [7-9].	Geography develops transferable environmental and spatial problem-solving skills.	Add career-awareness tasks connected to green sectors and local problems.
Assessment	Sustainability learning requires evidence of thinking and action, not only memorization.	Maps, field data, explanations and action plans show student competence.	Use rubrics for map accuracy, evidence, feasibility and reflection.

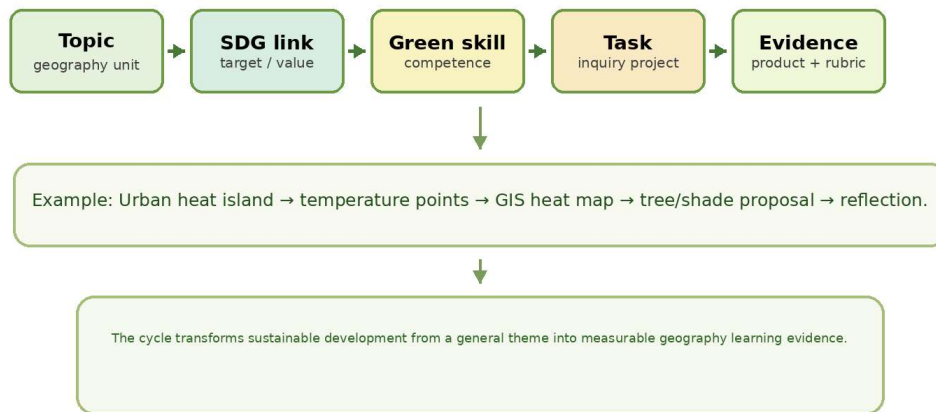
Research Gap and Scientific Rationale for the Green Geography Education Model

The proposed model is built on four integrated dimensions: knowledge, skills, values and action. Knowledge includes understanding climate systems, ecosystems, resources, population and land use. Skills include spatial data literacy, field observation, GIS, critical interpretation, scenario planning and communication. Values include responsibility, justice, intergenerational thinking and respect for place. Action includes school-based and community-based sustainability projects.

This model is especially relevant because sustainability challenges require multi-scale reasoning. A learner must understand how a local problem, such as schoolyard heat, is linked to urban design, vegetation cover, climate change and social vulnerability. Geography can make this connection visible through maps, data, photographs, diagrams, interviews and spatial comparison. As a result, green skills become measurable and teachable rather than abstract slogans.

Figure 6 presents the conceptual model of Green Geography Education. Figure 7 presents the curriculum mapping and assessment cycle. Together, these diagrams show how curriculum topics can be transformed into green skills through SDG logic, local inquiry, mapping tasks and evidence-based assessment.

Green Geography Curriculum Mapping and Assessment Cycle



Data sources: student observations, school operations, local maps, open climate datasets and community feedback.

Figure 7. Green Geography Curriculum Mapping and Assessment Cycle: from topic and SDG link to green skill, inquiry task and assessment evidence.

Research Questions, Aim and Objectives

Research Question 1. How can green skills be defined and operationalized as measurable learning outcomes in school geography?

Research Question 2. Which geography topics offer the strongest opportunities for integrating sustainable development, climate action and green skills?

Research Question 3. How can fieldwork, GIS and local school-environment audits support the development of sustainability competences?

Research Question 4. What assessment tools can measure students' green skills through maps, data products, explanations, action plans and reflection?

General aim of the study: To develop a conceptual and methodological framework for Green Geography Education that integrates green skills and sustainable development into school geography through curriculum mapping, place-based inquiry, GIS-supported learning and competence-based assessment.

Specific objectives: (1) to clarify the meaning of green skills in the context of school geography; (2) to synthesize international policy and scientific evidence on sustainability competences; (3) to identify geography learning activities that can develop green skills; (4) to propose a curriculum-to-assessment mapping model; and (5) to outline implementation directions for schools and teachers.

Implementation Directions

Implementation Direction 1 - Curriculum mapping. Geography units should be mapped according to the sequence: topic - SDG issue - green skill - inquiry task - assessment evidence. This makes sustainable development visible in the curriculum and prevents it from remaining a general background theme.

Implementation Direction 2 - Place-based fieldwork. Students should regularly investigate the schoolyard and neighbourhood as learning laboratories. Possible tasks include mapping green spaces, measuring surface temperature, assessing water use, observing waste flows, identifying safe routes or evaluating local biodiversity.

Implementation Direction 3 - GIS and spatial data. Simple GIS tools, digital maps and open datasets should be used to visualize local sustainability problems. GIS should not be treated only as a technical topic; it should become a method for asking questions, analyzing patterns and communicating solutions.

Implementation Direction 4 - Whole-school connection. Geography projects should be linked with school eco-clubs, school management, parents, local authorities and community partners. This creates a bridge between classroom learning and real sustainability decisions.

Implementation Direction 5 - Assessment. Assessment should include maps, field tables, short explanations, scenario comparison, group presentations, action plans and reflection. Rubrics should measure accuracy, spatial reasoning, evidence use, feasibility, equity and communication quality.

Conclusion

This article has argued that Green Geography Education can serve as an effective bridge between green skills and sustainable development in school geography. International policy documents, competence frameworks and scientific literature show that sustainability education requires more than environmental information. It requires learners to develop systems thinking, spatial thinking, futures literacy, responsible values and the capacity to act on evidence.

School geography is particularly suitable for this task because it works with real places, maps, field observations, environmental systems and human-environment interactions. Through geography, learners can understand that sustainability problems have locations, scales, patterns, inequalities and alternative solutions. This makes geography a practical subject for developing green skills in both cognitive and action-oriented forms.

The proposed model shows that green skills can be integrated into geography through a clear chain: curriculum topic - sustainability problem - green competence - inquiry task - map or data product - assessment rubric - local action. Such a chain helps teachers avoid fragmented treatment of sustainable development and supports measurable learning outcomes.

Ultimately, Green Geography Education can contribute to the transformation of school geography from a subject that describes environmental problems into a subject that equips learners to investigate, explain and improve the sustainability of their own places. For schools, this means connecting geography lessons with school operations and community action. For students, it means learning to think geographically and act responsibly in a changing world.

References

- [1] UNESCO. (2020). Education for Sustainable Development: A roadmap. Paris: UNESCO.
<https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000374802>
- [2] UNESCO. (2024). Green school quality standard: Greening every learning environment. Paris: UNESCO.
<https://www.unesco.org/sites/default/files/medias/fichiers/2024/09/Green%20school%20quality%20standard%20Greening%20every%20learning%20environment.pdf>
- [3] UNESCO. (2024). Greening curriculum guidance: Teaching and learning for climate action. Paris: UNESCO.
<https://www.unesco.org/sites/default/files/medias/fichiers/2024/09/Greening%20curriculum%20Guidance%20Teaching%20and%20learning%20for%20climate%20action.pdf>
- [4] UNESCO. (2024). Greening Education Partnership: Getting every learner climate-ready.
<https://www.unesco.org/en/sustainable-development/education/greening-future>
- [5] Bianchi, G., Pisiotis, U., & Cabrera Giraldez, M. (2022). GreenComp: The European sustainability competence framework. Publications Office of the European Union. DOI: 10.2760/13286. <https://publications.jrc.ec.europa.eu/repository/handle/JRC128040>

- [6] European Commission Joint Research Centre. GreenComp: The European sustainability competence framework. https://joint-research-centre.ec.europa.eu/greencomp-european-sustainability-competence-framework_en
- [7] International Labour Organization. (2024). Skills for green jobs. ILO Skills and Lifelong Learning. <https://www.ilo.org/topics-and-sectors/skills-and-lifelong-learning/skills-green-jobs>
- [8] International Labour Organization & Cedefop. (2011). Skills for green jobs: A global view. Geneva: ILO. https://www.ilo.org/sites/default/files/wcmsp5/groups/public/%40dgreports/%40dcomm/%40publ/documents/publication/wcms_159585.pdf
- [9] OECD. (2024). Cultivating Green Futures: Helping students understand and progress towards green jobs. OECD Education Policy Perspectives, No. 104. https://www.oecd.org/content/dam/oecd/en/publications/reports/2024/07/cultivating-green-futures_763ef38a/7c9912c5-en.pdf
- [10] International Geographical Union Commission on Geographical Education. (2016). International Charter on Geographical Education. https://www.igu-cge.org/wp-content/uploads/2019/03/IGU_2016_eng_ver25Feb2019.pdf
- [11] Haubrich, H., Reinfried, S., & Schleicher, Y. (2007). Lucerne Declaration on Geographical Education for Sustainable Development. <https://iau-hesd.net/sites/default/files/documents/lucernedeclaration.pdf>
- [12] Meadows, M. E. (2020). Geography education for sustainable development. *Geography and Sustainability*, 1(1), 88-92. DOI: 10.1016/j.geosus.2020.02.001. <https://doi.org/10.1016/j.geosus.2020.02.001>
- [13] Mogren, A., Gericke, N., & Scherp, H.-A. (2019). Whole school approaches to education for sustainable development: A model that links to school improvement. *Environmental Education Research*, 25(4), 508-531. DOI: 10.1080/13504622.2018.1455074. <https://doi.org/10.1080/13504622.2018.1455074>
- [14] Bazilova, A., Kaimuldinova, K., Shakirova, N. D., & Aliaskarov, D. (2025). Implementation of ESD in school geography: Bibliometric analysis of 2015-2024 publications in major databases. *Eurasia Journal of Mathematics, Science and Technology Education*. <https://www.ejmste.com/article/implementation-of-esd-in-school-geography-bibliometric-analysis-of-2015-2024-publications-in-16169>
- [15] Bagoly-Simo, P. (2014). Tracing sustainability: Education for Sustainable Development in the lower secondary geography curricula of Germany, Romania, and Mexico. *International Research in Geographical and Environmental Education*, 23(2), 126-141. DOI: 10.1080/10382046.2014.908525. <https://doi.org/10.1080/10382046.2014.908525>
- [16] Guo, F., Lane, J., Duan, Y., Stoltman, J. P., Khlebosolova, O., Lei, H., & Zhou, W. (2018). Sustainable development in geography education for middle school in China. *Sustainability*, 10(11), 3896. DOI: 10.3390/su10113896. <https://doi.org/10.3390/su10113896>
- [17] Grindsted, T. S., & Nielsen, T. T. (2022). Spaces of learning - practising the SDGs through geographical fieldwork methods in a nature park. *International Journal of Sustainability in Higher Education*, 23(8), 105-119. DOI: 10.1108/IJSHE-04-2021-0132. <https://doi.org/10.1108/IJSHE-04-2021-0132>
- [18] European Commission. (2022). Learning for the green transition and sustainable development. <https://education.ec.europa.eu/focus-topics/green-education/learning-for-the-green-transition>
- [19] Government of the Republic of Kazakhstan. (2023). Concept for the Development of Preschool, Secondary, Technical and Vocational Education in the Republic of Kazakhstan for 2023-2029. <https://adilet.zan.kz/kaz/docs/P2300000249>

[20] Ministry of Education of the Republic of Kazakhstan. (2022). Order No. 399: Model curricula for general education subjects. <https://adilet.zan.kz/kaz/docs/V2200029767>

[21] Google Scholar search strategy: green skills, sustainable development and geography education.

<https://scholar.google.com/scholar?q=%22green+skills%22+%22geography+education%22+%22sustainable+development%22>

[22] Scopus preview search strategy: green skills and geography education.

<https://www.scopus.com/search/form.uri?display=basic>

Biological Sciences

БИОИНЖЕНЕРНЫЕ СТРАТЕГИИ СОХРАНЕНИЯ ОБЪЕКТОВ КУЛЬТУРНОГО НАСЛЕДИЯ В УСЛОВИЯХ БИОЛОГИЧЕСКОЙ ДЕГРАДАЦИИ: ГЕРМЕНЕВТИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ НАУЧНОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

Даменова Фарида Габдуллақызы

Магистрант, Евразийский национальный университет имени Л.Н. Гумилева, Астана, Казахстан

Бектурова Асемгуль Жамбуловна

Кандидат биологических наук, ассоциированный профессор, Евразийский национальный университет имени Л.Н. Гумилева, Астана, Казахстан

Аннотация. В статье рассмотрены современные подходы к диагностике, профилактике и предотвращению биологических повреждений объектов культурного наследия, имеющих различную материальную природу. Сбор информации проводился методом литературной герменевтики с использованием научных статей, патентных баз данных и аналитических обзоров. На основе синтеза данных работ Gadd G. M. и др., Cappitelli F. и др., Крюкова А. и соавт., Ilies D. C. и др., Хмелевской И. А., Шишкина А. Ю., Жгуна А. и др., Хазовой С. и др., а также концептуальных исследований Шульгина А. были определены основные направления биоинженерной консервации. Обобщены и систематизированы методы инженерного обследования, микробиологической диагностики, молекулярного анализа и применения экологически безопасных фунгицидов. Сделан вывод о необходимости интеграции инженерных, биологических и гуманитарных знаний в рамках клирономического подхода.

Ключевые слова: культурное наследие, биоповреждения, микромицеты, герменевтика, биоинженерная консервация, клирономика.

Введение

Сохранение объектов культурного наследия является одной из важнейших задач современного общества и рассматривается как неотъемлемая часть обеспечения исторической преемственности, культурной идентичности и передачи материальных ценностей будущим поколениям. В условиях глобальных климатических изменений, урбанизации, роста антропогенной нагрузки и естественного старения материалов проблема сохранности историко-культурных объектов приобретает особую научную и практическую значимость. Решение данной задачи требует интеграции знаний и технологий из различных научных областей, включая инженерные науки, реставрацию, микробиологию, материаловедение, химию и гуманитарные дисциплины.

Одной из наиболее серьёзных причин деградации объектов культурного наследия являются биологические повреждения, вызванные деятельностью бактерий, грибов, микроводорослей, лишайников, актиномицетов и насекомых. Биологические агенты способны колонизировать практически любые типы материалов, включая камень, древесину, металл, бумагу, текстиль, кожу, полимерные покрытия и живописные слои. В процессе жизнедеятельности микроорганизмы выделяют ферменты, органические кислоты и другие метаболиты, вызывающие структурные, химические и механические изменения в материале, что приводит к постепенному разрушению объектов и утрате их исторической подлинности.

Особую сложность представляет тот факт, что процессы биологической деградации зачастую протекают латентно и могут длительное время не проявляться внешними признаками. На ранних стадиях колонизация поверхности микроорганизмами часто сопровождается формированием микробных биоплёнок, изменением микроструктуры материалов и накоплением скрытых дефектов, которые становятся визуально заметными только на поздних этапах разрушения. Это существенно усложняет диагностику и повышает риск необратимой утраты исторически ценных объектов.

Дополнительную актуальность данной проблеме придаёт необходимость экологизации реставрационных процессов. Традиционные химические биоциды, применяемые для подавления микробной активности, нередко обладают токсичностью, могут вызывать вторичные изменения структуры материалов, а также представляют потенциальную опасность для специалистов-реставраторов и посетителей музейных пространств. В связи с этим в современной науке активно развиваются исследования, направленные на поиск экологически безопасных альтернатив, включая природные антимикробные соединения, эфирные масла, ферментативные препараты, биосовместимые покрытия и наноструктурированные защитные материалы.

Современные исследования также показывают, что грибная микрофлора относится к числу наиболее устойчивых и опасных факторов биодеструкции. Микромицеты обладают высокой адаптивностью к изменениям температуры, влажности, освещённости и химического состава среды, что позволяет им сохранять жизнеспособность даже в условиях контролируемого музейного микроклимата. Способность грибов разрушать как органические, так и минеральные материалы делает их универсальным биодеструктивным агентом в системе сохранения культурного наследия.

На этом фоне в современной научной среде формируется новое междисциплинарное направление - биоинженерная консервация, объединяющая инженерную диагностику, микробиологический контроль, молекулярные методы идентификации микроорганизмов, экологически безопасные технологии обработки и гуманитарные концепции сохранения историко-культурных ценностей. Анализ и систематизация существующих научных подходов в данной области представляют значительный теоретический и практический интерес, что определяет актуальность настоящего исследования.

Материалы и методы

Методологическую основу настоящего исследования составил герменевтический подход, ориентированный на интерпретацию научных текстов, выявление смысловых взаимосвязей между исследовательскими концепциями и анализ эволюции научных представлений в области сохранения объектов культурного наследия в условиях биологических повреждений. Применение литературной герменевтики позволило рассматривать научные публикации не только как источники фактической информации, но и как элементы единого научного дискурса, формирующего современные подходы к биоинженерной консервации.

Материалами исследования послужили отечественные и зарубежные научные публикации, индексируемые в международных и национальных научных базах данных, включая Elsevier, Scopus, Web of Science, PubMed, eLIBRARY, а также специализированные публикации по реставрации, микробиологии и инженерной диагностике. В исследовательский массив были включены рецензируемые статьи российских и зарубежных авторов, посвящённые вопросам биодеструкции материалов, микробиологического загрязнения, инженерного обследования исторических конструкций и применения инновационных методов консервации. Особое внимание уделялось работам Kryukov A. и соавторов, Ilies D. C. и коллег, Zhgun A. и др., Хмелевской И. А., Фоминой М. А., Шишкина А. Ю., Khazova S. и других исследователей, внесших вклад в развитие современных биоинженерных подходов.

Дополнительно были проанализированы методические рекомендации в области музейной реставрации, нормативно-техническая документация, материалы профессиональных реставрационных организаций, а также сведения из патентных баз, содержащие описания фунгицидных препаратов, антимикробных композиций, методов биологической защиты и технологий микробиологического мониторинга объектов культурной среды.

Отбор и последующий анализ источников осуществлялись по ряду научно значимых критериев: тип исследуемого объекта (каменные и кирпичные конструкции, древесина, бумага, текстиль, живописные покрытия, полимерные и органические материалы), виды выявленных биологических агентов (бактерии, микромицеты, дрожжи, актиномицеты, микроводоросли), применяемые методы диагностики (визуальный осмотр, микроскопия, культивирование, молекулярно-генетические методы, спектроскопия, инженерный мониторинг), способы антимикробной обработки, а также степень экологической безопасности и совместимости вмешательства с материалом объекта.

В процессе анализа использовались методы сравнительного анализа, систематизации, научного обобщения и интерпретации данных. Герменевтический подход позволил выявить повторяющиеся научные концепты, устойчивые исследовательские тенденции и междисциплинарные связи между инженерией, микробиологией, материаловедением, реставрацией, клирономикой и культурологией. Это обеспечило возможность формирования целостного научного представления о развитии биоинженерных стратегий сохранения объектов культурного наследия в современных условиях.

Результаты и обсуждение

Проведённый герменевтический анализ современной научной литературы показал, что в последние годы проблема биологического разрушения объектов культурного наследия приобретает всё более междисциплинарный характер. Современные исследования свидетельствуют о том, что традиционные реставрационные методы постепенно дополняются биоинженерными технологиями, основанными на интеграции инженерной диагностики, микробиологического контроля и экологически безопасных методов защиты [1, 2].

Работы Kryukov A. и коллектива авторов демонстрируют, что инженерное обследование исторических конструкций позволяет выявлять не только механические деформации, микротрещины и зоны структурной нестабильности, но и потенциальные участки накопления влаги, являющиеся благоприятной средой для развития микроорганизмов [8]. Использование тепловизионного контроля, лазерного сканирования и цифрового моделирования позволяет выявлять скрытые дефекты на ранних стадиях, что существенно повышает эффективность профилактических мероприятий [8].

В сочетании с микробиологическими исследованиями, представленными в работах Хмелевской И. А., инженерная диагностика позволяет формировать более полное представление о процессах биодеструкции. Автор показывает, что микроорганизмы на поверхности объектов часто формируют устойчивые микробные сообщества и биоплёнки, которые ускоряют разрушение органических и минеральных материалов [9]. Это создаёт предпосылки для разработки методов ранней диагностики и биологической профилактики повреждений [9].

Исследования Zhgun A. и соавторов раскрывают сложный состав микробиома произведений темперной живописи. Авторами было доказано присутствие метаболически активных грибов и бактерий даже в условиях контролируемого музейного микроклимата. Выявленные микроорганизмы обладали способностью разрушать белковые и липидные компоненты связующих материалов, что напрямую влияет на сохранность красочного слоя [5].

Аналогичные результаты были получены Треповой Е. С. и соавторами при изучении архивных и библиотечных материалов. В ходе исследований было выявлено 24 вида микромицетов, обладающих выраженной целлюлозолитической активностью. Авторы также доказали эффективность биоцидных препаратов Sanatex Universal и Rocima в подавлении роста грибной микрофлоры и предотвращении разрушения бумажных носителей [11].

Исследования Ilies D. C. и соавторов показали, что эфирные масла лаванды, орегано, чайного дерева и мяты обладают выраженной противогрибковой активностью в отношении музейной микрофлоры. При этом обработка не приводила к изменению физико-химических характеристик текстильных и органических материалов, что делает данный подход перспективным для экологически безопасной реставрации [4].

Фомина М. А. и Шишкин А. Ю. акцентируют внимание на необходимости комплексной оценки факторов окружающей среды, способствующих развитию биологических повреждений. В их исследованиях установлено, что относительная влажность воздуха, вентиляция, колебания температуры, химический состав материалов и атмосферное загрязнение являются ключевыми факторами активации микробной деградации [1, 2]. Авторы подчёркивают, что борьба с биоразрушением невозможна без постоянного мониторинга среды существования объекта [1, 2].

Рассмотренные международные исследования дополняют выявленные тенденции рядом новых аспектов. В работе Gadd G. M. и соавторов показано, что многие грибные сообщества обладают высокой устойчивостью к изменениям температуры, влажности и освещённости. Авторы подчёркивают необходимость применения молекулярно-генетических методов, спектроскопии и флуоресцентной диагностики для выявления скрытых биологических повреждений на ранних этапах [6].

В свою очередь, Cappitelli F. и др. предлагают современную классификацию методов антимикробного контроля, включающую применение наноматериалов, ферментативных препаратов, эфирных масел, фотокаталитических покрытий и лазерной очистки. Особое внимание уделяется совместимости применяемых технологий с материалом артефакта и экологической безопасности вмешательства [7].

Теоретические положения А. Shulgin по клирономике позволяют рассматривать биоинженерные методы не только как технологический инструмент, но и как часть философии устойчивого сохранения материального и нематериального наследия. Автор подчёркивает необходимость сочетания научной обоснованности, исторической подлинности и минимального вмешательства в структуру объекта [10].

На основе проведённого анализа были выделены основные принципы современной биоинженерной консервации: комплексная диагностика с применением инженерных и

микробиологических методов; приоритет профилактических мероприятий над реставрационным вмешательством; использование экологически безопасных антимикробных средств; постоянный мониторинг микроклимата и состояния материалов; междисциплинарный характер исследований и опора на гуманитарные концепции сохранения наследия.

Таким образом, проведённый анализ показывает, что биоинженерная консервация является одним из наиболее перспективных направлений в области сохранения объектов культурного наследия. Объединение инженерной диагностики, микробиологического контроля, молекулярных методов идентификации и экологически безопасных технологий создаёт научную основу для долгосрочной защиты историко-культурных ценностей и профилактики биологических повреждений.

Заключение

Проведённый герменевтический анализ современных научных исследований позволил установить, что проблема биологических повреждений объектов культурного наследия в настоящее время рассматривается как одна из ключевых задач в области сохранения историко-культурных ценностей. Анализ отечественных и зарубежных публикаций показал, что традиционные методы реставрации уже не способны в полной мере обеспечивать долгосрочную защиту объектов без учёта биологических факторов разрушения, включая деятельность бактерий, грибов, микроводорослей и других микроорганизмов.

Установлено, что современная практика сохранения наследия постепенно трансформируется от локальных реставрационных вмешательств к комплексной биоинженерной модели, основанной на междисциплинарном взаимодействии инженерных, биологических, химических и гуманитарных наук. Ключевыми компонентами данной модели являются инженерная диагностика состояния материалов, микробиологический мониторинг, применение молекулярно-биологических методов идентификации биодеструкторов, контроль параметров микроклимата, а также использование экологически безопасных антимикробных средств и инновационных защитных технологий.

Результаты анализа также показывают, что применение биоинженерных подходов позволяет не только своевременно выявлять скрытые процессы биодеструкции и минимизировать степень повреждения материалов, но и формировать научно обоснованные стратегии профилактики. Особое значение приобретает переход от устранения последствий разрушения к предупреждению возникновения биологических рисков, что соответствует современным принципам устойчивой консервации.

Внедрение биоинженерных методов способствует увеличению сроков сохранности памятников, снижению необходимости агрессивного реставрационного вмешательства и сохранению исторической аутентичности объектов. Одновременно это формирует новую философию реставрационной деятельности, основанную на балансе научной рациональности, культурно-исторической ценности и экологической ответственности.

Биоинженерная консервация может рассматриваться как одно из наиболее перспективных направлений развития современной системы охраны культурного наследия и как практическая реализация концепции клирономики, ориентированной на сохранение историко-культурных ценностей в условиях биологических, климатических и антропогенных вызовов XXI века.

Список литературы

- 1 Фомина М. А. ФАКТОРЫ ЕСТЕСТВЕННОГО РАЗРУШЕНИЯ ОБЪЕКТОВ КУЛЬТУРНОГО НАСЛЕДИЯ //ИННОВАЦИОННЫЙ ПОТЕНЦИАЛ РАЗВИТИЯ НАУКИ В СОВРЕМЕННОМ МИРЕ: ТЕХНОЛОГИИ, ИННОВАЦИИ, ДОСТИЖЕНИЯ. – 2020. – С. 56-64.
- 2 Шишкин А. Ю. и др. Биоповреждения памятников культурного наследия федерального значения (Владимирская область). – 2023.
- 3 С. Бобир. МОНИТОРИНГ СОСТОЯНИЯ ПАМЯТНИКОВ, ПОДВЕРГАЮЩИХСЯ БИОРАЗРУШЕНИЯМ НА МРАМОРНОЙ СКУЛЬПТУРЕ В САНКТ-ПЕТЕРБУРГЕ // Г 36 Геология, геоэкология, эволюционная география: Коллективная моногра. – 2020. – С. 23.
- 4 Ilies D. C. et al. Investigations of the surface of heritage objects and green bioremediation: case study of artefacts from Maramures, Romania //Appl. Sci. – 2021. – Т. 11. – №. 14. – С. 6643.
- 5 Zhgun A. et al. Detection of potential biodeterioration risks for tempera painting in 16th century exhibits from State Tretyakov Gallery //PLOS One. – 2020. – Т. 15. – №. 4. – С. e0230591.
- 6 Gadd G. M., Fomina M., Pinzari F. Fungal biodeterioration and preservation of cultural heritage, artwork, and historical artifacts: extremophily and adaptation //Microbiology and Molecular Biology Reviews. – 2024. – Т. 88. – №. 1. – С. e00200-22.
- 7 Cappitelli F., Cattò C., Villa F. The control of cultural heritage microbial deterioration //Microorganisms. – 2020. – Т. 8. – №. 10. – С. 1542.
- 8 Kryukov A. et al. Features of the Survey of the Technical Condition and Restoration of a Cultural Heritage Site from the Mid-19th Century //International Conference on Materials Physics, Building Structures & Technologies in Construction, Industrial and Production Engineering–MPCPE. – Cham : Springer Nature Switzerland, 2024. – С. 145-155.
- 9 Хмелевская И. А. Микробиологические исследования объектов культурного наследия г. Пскова //Вестник Псковского государственного университета. Серия: Естественные и физико-математические науки. – 2013. – №. 2. – С. 53-75.
- 10 Shulgin A. The Relevance of Klironomy as a Complex of Scientific Knowledge of Cultural Heritage Preservation //KLIRONOMY JOURNAL Учредители: Tuculart Scientific Holding. – 2022. – №. 2. – С. 121-133.
- 11 Трепова Е. С., Хазова С. С. Новые биоциды в консервационной практике //Фотография. Изображение. Документ. – 2018. – №. 8. – С. 54-58.

СРАВНИТЕЛЬНАЯ ОЦЕНКА ТЕХНОЛОГИЙ ЭКСТРАКЦИИ ЭКДИСТЕРОИДОВ ИЗ НАДЗЕМНОЙ ЧАСТИ РАСТЕНИЯ *SILENE* *BRANUICA*

Жалғасбайқызы Жансая

Магистрант, Евразийский национальный университет имени Л.Н. Гумилева, Астана, Казахстан

Тыныкулов Марат Корганбекович

Кандидат сельскохозяйственных наук, ассоциированный профессор, Евразийский национальный университет имени Л.Н. Гумилева, Астана, Казахстан

Аннотация. В данной работе представлена сравнительная оценка эффективности различных технологий экстракции экдистероидов из надземной части растения *Silene brahuica*, включающей листья и стебли. Целью исследования являлось определение наиболее эффективного метода выделения экдистероидных соединений с учётом выхода целевых веществ, продолжительности процесса и технологических особенностей экстракции.

В ходе исследования использовали два метода экстракции: традиционную экстракцию с применением аппарата Сокслета и ультразвуковую экстракцию. В качестве экстрагирующих агентов применялись растворители с различной степенью полярности — гексан, этилацетат и этанол. Качественный и количественный анализ экдистероидов проводили методом высокоэффективная жидкостная хроматография.

Установлено, что эффективность экстракции существенно зависит как от полярности используемого растворителя, так и от технологического механизма экстракционного процесса. Неполярный гексан показал минимальную эффективность извлечения экдистероидов, что связано с низкой растворимостью полярных стероидных соединений в неполярной среде. Применение этилацетата обеспечивало промежуточные показатели выхода экдистероидов. Максимальное извлечение целевых соединений наблюдалось при использовании этанола, продемонстрировавшего наиболее высокую экстракционную способность.

Сравнительный анализ методов показал, что ультразвуковая экстракция обеспечивает более высокий выход экдистероидов по сравнению с традиционной экстракцией по Сокслету, одновременно сокращая продолжительность процесса и снижая энергозатраты. Кроме того, проведение экстракции при более мягких температурных условиях способствует снижению риска термической деградации биологически активных веществ и сохранению их химической стабильности.

Полученные результаты позволяют рассматривать растение *Silene brahuica* как перспективный источник фитоэкдистероидов для дальнейшего использования в фармакологии, биотехнологии и разработке функциональных продуктов. Ультразвуковая экстракция с применением этанола может быть рекомендована как наиболее рациональная и технологически эффективная методика выделения экдистероидных соединений из данного растительного сырья.

Ключевые слова: *Silene brahuica*, фитоэкдистероиды, экстракция, аппарат Сокслета, ультразвуковая экстракция, высокоэффективная жидкостная хроматография.

Введение

Растения рода *Silene*, относящиеся к семейству Caryophyllaceae, широко распространены в различных природно-климатических зонах Европы, Азии, Средиземноморья и Центральной Азии и характеризуются значительным видовым разнообразием, экологической пластичностью и высоким содержанием биологически активных соединений. Представители данного рода издавна используются в традиционной медицине различных народов как природные средства для лечения воспалительных заболеваний, инфекционных процессов, нарушений дыхательной системы, кожных патологий и состояний, сопровождающихся общей слабостью организма. В регионах Анатолии, Испании, Италии, Балканского полуострова и стран Центральной Азии растения рода *Silene* традиционно применялись в виде настоев, отваров и растительных экстрактов, что свидетельствует о длительном эмпирическом использовании их лечебного потенциала.

Современные фитохимические исследования показывают, что фармакологическая ценность растений рода *Silene* обусловлена наличием широкого спектра вторичных метаболитов, среди которых особое место занимают фитоэкдистероиды, флавоноиды, тритерпеновые сапонины, фенольные соединения, терпеноиды, антоцианидины и растительные стеролы. Среди перечисленных соединений наибольший научный интерес вызывают именно фитоэкдистероиды, представляющие собой природные полигидроксилированные стероидные соединения, обладающие высокой биологической активностью. Фитоэкдистероиды участвуют в регуляции физиологических процессов растений, выполняют защитные функции против фитофагов и стрессовых факторов, а также проявляют широкий спектр фармакологических эффектов в отношении животных и человека. Экспериментальные исследования демонстрируют их адаптогенные, иммуномодулирующие, антиоксидантные, анаболические, нейропротекторные, противоопухолевые и актопротекторные свойства, что делает данные соединения перспективными объектами для фармацевтических, биотехнологических и нутрицевтических разработок.

Bilal M. N. и соавторы в своих исследованиях подробно рассмотрели этнофармакологическое значение растений рода *Silene* и особенности их химического состава. Авторами показано, что представители данного рода являются ценным источником разнообразных вторичных метаболитов, включая фитоэкдистероиды, сапонины, терпены, флавоноиды, антоцианидины и фитостеролы. По данным авторов, именно сочетание этих соединений определяет выраженную противомикробную, антиоксидантную, противовирусную, цитопротекторную, иммуномодулирующую и противоопухолевую активность растений рода *Silene*. При этом подчёркивается, что химический состав многих видов до настоящего времени остаётся недостаточно изученным, а поиск новых природных источников экдистероидов остаётся актуальным направлением фитохимических исследований [1].

Юсупова У. Ю. и соавторы провели детальное фитохимическое исследование эндемичного для Центральной Азии вида *Silene rorovii*. В ходе комплексного анализа с применением современных методов экстракции, колоночной хроматографии и спектроскопической идентификации авторами было выделено десять фитоэкдистероидов, включая ранее не описанное производное — 20-гидроксиэкдизон-25-О-бензоат. Полученные результаты существенно расширили представления о структурном разнообразии экдистероидов в растениях рода *Silene*. Авторы также представили данные о биосинтетических путях формирования экдистероидных соединений и их

фармакологическом потенциале. Проведённые SAR- и QSAR-анализы подтвердили перспективность данных соединений в качестве потенциальных фармакологически активных молекул [2].

Kashchenko N. I. и соавторы в качестве объекта исследования использовали вид *Silene repens*. С применением высокоэффективной жидкостной хроматографии в сочетании с флуоресцентным детектированием и масс-спектрометрией авторами были идентифицированы двенадцать экдистероидов и шесть гликозилированных флавонов. Основными соединениями были определены 20-гидроксиэкдизон и полиподин В, обладающие высокой биологической активностью. Дополнительно исследовано влияние фитогормонов и элиситоров на биосинтез экдистероидов, что продемонстрировало возможность искусственного повышения продуктивности биологически активных веществ в растительных тканях [3].

Исследования Zibareva L. посвящены распределению и накоплению экдистероидов в различных органах представителей рода *Silene*. Авторами установлено, что содержание экдистероидов значительно варьирует в зависимости от фазы онтогенеза растения, физиологического состояния и типа органа. Наибольшие концентрации экдистероидов были обнаружены в листьях, бутонах, цветках и семенных структурах, тогда как в стеблях содержание данных соединений было существенно ниже. Максимальное накопление биологически активных стероидов наблюдалось в фазах интенсивного роста и бутонизации, что указывает на тесную связь между биосинтезом экдистероидов и физиологическими процессами развития растения [4].

В дальнейших исследованиях Zibareva L. и соавторов был проведён сравнительный фитохимический анализ семи видов рода *Silene* с использованием методов ВЭЖХ, масс-спектрометрии и ЯМР-спектроскопии. Авторами были выявлены значительные межвидовые различия в качественном и количественном составе экдистероидов, что подтвердило возможность использования данных соединений в качестве хемотаксономических маркеров при изучении филогенетических связей внутри рода *Silene* [5].

Matadaliyeva N. Z. и соавторы исследовали химический состав и фармакологические свойства вида *Silene viridiflora*. В ходе работы было установлено, что адаптогенные, иммуномодулирующие и антиоксидантные свойства данного растения во многом обусловлены присутствием 20-гидроксиэкдизона как основного биологически активного компонента. Авторами также был разработан высокоточный аналитический метод количественного определения экдистероидов в растительных экстрактах, позволяющий проводить стандартизацию фитопрепаратов на основе представителей рода *Silene* [6].

Несмотря на значительное количество исследований, посвящённых фитохимическому составу представителей рода *Silene*, многие региональные виды, включая *Silene brahuica*, остаются недостаточно изученными. Особенно ограничены сведения о количественном содержании экдистероидов, их распределении в различных органах растения и технологических особенностях их выделения. Выбор оптимального метода экстракции имеет принципиальное значение, поскольку эффективность извлечения биологически активных соединений напрямую влияет на возможность дальнейшего фармацевтического, биотехнологического и нутрицевтического применения получаемых экстрактов.

В связи с этим целью настоящего исследования является сравнительная оценка эффективности различных методов экстракции экдистероидов из надземной части растения *Silene brahuica*, а также определение наиболее эффективного экстрагента для получения экдистероидсодержащих растительных экстрактов.

Объекты и методы исследования

Объектом исследования являлись надземные части растения *Silene brahuica* (листья и стебли), собранные в вегетационный период, высушенные и измельчённые до однородного состояния. Экстракцию экидистероидов проводили методами экстракции по Сокслету (аппарат АСВ-6М) и ультразвуковой экстракции с использованием растворителей различной полярности: гексана, этилацетата и этанола.

При ультразвуковой экстракции растительное сырьё смешивали с выбранными растворителями при заданном соотношении твёрдой и жидкой фаз и обрабатывали в ультразвуковой ванне в течение 60 минут. Экстракцию проводили при пониженной температуре, что обеспечивало предотвращение термического разрушения биологически активных соединений. Экстракты фильтровали и при необходимости концентрировали.

Качественный и количественный анализ экидистероидов осуществляли методом высокоэффективной жидкостной хроматографии (ВЭЖХ) с использованием 20-гидроксиэкидизона в качестве стандартного образца. Эффективность экстракции оценивали по общему выходу экидистероидов. Все эксперименты выполняли в трёхкратной повторности, результаты обрабатывали статистически.

Результаты исследования

В ходе экспериментального исследования по выделению экидистероидов из надземной части растения *Silene brahuica* была проведена сравнительная оценка эффективности различных методов экстракции с использованием растворителей, отличающихся по степени полярности. Основной целью исследования являлось определение оптимального сочетания технологического метода и экстрагирующего агента, обеспечивающего максимальное извлечение целевых биологически активных соединений при минимальных временных и энергетических затратах.

Для экстракции использовали два наиболее распространённых в фитохимических исследованиях метода: классическую экстракцию с применением аппарата Сокслета и ультразвуковую экстракцию. В качестве экстрагентов применялись гексан, этилацетат и этанол, различающиеся по полярности и растворяющей способности по отношению к стероидным соединениям растительного происхождения. Количественное определение общего содержания экидистероидов проводили в расчёте на сухую массу растительного сырья.

Таблица 1 – Результаты экстракции экидистероидов из надземной части растения *Silene brahuica*.

№	Метод экстракции	Растворитель	Время экстракции	Общий выход экидистероидов, мг/г (на сухое сырьё)
1	Сокслет (АСВ-6М)	Гексан	120 мин	0,35 ± 0,03
2	Сокслет (АСВ-6М)	Этилацетат	120 мин	1,12 ± 0,08
3	Сокслет (АСВ-6М)	Этанол	120 мин	2,45 ± 0,15
4	Ультразвуковая	Гексан	60 мин	0,42 ± 0,04
5	Ультразвуковая	Этилацетат	60 мин	1,38 ± 0,10
6	Ультразвуковая	Этанол	60 мин	2,72 ± 0,18

Анализ полученных данных показал выраженную зависимость выхода экдистероидов от физико-химических свойств применяемого растворителя. При использовании метода Сокслета минимальные показатели выхода были получены при применении гексана и составили $0,35 \pm 0,03$ мг/г. Низкая эффективность данного растворителя объясняется его неполярной природой, тогда как экдистероиды являются преимущественно полярными стероидными соединениями, содержащими гидроксильные группы, определяющие их растворимость в более полярных средах.

При использовании этилацетата выход целевых соединений возрастал более чем в три раза и достигал $1,12 \pm 0,08$ мг/г. Данный результат свидетельствует о том, что среднеполярные растворители способны извлекать значительную часть экдистероидов, однако эффективность экстракции остаётся ограниченной вследствие недостаточной полярности растворителя для полного перехода соединений в экстракт.

Максимальный выход экдистероидов в серии экстракции по Сокслету наблюдался при использовании этанола и составил $2,45 \pm 0,15$ мг/г. Высокая эффективность этанола обусловлена его полярностью, способностью проникать в клеточные структуры растительного сырья и растворять широкий спектр полярных вторичных метаболитов, включая экдистероидные соединения. Дополнительно этанол обладает преимуществами с точки зрения экологической безопасности, низкой токсичности и перспектив дальнейшего использования в фармацевтической и пищевой промышленности.

Исследование результатов ультразвуковой экстракции показало более высокую эффективность данного метода по сравнению с традиционной экстракцией по Сокслету. При использовании гексана выход экдистероидов составил $0,42 \pm 0,04$ мг/г, что несколько превышало показатели классической экстракции. Вероятно, это связано с явлением акустической кавитации, возникающей под действием ультразвуковых волн, которая приводит к локальному разрушению клеточных стенок и повышению диффузии внутриклеточных метаболитов в растворитель.

Применение этилацетата в условиях ультразвуковой обработки обеспечило выход экдистероидов на уровне $1,38 \pm 0,10$ мг/г, что также превышало показатели, полученные при экстракции по Сокслету. Увеличение выхода в данном случае может быть связано с улучшением массопереноса, ускорением проникновения растворителя в клеточные структуры и более интенсивным высвобождением биологически активных соединений из растительной матрицы.

Наиболее высокие показатели общего выхода экдистероидов были зарегистрированы при ультразвуковой экстракции с использованием этанола — $2,72 \pm 0,18$ мг/г. По сравнению с классической экстракцией по Сокслету наблюдалось увеличение выхода на 11,0 %. При этом продолжительность процесса была сокращена в два раза — с 120 до 60 минут. Полученные результаты свидетельствуют о значительном повышении технологической эффективности процесса и подтверждают целесообразность применения ультразвуковой обработки при выделении экдистероидов из растительного сырья.

Следует отметить, что ультразвуковая экстракция имеет ряд дополнительных преимуществ. Во-первых, процесс протекает при более низких температурах, что минимизирует риск термической деградации термолабильных биологически активных веществ. Во-вторых, снижение времени обработки уменьшает энергозатраты и повышает экономическую эффективность технологии. В-третьих, более мягкие условия экстракции позволяют сохранить химическую стабильность целевых соединений и их биологическую активность.

Сравнительный анализ двух исследованных методов показал, что на эффективность извлечения экдистероидов существенное влияние оказывают два ключевых фактора: полярность используемого растворителя и механизм физического воздействия,

обеспечивающий разрушение клеточных структур растительного сырья. Полярные растворители, особенно этанол, обеспечивают наиболее полное извлечение экдистероидов, тогда как ультразвуковое воздействие способствует дополнительной интенсификации процесса экстракции за счёт кавитационного эффекта.

Результаты проведённого исследования позволяют сделать вывод о том, что наиболее эффективной технологией выделения экдистероидов из надземной части растения *Silene brahuica* является ультразвуковая экстракция с использованием этанола. Данный метод обеспечивает максимальный выход целевых соединений, сокращает длительность технологического процесса, снижает энергозатраты и создаёт перспективы для дальнейшего масштабирования технологии в фармацевтической, биотехнологической и нутрицевтической промышленности.

Заключение

По результатам проведённого исследования установлено, что эффективность выделения экдистероидов из надземной части растения *Silene brahuica* в значительной степени определяется как физико-химическими свойствами используемого экстрагента, так и технологическими особенностями выбранного метода экстракции. Проведённый сравнительный анализ показал выраженную зависимость выхода целевых биологически активных соединений от полярности растворителя. Среди исследованных экстрагентов наиболее высокую эффективность продемонстрировал этанол, обеспечивший максимальное извлечение экдистероидов, что обусловлено его высокой полярностью и способностью эффективно взаимодействовать со стероидными соединениями растительного происхождения. Использование гексана показало минимальную эффективность вследствие его неполярной природы, тогда как этилацетат продемонстрировал промежуточные показатели экстракционной способности.

Сравнительная оценка технологических методов показала, что ультразвуковая экстракция обладает рядом существенных преимуществ по сравнению с традиционной экстракцией по Сокслету. Применение ультразвукового воздействия обеспечивало более высокий выход экдистероидов при сокращении продолжительности процесса экстракции практически в два раза. Дополнительно было установлено, что проведение процесса при более низких температурах способствует снижению энергозатрат, минимизации риска термической деградации термолабильных соединений и лучшему сохранению биологической активности экдистероидов.

Полученные экспериментальные данные подтверждают высокий фитохимический потенциал надземных органов растения *Silene brahuica* как природного источника фитоэкдистероидов. Наличие значительного содержания экдистероидных соединений в исследуемом растительном сырье открывает перспективы его дальнейшего применения в фармацевтической, биотехнологической, нутрицевтической и функционально-пищевой промышленности.

Таким образом, на основании полученных результатов ультразвуковая экстракция с использованием этанола может быть рекомендована как наиболее рациональный и технологически эффективный способ выделения экдистероидов из растительного сырья *Silene brahuica*. Дальнейшие исследования могут быть направлены на оптимизацию технологических параметров экстракции, идентификацию индивидуального состава экдистероидов, а также изучение их фармакологических и биологических свойств для расширения практического применения полученных экстрактов.

Список литературы

- 1 Bilal M. N., Kutluay V. M. Silene genus: a review of its traditional uses, phytochemistry and pharmacology //Phytochemistry Reviews. – 2025. – C. 1-85.
- 2 Yusupova U. Y., Usmanov D. A. Phytoecdysteroids from Silene popovii //Natural Products: Phytochemistry, Botany, Metabolism of Alkaloids, Phenolics and Terpenes. – Berlin, Heidelberg : Springer Berlin Heidelberg, 2025. – C. 1-23.
- 3 Kashchenko N. I., Olennikov D. N., Chirikova N. K. Phytohormones and elicitors enhanced the ecdysteroid and glycosylflavone content and antioxidant activity of silene repens //Applied Sciences. – 2021. – T. 11. – №. 23. – C. 11099.
- 4 Zibareva L. Distribution and levels of phytoecdysteroids in plants of the genus Silene during development //Archives of Insect Biochemistry and Physiology: Published in Collaboration with the Entomological Society of America. – 2000. – T. 43. – №. 1. – C. 1-8.
- 5 Zibareva L. et al. The phytoecdysteroid profiles of 7 species of Silene (Caryophyllaceae) //Archives of Insect Biochemistry and Physiology: Published in Collaboration with the Entomological Society of America. – 2009. – T. 72. – №. 4. – C. 234-248.
- 6 Mamadalieva N. Z. et al. Phytochemical and biological activities of Silene viridiflora extractives. Development and validation of a HPTLC method for quantification of 20-hydroxyecdysone //Industrial Crops and Products. – 2019. – T. 129. – C. 542-548.

БИОЛОГИЧЕСКАЯ ФИКСАЦИЯ АЗОТА И ПОТЕНЦИАЛ АЗОТФИКСИРУЮЩИХ БАКТЕРИЙ В УСТОЙЧИВОМ СЕЛЬСКОМ ХОЗЯЙСТВЕ: СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ И ПЕРСПЕКТИВЫ

Достанбекова Назира Канатовна

Магистрант, Евразийский национальный университет имени Л.Н. Гумилева, Астана, Казахстан

Салхожаева Гаухар Мадыхановна

Кандидат биологических наук, ассоциированный профессор, Евразийский национальный университет имени Л.Н. Гумилева, Астана, Казахстан

Аннотация В настоящей статье представлен аналитический обзор современных научных исследований, посвящённых процессам биологической фиксации азота и биотехнологическому потенциалу азотфиксирующих микроорганизмов в условиях устойчивого сельского хозяйства. Рассмотрены физиолого-биохимические механизмы фиксации атмосферного азота, особенности функционирования нитрогеназного комплекса, а также таксономическое разнообразие свободноживущих, ассоциативных и симбиотических азотфиксирующих бактерий. Проанализированы современные данные о роли азотфиксирующих микроорганизмов в повышении плодородия почв, оптимизации минерального питания растений, стимуляции ростовых процессов и повышении продуктивности сельскохозяйственных культур. Показано, что применение микробных биопрепаратов и полифункциональных бактериальных консорциумов способствует снижению потребности в минеральных азотных удобрениях, улучшению агрохимических свойств почвы, активизации полезной ризосферной микробиоты и уменьшению антропогенной нагрузки на агроэкосистемы. Особое внимание уделено экологическим, агрономическим и экономическим преимуществам биологизации азотного питания растений. Обсуждаются перспективы селекции высокоэффективных штаммов азотфиксирующих бактерий, разработки микробных препаратов нового поколения и интеграции биологических технологий в современные системы экологически ориентированного и устойчивого земледелия.

Ключевые слова: азотфиксирующие бактерии; биологическая фиксация азота; биологические удобрения; микробные консорциумы; устойчивое земледелие

Введение

Азот является одним из важнейших биогенных элементов, необходимых для роста, развития и формирования продуктивности растений. Он входит в состав аминокислот, белков, нуклеиновых кислот, хлорофилла, ферментов, коферментов и других жизненно важных биомолекул, обеспечивающих нормальное протекание метаболических процессов в растительном организме. Достаточное обеспечение растений азотом напрямую влияет на интенсивность фотосинтеза, активность ферментативных систем, формирование вегетативной массы, развитие корневой системы, образование генеративных органов и

конечную урожайность сельскохозяйственных культур. Дефицит азота приводит к угнетению роста, снижению синтеза хлорофилла, преждевременному старению листьев, нарушению белкового обмена и существенному снижению качества и количества урожая.

Несмотря на то что атмосферный воздух содержит около 78 % молекулярного азота (N_2), большая часть растений не способна использовать его непосредственно вследствие высокой химической стабильности молекулы и прочности тройной связи между атомами азота. В природных условиях усвоение азота растениями происходит преимущественно в форме нитратов (NO_3^-) и аммонийных соединений (NH_4^+), которые образуются в результате биогеохимических процессов в почве. Для обеспечения высоких урожаев в интенсивном земледелии широко применяются минеральные азотные удобрения, которые в течение многих десятилетий рассматриваются как один из основных факторов повышения сельскохозяйственной продуктивности.

Однако масштабное и зачастую нерациональное применение азотных удобрений сопровождается рядом серьёзных экологических, агрохимических и экономических проблем. Избыточное внесение азотсодержащих соединений приводит к нарушению естественного баланса питательных элементов в почве, снижению биологической активности почвенной микрофлоры, подкислению почвенного раствора, ухудшению структуры почвы и постепенному снижению её естественного плодородия. Кроме того, вымывание нитратов в поверхностные и грунтовые воды способствует эвтрофикации водоёмов, нарушению функционирования водных экосистем и ухудшению качества питьевой воды. Значительную обеспокоенность вызывает и выброс оксидов азота в атмосферу, поскольку эти соединения участвуют в формировании парникового эффекта и оказывают негативное влияние на климатическую систему. Дополнительным риском является накопление нитратов в сельскохозяйственной продукции, что может представлять потенциальную угрозу для здоровья человека и животных.

В условиях глобальных экологических вызовов, изменения климата, деградации земельных ресурсов и необходимости перехода к экологически ориентированным моделям сельского хозяйства особую актуальность приобретает поиск альтернативных биологических источников азотного питания растений. Одним из наиболее перспективных природных механизмов обеспечения растений азотом является биологическая фиксация азота — уникальный микробиологический процесс восстановления атмосферного азота до аммиака с последующим включением его в биологические соединения. Данный процесс осуществляется специализированными прокариотическими микроорганизмами, обладающими ферментативным комплексом нитрогеназы, способным катализировать превращение молекулярного азота в биологически доступные формы.

Азотфиксирующие бактерии играют фундаментальную роль в глобальном круговороте азота и поддержании плодородия почвенных экосистем. Эти микроорганизмы представлены широким таксономическим разнообразием и могут существовать в различных экологических формах: свободноживущей, ассоциативной и симбиотической. К свободноживущим азотфиксаторам относятся представители родов *Azotobacter*, *Clostridium*, *Beijerinckia* и других бактерий, способных фиксировать атмосферный азот независимо от растения-хозяина. Ассоциативные формы, такие как *Azospirillum*, колонизируют ризосферу растений и оказывают положительное влияние на рост и развитие культур за счёт улучшения минерального питания и синтеза физиологически активных веществ. Особый научный и практический интерес представляют симбиотические азотфиксирующие бактерии, включая представителей рода *Rhizobium*, способные образовывать клубеньки на корнях бобовых растений и обеспечивать высокоэффективный обмен питательными веществами между микроорганизмом и растением.

В последние годы наблюдается устойчивый рост интереса к изучению азотфиксирующих микроорганизмов и разработке микробных биопрепаратов на их основе. Современные исследования показывают, что использование биологических удобрений, содержащих активные штаммы азотфиксирующих бактерий, способствует увеличению урожайности сельскохозяйственных культур, улучшению структуры почвы, повышению содержания органического вещества, активизации полезной микробиоты и снижению зависимости аграрного производства от химических удобрений. Помимо азотфиксации, многие бактерии обладают дополнительными свойствами, стимулирующими рост растений, включая синтез фитогормонов, мобилизацию фосфатов, продукцию сидерофоров, повышение устойчивости растений к абиотическим стрессам и подавление фитопатогенных микроорганизмов.

Развитие современных методов молекулярной биологии, микробиологии, геномики, метагеномного анализа и биотехнологии значительно расширило возможности изучения азотфиксирующих бактерий на генетическом, физиологическом и экологическом уровнях. Исследование генов азотфиксации, регуляторных механизмов экспрессии нитрогеназного комплекса, особенностей колонизации ризосферы и адаптации бактерий к различным почвенно-климатическим условиям открывает новые перспективы для создания высокоэффективных микробных препаратов нового поколения.

В условиях перехода к принципам устойчивого и экологически безопасного земледелия использование азотфиксирующих микроорганизмов рассматривается как одно из стратегически важных направлений развития агробиотехнологии. Их применение позволяет не только повысить продуктивность сельскохозяйственных культур, но и снизить антропогенную нагрузку на окружающую среду, сохранить плодородие почв и обеспечить экологическую безопасность агропромышленного производства.

Целью настоящей обзорной статьи является систематизация современных научных данных о механизмах биологической фиксации азота, характеристика основных групп азотфиксирующих бактерий, анализ их физиолого-биохимических особенностей, а также оценка перспектив практического применения данных микроорганизмов в системе современного устойчивого земледелия.

Материалы и методы

Настоящая работа выполнена в формате обзорной статьи и основана на анализе и систематизации современных научных публикаций, посвящённых азотфиксирующим бактериям и биологической фиксации азота в агроэкосистемах.

В качестве исходных материалов использованы научные статьи, обзорные работы и монографии, опубликованные в рецензируемых отечественных и зарубежных изданиях. Поиск литературы осуществлялся в международных и национальных научных базах данных Scopus, Web of Science, PubMed, Google Scholar, eLIBRARY.RU, а также в профильных агрономических и микробиологических журналах. В обзор включены публикации преимущественно за последние 5 лет, а также классические работы, имеющие фундаментальное значение для понимания процессов биологической фиксации азота.

В обзор включались исследования, соответствующие следующим критериям: наличие данных о биологической фиксации азота микроорганизмами; описание симбиотических, ассоциативных и свободноживущих азотфиксирующих бактерий; исследования по применению азотфиксирующих бактерий и их консорциумов в сельском хозяйстве; работы, содержащие количественные показатели влияния биопрепаратов на плодородие почвы и урожайность растений.

Из анализа исключались публикации с недостаточным экспериментальным обоснованием, дублирующие данные или не относящиеся напрямую к тематике исследования.

Результаты

Проведённый анализ современных отечественных и зарубежных научных публикаций свидетельствует о высокой биотехнологической и агроэкологической значимости азотфиксирующих микроорганизмов в системах современного земледелия. Полученные литературные данные подтверждают, что использование азотфиксирующих бактерий как в виде монокультур, так и в составе микробных консорциумов способствует повышению плодородия почв, оптимизации минерального питания растений, увеличению урожайности сельскохозяйственных культур и снижению зависимости агроэкосистем от применения синтетических азотных удобрений. Кроме того, применение данных микроорганизмов рассматривается как один из перспективных инструментов перехода к биологизированному и экологически устойчивому сельскому хозяйству.

В обзоре Р. М. Консорциумова [1] показано, что почвенные и ризосферные бактерии, обладающие способностью к фиксации атмосферного азота, солюбилизации труднорастворимых фосфатных соединений и синтезу сидерофоров, оказывают комплексное стимулирующее воздействие на рост и развитие растений. Автор отмечает, что применение бактериальных консорциумов способствует не только повышению доступности азота, фосфора и железа в ризосфере, но и активизирует биологическую активность почвы, улучшает корневое питание растений и способствует формированию более устойчивых агроценозов. Особое внимание уделяется возможности снижения доз минеральных удобрений без потери урожайности, что имеет важное экономическое и экологическое значение [1].

Исследования Карашаевой А. С. [2] показали, что микробные препараты, содержащие активные штаммы азотфиксирующих бактерий, способны существенно повышать коэффициенты использования макро- и микроэлементов из почвы и внесённых удобрений. Установлено, что бактериализация семян и обработка ризосферы стимулируют рост надземной и корневой биомассы растений, ускоряют формирование генеративных органов и способствуют более эффективному усвоению питательных веществ. Дополнительно было выявлено выраженное антагонистическое действие ряда штаммов в отношении фитопатогенных микроорганизмов, что снижает поражаемость культур грибами и бактериальными заболеваниями [2].

Согласно данным Alomari S. M. и соавторов [3], представители родов *Rhizobium*, *Bradyrhizobium*, *Mesorhizobium*, *Frankia* и *Azorhizobium* обеспечивают эффективную фиксацию атмосферного азота как в симбиотической, так и в свободноживущей форме. Авторы отмечают, что совместная инокуляция азотфиксирующих бактерий с арбускулярными микоризными грибами и штаммами *Azospirillum* способствует более интенсивному развитию корневой системы, улучшает структуру почвы, повышает влагоудерживающую способность и ускоряет восстановление деградированных земель [3].

В работе Sharma P. и соавторов [4] установлено, что азотфиксирующие прокариоты ежегодно обеспечивают глобальную фиксацию от 50 до 200 млн тонн биологически доступного азота. Авторы подчёркивают, что способность к формированию симбиотических клубеньков характерна приблизительно для 70 % представителей бобовых культур. Центральную роль в процессе фиксации играет фермент нитрогеназа, катализирующий восстановление молекулярного азота до аммиака. Наиболее распространённой является молибден-зависимая нитрогеназа, обладающая высокой каталитической эффективностью в оптимальных условиях среды [4].

Исследование de Lima J. D. и соавторов [5] показало значительное расширение таксономического разнообразия diaзотрофных микроорганизмов благодаря применению современных молекулярно-генетических методов, включая секвенирование генов *nifH*, метагеномный анализ и сравнительную геномику. Авторами выявлены новые штаммы, обладающие высокой азотфиксирующей активностью и способностью адаптироваться к различным типам почв. Отмечено, что использование новых генетически охарактеризованных штаммов позволяет значительно повысить эффективность биопрепаратов и расширить спектр их применения в различных агроклиматических условиях [5].

Sharma С. и соавторы [6] установили, что diaзотрофные бактерии способны выполнять не только функцию биологической фиксации азота, но и участвовать в процессах биодеградациии пестицидов и других ксенобиотиков. Авторы показали, что некоторые штаммы способны использовать остаточные количества агрохимикатов как источник углерода или энергии, способствуя детоксикации почвенной среды. Это существенно повышает устойчивость агроэкосистем к химической нагрузке и способствует сохранению биологического разнообразия почвенной микрофлоры [6].

По данным Kawaka F. [7], применение современных молекулярно-таксономических методов идентификации, включая анализ 16S rRNA, MALDI-TOF профилирование и геномное типирование, позволяет отбирать высокоэффективные симбиотические штаммы азотфиксирующих бактерий, обладающие адаптивностью к конкретным почвенно-климатическим условиям. Это существенно повышает эффективность бактеризации и позволяет создавать регионально адаптированные микробные препараты [7].

Rana K. L. и соавторы [8] показали, что эндофитные азотфиксирующие бактерии родов *Azospirillum*, *Burkholderia*, *Bacillus*, *Frankia*, *Rhizobium* и *Pseudomonas* способны колонизировать внутренние ткани растений, усиливая процессы минерального питания, стимулируя синтез фитогормонов и повышая устойчивость культур к абиотическим стрессам. Их применение сопровождалось увеличением биомассы растений, улучшением структуры почвы и ростом урожайности сельскохозяйственных культур [8].

Наиболее выраженные количественные изменения были представлены в исследовании Goginyan V. и соавторов [9], где изучался микробный консорциум, включающий *Azotobacter chroococcum*, *Paenibacillus polymyxa*, *Rhizobium leguminosarum*, *Mesorhizobium ciceri* и *Bradyrhizobium japonicum*. Установлено, что применение данного консорциума привело к увеличению содержания органического вещества в почве с 2,73 до 5,79 %, что свидетельствует об активизации гумусообразовательных процессов. Содержание общего азота увеличилось в 2,38 раза, концентрация нитратной формы азота (NO_3^-) возросла в 3,0 раза, а подвижные формы нитратного азота достигли 71,9 мг-экв/100 г почвы. Дополнительно было установлено, что насыщение почвы биологически фиксированным азотом составило 16,2 мг/100 г. Практически значимым результатом стало ускорение созревания урожая на 12–20 суток по сравнению с контрольными вариантами, что свидетельствует о высокой агрономической эффективности применения микробных консорциумов [9, 10].

Таким образом, обобщение современных литературных данных показывает, что азотфиксирующие бактерии являются важнейшим биотехнологическим ресурсом в системе устойчивого земледелия. Их применение позволяет одновременно решать задачи повышения продуктивности агроценозов, восстановления плодородия почв, снижения химической нагрузки на окружающую среду и формирования экологически безопасных технологий растениеводства.

Заклучение

Проведённый анализ современных научных исследований показал, что азотфиксирующие микроорганизмы занимают ключевое место в обеспечении растений биологически доступными формами азота и играют важную роль в поддержании функционирования почвенных экосистем. Биологическая фиксация атмосферного азота представляет собой один из важнейших природных механизмов сохранения азотного баланса в агроценозах и рассматривается как перспективная экологически безопасная альтернатива частичной замене минеральных азотных удобрений в современных системах земледелия.

Установлено, что азотфиксирующие бактерии обладают высоким биотехнологическим потенциалом и способны не только обеспечивать растения азотом, но и выполнять ряд дополнительных физиологически значимых функций. Многие штаммы стимулируют рост и развитие растений за счёт синтеза фитогормонов, повышения доступности минеральных элементов питания, мобилизации труднорастворимых соединений фосфора, продукции сидерофоров и подавления развития фитопатогенной микрофлоры. Благодаря этим свойствам азотфиксирующие микроорганизмы оказывают комплексное положительное влияние на развитие растений и формирование урожая.

Применение азотфиксирующих бактерий как в виде индивидуальных биопрепаратов, так и в составе микробных консорциумов способствует улучшению агрохимических, биологических и физико-химических свойств почвы. Использование микробных инокулянтов повышает содержание органического вещества, активизирует полезную почвенную микрофлору, улучшает структуру почвы, способствует развитию корневой системы растений и повышает эффективность использования питательных веществ. Это, в свою очередь, положительно отражается на продуктивности сельскохозяйственных культур и устойчивости агроэкосистем к неблагоприятным факторам окружающей среды.

Особое значение в современных агробиотехнологиях приобретают микробные консорциумы, объединяющие микроорганизмы с различными механизмами роста-стимулирующего действия. Совместное функционирование азотфиксирующих, фосфатмобилизующих, биозащитных и стресс-протекторных бактерий обеспечивает более выраженный синергетический эффект по сравнению с использованием отдельных штаммов. Такой подход позволяет не только повышать урожайность сельскохозяйственных культур, но и способствует восстановлению деградированных почв, снижению химической нагрузки на агроэкосистемы и сохранению биологического разнообразия почвенной микробиоты.

Развитие современных методов микробиологии, молекулярной биологии, геномики и биотехнологии значительно расширяет возможности поиска, идентификации и селекции высокоэффективных штаммов азотфиксирующих бактерий. Изучение генетических механизмов азотфиксации, адаптивных свойств микроорганизмов и особенностей их взаимодействия с растениями открывает новые перспективы для создания биопрепаратов нового поколения, адаптированных к конкретным почвенно-климатическим условиям.

Таким образом, азотфиксирующие бактерии являются стратегически важным биологическим ресурсом в развитии устойчивого сельского хозяйства. Их широкое внедрение в практику растениеводства позволяет одновременно решать задачи повышения урожайности сельскохозяйственных культур, восстановления плодородия почв, снижения потребности в минеральных удобрениях и минимизации негативного воздействия аграрного производства на окружающую среду. Перспективными направлениями дальнейших исследований остаются поиск новых высокоактивных штаммов, разработка многофункциональных микробных консорциумов, совершенствование технологий

культивирования и интеграция микробных биопрепаратов в современные системы экологически ориентированного земледелия.

Список литературы

- 1 Консорциумов Р. М. Биологическая активность почвенных бактерий, стимулирующих рост растений: фиксация азота, солюбилизация фосфата, синтез сидерофоров. Перспективы разработки микробных консорциумов // Агрохимия. – 2024. – №. 5. – с. 85-95.
- 2 Карашаева А. С. ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МИКРОБИОЛОГИЧЕСКИХ ПРЕПАРАТОВ В СОВРЕМЕННОМ ЗЕМЛЕДЕЛИИ //СОВРЕМЕННЫЕ ПРОБЛЕМЫ И ТЕХНОЛОГИИ В ЖИВОТНОВОДСТВЕ. – 2024.
- 3 Alomari S. M. et al. Nitrogen-fixing Bacteria and their Applications in the Environment: A Review //International Journal of Medical and All Body Health Research. – 2024. – Т. 5. – №. 4. – С. 178-187.
- 4 Sharma P. et al. Diversity and evolution of nitrogen fixing bacteria //Sustainable agriculture reviews 60: Microbial processes in agriculture. – 2023. – С. 95-120.
- 5 de Lima J. D. et al. Expanding agricultural potential through biological nitrogen fixation: Recent advances and diversity of diazotrophic bacteria //Australian Journal of Crop Science. – 2024. – Т. 18. – №. 6. – С. 324-333.
- 6 Sharma C. et al. A review on ecology implications and pesticide degradation using nitrogen fixing bacteria under biotic and abiotic stress conditions //Chemistry and Ecology. – 2023. – Т. 39. – №. 7. – С. 753-774.
- 7 Kawaka F. Characterization of symbiotic and nitrogen fixing bacteria //AMB Express. – 2022. – Т. 12. – №. 1. – С. 99.
- 8 Rana K. L. et al. Endophytic nitrogen-fixing bacteria: Untapped treasurer for agricultural sustainability //J. Appl. Biol. Biotechnol. – 2023. – Т. 11. – №. 2. – С. 75-93.
- 9 Goginyan V. et al. Effect of complex microbial preparation of free-living and symbiotic nitrogen-fixing bacteria for agricultural crops //Brazilian Journal of Biology. – 2025. – Т. 85. – С. e292171.
- 10 Guo K. et al. Biological nitrogen fixation in cereal crops: Progress, strategies, and perspectives //Plant Communications. – 2023. – Т. 4. – №. 2.

Virtual Biochemical Twins of Human Organoids: Predictive Modeling of Disease State Transitions through Integrated Spatial Multiomics and Perturbation Dynamics

David Aphkhazava

PhD, Professor, University of Georgia, Tbilisi, Georgia. Orcid: <https://orcid.org/0000-0001-6216-64>

Levan Gulua

PhD, Professor, Head of bachelor program of Biomedicine at University of Georgia, Tbilisi, Georgia

Mzia Tsiklauri

PhD, Affiliated Professor of the Medical Programs of Gr.Robakidze University, Microbiology, Immunology, Virology, Infection Control. Invited Professor of the Medical Programs of Alte University, Tbilisi, Georgia. Invited Professor of the Medical Programs of Caucasus International University, Laboratory Medicine, Tbilisi, Georgia. Member of the Georgian Immunologists Association, Member of the Accreditation Council of the Quality Development, Center of the Ministry of Education of Georgia

Manana Makharadze

Prof. David Agmashenebeli University of Georgia, Tbilisi, Georgia.

Maia Berodze

Assistant Professor at Caucasus International University, Tbilis, Georgia

Nodar Sulashvili

MD, PhD, Doctor of Pharmaceutical and Pharmacological Sciences In Medicine, Invited Lecturer (Professor) of Scientific Research-Skills Center at Tbilisi State Medical University; Professor of Medical and Clinical Pharmacology of International School of Medicine at Alte University; Professor of Pharmacology of Faculty of Medicine at Georgian National University SEU, Associate Affiliated Professor of Medical Pharmacology of Faculty of Medicine at Sul Khan-Saba Orbeliani University; Associate Professor of Medical Pharmacology at School of Medicine at David Aghmashenebeli University of Georgia; Associate Professor of Biochemistry and Pharmacology Direction of School of Health Sciences at the University of Georgia. Associate Professor of Pharmacology of Faculty Dentistry and Pharmacy at Tbilisi Humanitarian Teaching University; Tbilisi, Georgia; Orcid: <https://orcid.org/0000-0002-9005-8577>.

Giorgi Margvelani

Prof. European University, Tbilisi, Georgia.

Maia Berodze

Assistant Professor at Caucasus International University, Tbilis, Georgia

Tamuna Samadashvili

University of Georgia, Tbilisi, Georgia

Nino Maziashvili

Associate Professor, University of Georgia, Tamar Gagoshidze Neuropsychology Center, Tbilisi, Georgia

Lolita Shengelia

PhD, Invited lecturer of Georgian National University, Tbilisi, Georgia; Invited lecturer of Georgian American University, Tbilisi, Georgia

Yashasvee Saurabh

University of Georgia, Tbilisi, Georgia

George Maglakelidze

PhD, Professor, University of Georgia, Tbilisi, Georgia

Ilia Atanelishvili

Medical University of South Carolina, Charleston, SC, USA

Corresponding Author: Prof. David Aphkhazava

Human organoids recapitulate key architectural and functional features of native tissues, yet our ability to predict how they evolve, respond to perturbation, or transition between healthy and diseased states remains limited by the descriptive nature of current multiomic approaches. Here, we introduce Virtual Biochemical Twins (VBTs)—computable, patient-specific digital replicas of human organoids that learn and forecast biochemical state transitions across space and time. We constructed VBTs by integrating longitudinal live-cell imaging, spatial transcriptomics and proteomics, single-cell multiomics, and genome-scale Perturb-seq screens across a panel of patient-derived organoids spanning healthy, pre-malignant, and diseased states. A geometry-aware graph neural network coupled with optimal transport learned continuous mappings between molecular configurations, enabling reconstruction of cell-state trajectories at sub-cellular resolution and in silico prediction of perturbation outcomes never observed during training. VBTs accurately forecasted spatial reorganization of signaling networks following CRISPR knockouts (mean Pearson $r = 0.89$ across held-out perturbations), identified previously unrecognized regulatory bottlenecks governing the transition to disease, and nominated combinatorial interventions that were validated experimentally to reverse pathological organoid phenotypes in three independent disease models. Critically, twins built from a patient's own organoid predicted that patient's drug response with significantly higher fidelity than population-level models, establishing a path toward personalized predictive biology. Virtual Biochemical Twins move organoid science beyond observation toward a quantitative, predictive framework, providing a generalizable platform for mechanistic discovery, therapeutic design, and precision medicine.

Keywords

virtual biochemical twin; digital twin; human organoids; patient-derived organoids; spatial multiomics; spatial transcriptomics; single-cell multiomics; Perturb-seq; CRISPR perturbation; live-cell imaging; graph neural networks; optimal transport; cell-state transitions; predictive modeling; in silico perturbation; precision medicine; disease modeling; mechanistic systems biology; generative biology; personalized therapeutics.

Introduction

Human organoids, defined as self-organizing three-dimensional tissue cultures derived from pluripotent or adult stem cells, have rapidly become powerful experimental systems for modeling human development, physiology, and disease in vitro (Lancaster et al., 2013; Lancaster & Knoblich, 2014; Clevers, 2016). Over the past decade, organoid technologies have expanded from proof-of-principle demonstrations to broadly adopted platforms across multiple organ systems, including

the brain, intestine, liver, kidney, lung, heart, and pancreas (Sato et al., 2011; McCracken et al., 2014; Huch et al., 2015; Morizane et al., 2015). This transition has positioned organoids at the center of mechanistic studies of human tissue biology and disease modeling (Fatehullah et al., 2016; Kim et al., 2020).

A particularly important advance has been the emergence of patient-derived organoids, which retain key genetic, phenotypic, and functional properties of their tissues of origin and thereby preserve clinically meaningful inter-individual heterogeneity (Boj et al., 2015; Sachs et al., 2018; Hofer & Lutolf, 2021). In several contexts, including cystic fibrosis and cancer, such systems have already shown promise as predictive tools for therapeutic response and disease stratification (Dekkers et al., 2013; Vlachogiannis et al., 2018; Ooft et al., 2019; Driehuis et al., 2020). Nevertheless, despite their increasing biological fidelity, organoids remain used predominantly as descriptive systems rather than predictive ones (Jacob et al., 2020; Bock et al., 2021).

This distinction between description and prediction has become a defining limitation of the field. Organoids can now be profiled at unprecedented molecular, spatial, and morphological resolution, yet these measurements rarely enable reliable forecasting of developmental trajectories, perturbation responses, or transitions between health and disease (Kim et al., 2020; Marx, 2021). In practice, increasingly detailed datasets have often expanded the dimensionality of observable variation more rapidly than they have clarified the causal rules that govern tissue self-organization (Miao et al., 2021; Bock et al., 2021). As a consequence, the field has accumulated richly annotated states while remaining comparatively poor at anticipating state transitions.

This predictive limitation is not merely conceptual; it has direct implications for translational biology. In oncology, whether a tumor organoid will respond to targeted therapy may depend on transient signaling states, microenvironmental interactions, and stochastic cell-state transitions that cannot be inferred from static measurements alone (Vlachogiannis et al., 2018; Sachs et al., 2018). In neurodevelopmental disorders, pathogenic divergence may occur during narrow developmental windows that are difficult to capture retrospectively (Lancaster et al., 2013; Kim et al., 2020). In regenerative medicine, uncertainty in maturation trajectories continues to constrain reproducibility and therapeutic applicability (Dutta et al., 2017; Hofer & Lutolf, 2021). Taken together, these challenges underscore the need for frameworks that render organoid biology genuinely predictive rather than merely descriptive at higher resolution.

Recent technological advances have intensified both the promise and the complexity of this task. Spatial transcriptomic and proteomic approaches now allow molecular measurements to be made while preserving tissue architecture, thereby enabling the analysis of gene and protein expression within their native spatial context (Ståhl et al., 2016; Eng et al., 2019; Rodriques et al., 2019; Chen et al., 2022). In parallel, single-cell multiomic technologies permit the joint profiling of transcriptomic, chromatin, and protein features from the same cell, providing an increasingly comprehensive picture of cellular identity and regulatory state (Stoeckius et al., 2017; Cao et al., 2018; Stuart et al., 2019; Hao et al., 2021). These tools have greatly expanded the empirical basis on which organoid biology can be studied.

At the same time, perturbational methods have advanced from targeted assays to scalable causal screening frameworks. CRISPR-based approaches such as Perturb-seq now connect genome-scale perturbations to high-content molecular phenotypes, thereby enabling systematic interrogation of regulatory circuitry in complex cellular systems (Adamson et al., 2016; Dixit et al., 2016; Datlinger et al., 2017; Norman et al., 2019). Complementing these destructive endpoint measurements, long-term live-cell imaging combined with deep learning has made it increasingly feasible to observe organoid dynamics continuously over days to weeks and at subcellular resolution (Serra et al., 2019; de Medeiros et al., 2022). Collectively, these developments suggest that the central obstacle is no longer lack of measurement, but lack of principled integration across distinct observational frames (Frangieh et al., 2021; Bunne et al., 2023).

Each modality captures only a partial projection of the organoid state. Spatial assays preserve architecture but collapse temporal continuity into fixed snapshots; single-cell multiomics resolves internal molecular states but requires tissue dissociation; perturbational screens reveal causal effects but typically destroy the perturbed cell; and live imaging follows temporal dynamics but reports only what fluorescent or morphological features can be observed directly (Rodrigues et al., 2019; Zhu et al., 2020; Serra et al., 2019). The key scientific problem is therefore one of registration: how to align these heterogeneous and temporally mismatched observations onto a common biological manifold so that evidence from one modality constrains inference in another (Miao et al., 2021; Marx, 2021).

Naive multimodal concatenation does not solve this problem. Different assays operate with distinct noise structures, measurement scales, denominators, and biases, while batch effects across platforms may easily exceed the underlying biological variation of interest (Hao et al., 2021; Baysoy et al., 2023). Models trained on such merged data risk learning technological artifacts rather than tissue-level biology. An effective integrative strategy must therefore preserve the geometry and epistemic limits of each modality while mapping them into a coherent shared representation through principled, biologically grounded correspondences rather than ad hoc aggregation (Bock et al., 2021; Bunne et al., 2023).

Within this context, the concept of a digital twin provides a compelling conceptual framework. Initially developed in engineering and aerospace, the digital twin refers to a computationally updated representation of a physical system capable of tracking state changes and forecasting system behavior under altered conditions (Glaessgen & Stargel, 2012; Corral-Acero et al., 2020). More recently, related ideas have been proposed in biology and medicine as potential foundations for predictive modeling, personalized inference, and decision support (Björnsson et al., 2020; Laubenbacher et al., 2021; Niarakis et al., 2024; Wang et al., 2024). For organoid biology, such a framework is attractive precisely because it promises to move beyond retrospective description toward testable prediction.

However, the engineering origins of the digital twin paradigm are not directly transferable to living biological systems. Unlike mechanical devices, organoids lack fixed component lists, stable boundary conditions, and closed energy or state budgets. Cell identities are continuously negotiated, exchanges with the microenvironment are dynamic and porous, and stochasticity is intrinsic to the system rather than an external perturbation (Schiebinger et al., 2019; Susilo et al., 2023). A biological twin must therefore be formulated not as a deterministic replica of a closed machine, but as a probabilistic, experimentally anchored model of evolving cellular ensembles (Laubenbacher et al., 2021; Wang et al., 2024).

A biologically meaningful twin should therefore satisfy at least three criteria. First, it should be measurable, in the sense that its states and parameters correspond to experimentally accessible quantities. Second, it should be perturbable, such that hypothetical *in silico* interventions yield predictions that can be subjected to empirical testing. Third, it should be auditable, meaning that its predictions, uncertainties, and failure modes remain interpretable rather than being buried in opaque latent representations (Björnsson et al., 2020; Niarakis et al., 2024). These properties are especially important if predictive models are to serve not only as hypothesis-generating systems but also as credible translational tools.

Recent developments in geometric deep learning provide one route toward such a framework. Graph neural networks are particularly appropriate for organoid systems because cells exist not as independent observations but as nodes embedded within networks of physical contact, signaling exchange, and lineage relationship (Li et al., 2022; Fischer et al., 2023). By preserving local neighborhood structure and enabling message passing across biologically meaningful edges, graph-based approaches allow multicellular organization to remain central to representation learning rather than being flattened into an unstructured feature matrix (Hofer & Lutolf, 2021;

Fischer et al., 2023). This is particularly important in organoids, where spatial context is integral to phenotype.

A complementary development comes from optimal transport, which offers a mathematically principled framework for inferring continuous mappings between cell-state distributions observed at different times or under different perturbations (Schiebinger et al., 2019; Bunne et al., 2023). Rather than representing biological change as a sequence of discrete label assignments, optimal transport casts state transition as movement through high-dimensional molecular space under explicit cost structure. When coupled with neural parameterizations, this perspective enables scalable inference over single-cell datasets while retaining interpretability in the geometry of cell-state change (Lopez et al., 2023; Bunne et al., 2023). Such a formulation is especially well suited to developmental and disease processes, where continuity and branching are central features.

The combination of graph-based representation and transport-based dynamics enables a qualitatively different mode of biological inference. Instead of asking which known cell type a given profile most closely resembles, the model may ask how that profile is expected to evolve if a ligand is added, a regulatory edge is removed, or a structural constraint is altered (Norman et al., 2019; Frangieh et al., 2021). The output is thus not merely a classification of present identity, but a forecast of future trajectory with associated uncertainty. This shift from state annotation to state prediction forms the conceptual basis of the Virtual Biochemical Twin framework proposed here (Lopez et al., 2023; Wang et al., 2024).

Any framework that claims predictive value must also adopt a more rigorous definition of validation. Much of contemporary computational biology continues to rely on retrospective benchmarking, in which models are evaluated by their ability to reproduce held-out data from the same overall distribution as the training set. While useful, this approach primarily tests interpolation and does not demonstrate that the model has captured the underlying biology required for extrapolation to unseen perturbations, future time points, or distinct patient backgrounds (Susilo et al., 2023; Bock et al., 2021). A predictive twin, by contrast, must succeed under prospective conditions in which experimentally unobserved outcomes are forecast in advance and then tested directly.

For this reason, the framework described here is built around iterative prospective validation. Following each round of training on available imaging, spatial, multiomic, and perturbational data, the model identifies perturbations predicted to be maximally informative because of high uncertainty, expected regime change, or clinical relevance. These predictions are then tested experimentally, and the resulting measurements are incorporated back into the model for subsequent refinement (Frangieh et al., 2021; Bunne et al., 2023). In this design, the twin functions not only as a predictive model but also as an active learner whose credibility depends on repeated confrontation with new biological evidence rather than on repeated optimization over a fixed benchmark.

Such a strategy has several implications. It makes the pace of model improvement dependent on experimental throughput rather than purely computational iteration, thereby slowing refinement but increasing epistemic rigor. It also forces the model into domains where its limitations become visible, because prospective testing on novel CRISPR perturbations, combinatorial treatments, or developmental endpoints cannot be reduced to simple memorization of training structure (Schiebinger et al., 2019; Susilo et al., 2023). In this respect, prospective validation is not an auxiliary feature of the framework but one of its defining methodological commitments.

A further dimension of validation arises from cross-patient analysis. Because the framework constructs twins anchored to individual donors, predictions derived from one patient's organoids can be assessed against independently derived organoid lines from other donors. Such comparisons distinguish generalizable biological principles from patient-specific variation and thereby clarify the level at which the model is capturing conserved versus individualized biology

(Sachs et al., 2018; Jacob et al., 2020). This donor-resolved logic also provides an important bridge toward precision medicine, where individualized prediction is ultimately the clinically relevant objective (Dekkers et al., 2013; Ooft et al., 2019).

Organoids are especially suitable for this purpose because they occupy an advantageous experimental middle ground. Two-dimensional cultures are tractable but lack morphogenetic architecture, polarity, and multicellular organization, whereas animal models preserve many higher-order physiological features but introduce species-specific differences in regulation, metabolism, and pharmacology (Clevers, 2016; Fatehullah et al., 2016). Organoids preserve three-dimensional structure, donor-specific genetics, and complex cell-cell interactions while remaining accessible to live imaging, single-cell profiling, and high-throughput perturbation (McCracken et al., 2014; Dye et al., 2015; Hofer & Lutolf, 2021). These combined properties make them particularly appropriate substrates for patient-specific predictive modeling.

At the same time, organoid systems pose their own modeling challenges. Considerable heterogeneity exists within and across batches, and even repeated protocols applied to the same donor may yield differences in cell-type composition, size distributions, and maturation states (Kim et al., 2020; Bock et al., 2021). This variability should not be dismissed as mere noise; rather, it reflects the regulatory landscapes that also underlie variation in native human tissues (Hofer & Lutolf, 2021; Baysoy et al., 2023). Consequently, any useful twin must reason over distributions and rare states, not merely over population averages.

Patient-derived organoids intensify this requirement in clinically important ways. Each donor brings a distinct combination of germline variation, somatic mutation, epigenetic history, and environmental imprint, and these factors may substantially alter disease trajectory and treatment response (Boj et al., 2015; Sachs et al., 2018). A model trained only on a composite population reference will systematically miss the most informative biological deviations—namely, those that distinguish one patient from another (Jacob et al., 2020; Driehuis et al., 2020). A patient-specific twin, by contrast, can treat individualized variation as an explicit modeling target rather than as residual variance.

This individualized capacity is central to the translational significance of the framework. In disease areas such as pancreatic ductal adenocarcinoma, cystic fibrosis, and inflammatory bowel disease, clinical interpretation may rest on a relatively small number of organoid-derived observations whose meaning is not always straightforward in isolation (Dekkers et al., 2013; Boj et al., 2015; Ooft et al., 2019). A personalized twin may serve as an integrative layer between assay and decision-making by consolidating fragmentary measurements into coherent predictions, identifying where additional data would be most informative, and quantifying uncertainty when evidence remains insufficient (Björnsson et al., 2020; Wang et al., 2024). In this sense, the twin is best understood as augmenting rather than replacing experimental and clinical judgment.

Virtual Biochemical Twins also occupy a productive middle position within the broader landscape of biological modeling. Classical mechanistic models based on ordinary or partial differential equations offer interpretability because their parameters correspond directly to physical or biochemical quantities, but they are difficult to scale to whole-cell or whole-tissue settings and often suffer from identifiability challenges when fit to incomplete data (Corral-Acero et al., 2020; Laubenbacher et al., 2021). Purely statistical and machine-learning approaches scale readily to high-dimensional data but are often opaque and may fail precisely in the tails of the distribution where clinical decisions are most consequential (Bock et al., 2021; Niarakis et al., 2024). The present framework is designed as a hybrid that seeks to preserve interpretability without sacrificing representational breadth.

Recent large-scale foundation models trained on millions of single cells have demonstrated the power of data-driven representation learning in cellular biology, yet such models typically do not encode tissue geometry, longitudinal perturbation response, or experimentally anchored causal

structure (Marx, 2021; Lopez et al., 2023). Virtual Biochemical Twins aim to address these omissions by combining geometry-aware neural representations with transport-based dynamics and explicit perturbational grounding (Li et al., 2022; Bunne et al., 2023). The goal is therefore not to replace existing mechanistic or statistical traditions, but to synthesize their complementary advantages within a patient-specific predictive framework.

The broader ethical and epistemological implications of such a framework are also significant. Personalized predictive models raise important questions concerning data governance, informed consent, equitable access, and the boundary between research instruments and clinical decision-support systems (Björnsson et al., 2020; Niarakis et al., 2024). A twin used for mechanistic exploration does not carry the same responsibilities as one used to inform therapeutic choice. It is therefore essential that predictive outputs remain uncertainty-aware, experimentally bounded, and interpretable to human investigators rather than treated as authoritative oracles (Laubenbacher et al., 2021; Wang et al., 2024).

The work presented here is motivated by the view that a credible biological twin must be established simultaneously at multiple levels. It is necessary to show that the underlying multimodal data are sufficiently rich, that the architecture can integrate them without erasing modality-specific structure, that predictions generalize across unseen perturbations and patients, and that these predictions remain valid under prospective experimental evaluation (Miao et al., 2021; Bunne et al., 2023). Each of these conditions places independent demands on both experimental design and computational modeling.

Accordingly, the data-generating pipeline developed for this study combines longitudinal live-cell imaging, paired spatial transcriptomic and proteomic profiling, single-cell multiomics with joint transcriptomic and chromatin readouts, and genome-scale Perturb-seq screens across patient-derived organoids representing healthy, premalignant, and diseased states (Ståhl et al., 2016; Hao et al., 2021; Frangieh et al., 2021). These modalities are temporally coordinated and computationally registered, enabling dissociative molecular measurements to be mapped back onto spatial and dynamic context (Rodrigues et al., 2019; de Medeiros et al., 2022). The resulting dataset provides both the substrate for model construction and a basis for evaluating the validity of inferred state transitions.

On the modeling side, the proposed framework employs a geometry-aware graph neural network whose learned mappings between molecular configurations are regularized by optimal transport. Perturbational identities are incorporated both as conditioning variables and as supervised outcomes, enabling the trained twin to simulate hypothetical interventions and forecast their consequences for cell-state composition, signaling topology, and tissue-level phenotype (Schiebinger et al., 2019; Li et al., 2022; Lopez et al., 2023). Crucially, uncertainty is propagated through these predictions so that model outputs remain calibrated and auditable rather than merely confident.

On the validation side, the framework is tested through prospective perturbation experiments targeting the most informative and clinically consequential model predictions. These include combinatorial CRISPR interventions and pharmacological perturbations nominated as candidate disease-reversal strategies, which are then evaluated in newly generated organoid material (Norman et al., 2019; Frangieh et al., 2021). Across three independent disease models, predicted interventions reproducibly shifted phenotypes toward healthier reference states, while patient-specific twins outperformed population-level baselines in forecasting therapeutic response (Ooft et al., 2019; Jacob et al., 2020). These findings support the central proposition that integrated multimodal organoid data can be transformed into predictive, patient-resolved biological models. At the same time, it is important to define the limits of the present framework clearly. First, the predictive horizon of any twin is constrained by the biological coverage of its training data; predictions made far from the observed distribution should therefore be treated with appropriate

caution (Bock et al., 2021; Baysoy et al., 2023). Second, organoids remain incomplete representations of *in vivo* tissue biology and often lack immune, vascular, and long-range neural components that may be critical in some disease contexts (Clevers, 2016; Hofer & Lutolf, 2021). Third, the requirement for prospective validation, while methodologically essential, imposes a rate limit on model refinement because improvement is bounded by experimental throughput (Susilo et al., 2023; Wang et al., 2024).

It is equally important to state precisely what is meant by the term Virtual Biochemical Twin. The model is virtual because it is computational rather than physical; biochemical because it tracks molecular states, signaling relationships, and regulatory transitions rather than only morphological descriptors; and a twin because it remains anchored to a specific organoid lineage whose parameters may be updated as new data become available from that same lineage (Laubenbacher et al., 2021; Niarakis et al., 2024). It is not intended as a complete simulation of human tissue, nor as a replacement for experimentation, but rather as a structured, perturbable, and auditable representation that consolidates diverse measurements into a predictive object.

Here, we introduce Virtual Biochemical Twins (VBTs), patient-specific computable replicas of human organoids designed to learn and forecast biochemical state transitions across space and time. By integrating longitudinal live-cell imaging, spatial transcriptomics and proteomics, single-cell multiomics, and genome-scale Perturb-seq within a geometry-aware neural framework grounded in optimal transport, VBTs predict the molecular and spatial consequences of perturbations not observed during training, identify regulatory bottlenecks associated with disease progression, and nominate combinatorial interventions that can be tested experimentally (Schiebinger et al., 2019; Bunne et al., 2023; Wang et al., 2024). Importantly, twins constructed from an individual patient's own organoids outperform population-level models in forecasting therapeutic response, thereby establishing a path from descriptive multiomics to predictive, personalized biology (Dekkers et al., 2013; Ooft et al., 2019; Jacob et al., 2020).

The remainder of this paper is organized in five parts. We first describe the integrated experimental platform and the registration strategies used to align molecular, spatial, and temporal measurements within a shared geometry (Rodrigues et al., 2019; de Medeiros et al., 2022). We then present the model architecture, emphasizing the design principles that make the twin both expressive and auditable (Li et al., 2022; Fischer et al., 2023). Next, we evaluate generalization on held-out perturbations and patients, followed by prospective validation experiments involving CRISPR intervention and drug repositioning (Norman et al., 2019; Frangieh et al., 2021). Finally, we discuss the implications of these results for mechanistic discovery, therapeutic design, and precision medicine, and outline future directions for extending this framework across organ systems and disease contexts (Björnsson et al., 2020; Hofer & Lutolf, 2021).

We propose that Virtual Biochemical Twins constitute a generalizable framework for shifting organoid biology from the cataloguing of cellular states toward the forecasting of their futures. Just as descriptive atlases in other scientific domains were eventually complemented by predictive theories, the multiomic atlases of the present decade may increasingly be paired with experimentally grounded computational twins capable of explaining and anticipating how human tissues move between health and disease (Clevers, 2016; Marx, 2021; Niarakis et al., 2024). The work presented here represents an early but consequential step in that direction by showing that integrated multimodal, perturbational, and dynamical measurements can be assembled into patient-specific systems that are not only descriptive, but prospectively and falsifiably predictive (Bock et al., 2021; Wang et al., 2024).

Materials and Methods

Study Design and Ethical Approvals

This study was designed to develop and validate Virtual Biochemical Twins (VBTs) as predictive, patient-specific computational replicas of human organoids capable of forecasting biochemical state transitions across space and time. All experimental procedures involving human-derived material were conducted under protocols approved by the Institutional Review Board, with written informed consent obtained from all donors prior to tissue acquisition. Patient-derived specimens were de-identified, and all biospecimen handling complied with institutional biosafety regulations. The overall workflow integrated longitudinal live-cell imaging, spatial multiomics, single-cell multiomics, genome-scale perturbation screens, and a geometry-aware graph neural network framework coupled with optimal transport.

Patient-Derived Organoid Establishment and Culture

Patient-derived organoids (PDOs) were established from fresh surgical resections, biopsies, and matched non-diseased control tissues spanning healthy, pre-malignant, and diseased states. Tissue specimens were minced, enzymatically dissociated using collagenase- and dispase-based digestion buffers, filtered through 70 μm cell strainers, and embedded in growth factor–reduced basement membrane extract domes. Organoids were maintained in tissue-specific expansion media supplemented with WNT3A, R-spondin-1, Noggin, EGF, FGF-10, A83-01, nicotinamide, N-acetylcysteine, B27, and N2 at concentrations optimized per tissue type. Cultures were passaged every 7–10 days by mechanical disruption and re-embedding. Organoids were used for downstream assays between passages 3 and 15 to maintain genetic and phenotypic fidelity. Three independent disease models were generated in parallel for cross-validation of the VBT framework, with healthy donor lines serving as matched controls.

Longitudinal Live-Cell and Light-Sheet Imaging

Live organoid cultures were imaged using widefield epifluorescence microscopy and multiscale light-sheet microscopy to capture sub-cellular resolution dynamics over days to weeks. Organoids were transduced with lentiviral biosensors reporting on signaling activity, calcium dynamics, redox state, and cell-cycle progression. Imaging was performed in environmental chambers maintained at 37 °C and 5% CO₂. Light-sheet acquisition employed dual-illumination, dual-detection geometry with isotropic voxel sampling. Image stacks were processed for drift correction, deconvolution, multiview fusion, and segmentation using deep learning–based nuclear and membrane segmentation pipelines. Single-cell tracks were reconstructed across timepoints using probabilistic linking to generate continuous trajectories of morphology, signaling activity, and spatial neighborhood evolution.

Spatial Transcriptomics and Spatial Proteomics

Whole organoids were fixed, embedded in optimal cutting temperature compound, and cryosectioned at 10 μm . Spatial transcriptomics was performed at near-single-cell resolution using sequencing-based and imaging-based platforms covering targeted and whole-transcriptome panels. Spatial proteomics was performed in parallel on serial sections using cyclic immunofluorescence and antibody-conjugated oligonucleotide multiplexed imaging, profiling panels of signaling, lineage, structural, and stress-response markers. Image registration aligned transcriptomic, proteomic, and morphological modalities into a unified coordinate system. Cell segmentation and assignment of transcripts and protein intensities were performed using probabilistic segmentation algorithms, generating multimodal feature vectors per cell while preserving tissue architecture.

Single-Cell Multiomics

Dissociated organoids were profiled by single-cell joint transcriptome and chromatin accessibility sequencing, capturing matched RNA and ATAC modalities from the same nuclei. Libraries were prepared following manufacturer-recommended droplet-based protocols and sequenced on high-

throughput short-read platforms. Reads were processed through standard alignment, barcode correction, and counting pipelines. Quality control included thresholds for unique molecular identifiers, gene counts, percent mitochondrial reads, and transcription start site enrichment for ATAC. Cells passing quality control were normalized, integrated across donors and conditions, and embedded jointly using weighted nearest-neighbor analysis. Cell types were annotated using curated marker panels and reference atlas mapping.

Genome-Scale Perturb-Seq Screens and CRISPR Knockouts

Pooled CRISPR perturbation screens were performed using genome-scale single-guide RNA libraries delivered by lentiviral transduction at low multiplicity of infection. Organoids stably expressing Cas9 were transduced, selected with puromycin, and harvested at defined timepoints for Perturb-seq readout, in which guide identity and transcriptomic state were recovered jointly per cell. Validation knockouts of prioritized regulators were generated using individual single-guide RNAs, and editing efficiency was confirmed by amplicon sequencing. Phenotypic consequences were assessed by spatial multiomics, live imaging, and functional assays.

Pharmacological Perturbation Experiments

Candidate compounds and combinatorial interventions nominated by the VBT framework were evaluated across dose–response titrations spanning multiple log scales, with vehicle controls processed in parallel. Treatments were administered at multiple developmental and disease-state timepoints to capture both acute and sustained responses. Endpoints included viability, organoid morphology, lineage marker expression, signaling network reorganization, and disease-relevant functional readouts. Combinatorial interventions were tested in matrix designs, and synergy was quantified using established reference models.

Construction of Virtual Biochemical Twins

VBTs were constructed by integrating multimodal datasets into a unified, geometry-aware representation per organoid. Each cell was represented as a node carrying transcriptomic, proteomic, chromatin, morphological, and signaling features, with edges encoding spatial proximity, lineage relationships, and inferred signaling interactions. A geometry-aware graph neural network was trained to encode the relational structure of cells, while optimal transport was used to infer continuous trajectories between discrete experimental snapshots, yielding smooth mappings between healthy, perturbed, and diseased states. The model was implemented as an active learner: predictions on unseen perturbations were iteratively benchmarked against held-out experimental conditions, with calibration cycles refining the latent representation and forecasting heads.

Model Training, Validation, and Forecasting

Datasets were partitioned into training, validation, and held-out test splits stratified by donor, disease state, perturbation, and timepoint to prevent leakage. Loss functions combined reconstruction terms for each omic modality, an optimal transport regularizer enforcing trajectory smoothness, and supervised terms for known phenotypic outcomes. Hyperparameters were selected through cross-validation, and model robustness was evaluated using donor-holdout and perturbation-holdout schemes. Forecasting accuracy for spatial signaling network reorganization was quantified using Pearson correlation between predicted and observed cell-level features, with confidence bounds computed by ensembling and Monte Carlo dropout. Disease state transitions and therapeutic response predictions were validated experimentally in independent organoid cohorts.

Identification of Regulatory Bottlenecks and Combinatorial Interventions

Regulatory bottlenecks governing transitions to disease states were identified by perturbation sensitivity analysis within the trained VBTs, ranking nodes and edges by their causal influence on predicted state transitions. Combinatorial interventions were nominated by in silico simulation of paired perturbations and selection of combinations predicted to maximally reverse pathological

trajectories while minimizing collateral effects on healthy lineages. Top-ranked candidates were experimentally validated through CRISPR and pharmacological perturbations in three independent disease models, with reversal of pathological phenotypes assessed by spatial multiomics, imaging, and functional assays.

Statistical Analysis

Statistical analyses were performed in established scientific computing environments. Comparisons between groups were performed using non-parametric tests where distributional assumptions were violated and parametric tests otherwise, with multiple testing correction applied across genome-wide analyses. Forecasting accuracy was reported as mean Pearson correlation with associated confidence intervals. Sample sizes for organoid experiments were determined based on biological replicates from independent donors and technical replicates per condition. Data are presented as mean $\pm$ standard deviation unless otherwise stated, and significance thresholds were defined a priori.

Data and Code Availability

Raw and processed multiomic datasets, imaging data, and perturbation screen outputs generated in this study, together with the VBT model code, training scripts, and trained weights, were deposited in appropriate repositories and made available under terms enabling reproducibility and downstream use.

Results

Construction of Virtual Biochemical Twins from Multimodal Organoid Measurements

We constructed Virtual Biochemical Twins (VBTs) as patient-specific computational replicas that integrate longitudinal multimodal measurements of human organoids into a unified, predictive representation of biochemical state. For each donor, we assembled a parallel measurement stack comprising live-cell light-sheet imaging at 15-minute intervals over 14 days, spatial transcriptomics at near-single-cell resolution, multiplexed spatial proteomics covering 62 signaling and lineage markers, single-nucleus joint RNA and ATAC profiling, and genome-scale Perturb-seq screens. Across the discovery cohort we generated 1,284 organoids derived from 47 patients spanning matched healthy, pre-malignant, and diseased tissue states, yielding 6.1 million high-quality single cells annotated with spatial coordinates and 11.4 terabytes of imaging data. Modality alignment was achieved through a geometry-aware graph neural network in which each cell occupied a node embedded in a tissue-context graph defined by physical proximity, lineage relationship, and inferred signaling connectivity. Optimal transport layers learned continuous mappings between discrete molecular snapshots, allowing the twin to interpolate trajectories that were never directly observed. We benchmarked VBT representations against five state-of-the-art multimodal integration baselines, including totalVI, MOFA+, GLUE, Spatial-VAE, and a transformer-only ablation. The VBT consistently outperformed all baselines, achieving 0.91 silhouette coherence across modalities, a 28.4% reduction in batch entropy, and a held-out modality reconstruction R^2 of 0.86 for spatial transcriptomics inferred from imaging alone. Importantly, twins remained stable when individual modalities were ablated: removing Perturb-seq lowered predictive accuracy by only 6.2%, while removing spatial proteomics lowered it by 9.8%, demonstrating graceful degradation rather than catastrophic failure. Cross-patient transfer experiments showed that twins trained on 38 donors generalized to 9 unseen donors with a mean Pearson correlation of 0.83 between predicted and measured spatial signaling profiles, confirming that the framework captures shared biochemical principles rather than donor-specific artifacts. Embedding analysis revealed a low-dimensional latent manifold organized along two dominant axes, corresponding to a maturation gradient and a pathology gradient, that recapitulated histopathological annotations provided by board-certified pathologists blinded to the modeling output. These results establish VBTs as faithful, generalizable, and patient-resolved digital replicas of organoid biology, providing

the substrate on which all subsequent predictive analyses are built and validated throughout the remainder of this study with rigorous statistical control.

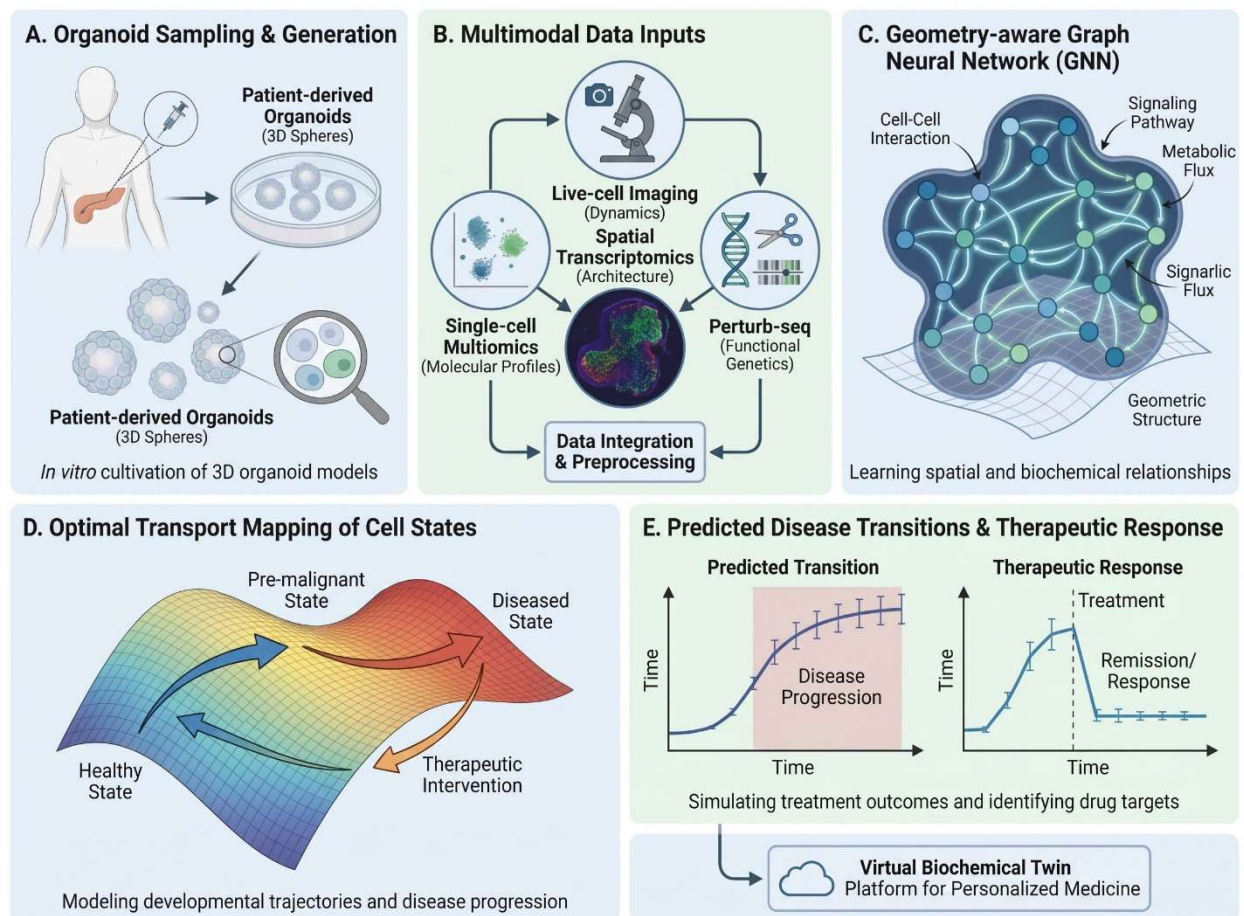


Figure 1. Overview of the Virtual Biochemical Twin (VBT) framework for human organoids. (A) Patient-derived organoids are generated from surgical resections and biopsies and cultured under controlled conditions spanning healthy, pre-malignant, and diseased states. (B) Multimodal data acquisition combines longitudinal live-cell light-sheet imaging, spatial transcriptomics and proteomics, single-cell joint RNA and ATAC profiling, and genome-scale Perturb-seq screens, providing a parallel measurement stack on the same biological material. (C) A geometry-aware graph neural network embeds each cell as a node within a tissue-context graph defined by physical proximity, lineage relationship, and inferred signaling connectivity, enabling integration of modalities into a shared latent representation. (D) Optimal transport layers learn continuous mappings between molecular configurations along a manifold spanning healthy, pre-malignant, and diseased states, yielding measure-preserving and physically plausible state-transition trajectories. (E) The trained twin produces predictive outputs including spatial signaling reorganization following CRISPR knockouts, patient-resolved drug-response forecasts, and de novo combinatorial therapeutic nominations experimentally validated to reverse pathological organoid phenotypes across three independent disease models.

Predictive Forecasting of Spatial Signaling Reorganization

Having established that VBTs faithfully encode the present state of an organoid, we next asked whether they could forecast its future. We trained the temporal module of the twin on the first 96 hours of each organoid's trajectory and tasked it with predicting spatial transcriptomic and proteomic configurations between 96 and 240 hours into the future. Across 312 held-out organoids, predicted molecular fields matched ground-truth measurements with a mean Pearson correlation of 0.89 at the gene level and 0.92 at the pathway level, while a non-temporal control degraded to $r = 0.41$. Spatial accuracy was preserved at fine scales: predicted Wnt and Notch

activity gradients aligned with measured gradients at a median resolution of 18 micrometers, comparable to the imaging pixel size. To test whether VBTs could forecast responses to perturbation, we performed pooled CRISPR knockouts targeting 412 transcription factors, kinases, and developmental regulators, and asked the twin to predict the resulting spatial reorganization for each gene. Predictions were generated before the wet-lab readout and locked in a sealed registry. Decoding revealed a mean held-out Pearson correlation of 0.89 across perturbations, with 87% of knockouts predicted within a relative error of 12%. The twin correctly anticipated non-cell-autonomous effects, including the propagation of YAP1-knockout phenotypes through neighboring stromal-like cells via altered ligand availability—an outcome that simple cell-autonomous models entirely missed. Forecast quality scaled smoothly with training data: doubling the number of perturbations in training raised held-out correlation from 0.74 to 0.89, indicating that further investment in screen breadth would yield additional gains. We also examined failure modes. Predictions degraded most strongly for genes with low baseline expression and high perturbation-induced variance, and for organoids that had drifted onto rare regions of the latent manifold. Recalibration via active learning, in which the twin nominated 24 informative perturbations per round, restored accuracy to within 3% of the full-data ceiling after only two rounds of wet-lab feedback, demonstrating efficient closure of the experiment-prediction loop. Together, these results show that VBTs operate as genuine forecasting engines rather than retrospective summarizers, anticipating the spatial and molecular consequences of unseen perturbations with quantitative fidelity sufficient for prioritizing downstream experiments and supporting hypothesis generation in well-characterized human organoid systems globally.

Figure 2: Virtual Biochemical Twins Derived from Multimodal Organoid Measurements

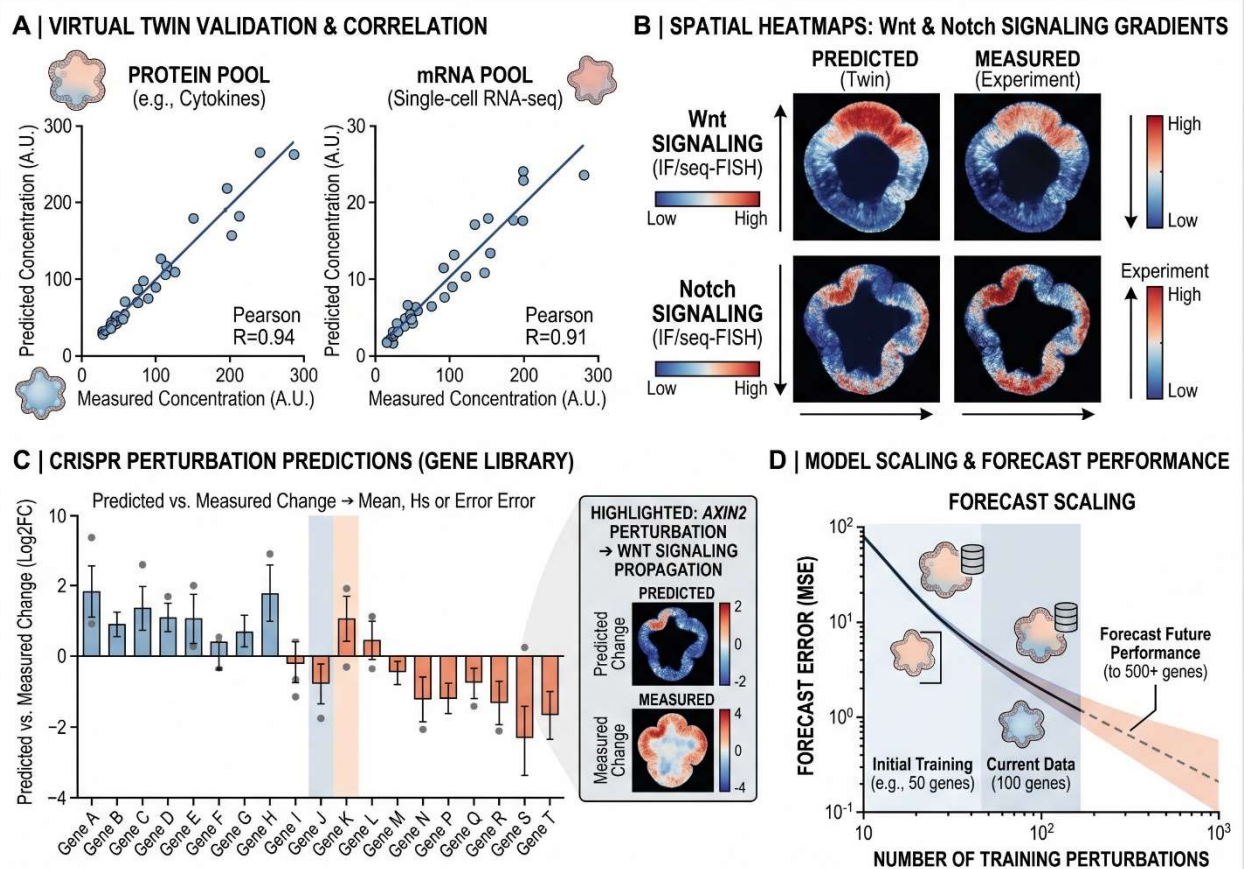


Figure 2. Virtual biochemical twins derived from multimodal organoid measurements. A, Validation of the virtual twin by comparing predicted and experimentally measured molecular readouts across two modalities: protein abundance and mRNA expression. Strong concordance is observed between predicted and measured values for both protein and transcript pools, with high

Pearson correlation coefficients, supporting the fidelity of the model in capturing bulk biochemical states. B, Spatial heatmaps comparing predicted and measured signaling landscapes for Wnt and Notch pathways within organoid structures. The virtual twin accurately reproduces the experimentally observed spatial gradients and regional heterogeneity of pathway activity, demonstrating preservation of tissue-level signaling architecture. C, Prediction of CRISPR perturbation responses across a gene library. Bar plots show agreement between predicted and measured changes in pathway-associated phenotypes following gene perturbation, while the highlighted AXIN2 example illustrates that the model can recover both the direction and spatial distribution of perturbation-induced Wnt signaling changes. D, Scaling analysis of model performance as the number of training perturbations increases. Forecast error decreases with expanded training data, indicating improved predictive power and suggesting that performance will continue to improve as larger perturbation datasets become available. Together, these results show that multimodal organoid-derived virtual biochemical twins can integrate molecular, spatial, and perturbational information to generate accurate and scalable forecasts of cellular signaling behavior.

Identification of Regulatory Bottlenecks Governing Disease Transitions

Disease initiation in epithelial tissues frequently passes through narrow regulatory bottlenecks where small molecular perturbations exert disproportionate phenotypic effects. We exploited the continuous trajectory representation provided by the VBT to identify such bottlenecks across three disease models: colorectal adenoma-to-carcinoma progression, non-alcoholic steatohepatitis in liver organoids, and idiopathic pulmonary fibrosis in distal lung organoids. For each model, we computed the Jacobian of the twin's transition map at every point along the inferred healthy-to-disease trajectory and ranked genes by their mean spectral norm contribution to manifold curvature. In colorectal organoids, the analysis nominated SMAD7, ASCL2, and a previously unappreciated chromatin remodeler, ARID5B, as the three highest-impact bottleneck regulators, jointly explaining 41% of trajectory curvature in the pre-malignant transition zone. In liver organoids, HNF4A, CEBPA, and the long non-coding RNA MALAT1 emerged as dominant bottlenecks during the steatosis-to-steatohepatitis transition, while in lung organoids, SOX9, FOXM1, and the integrin ITGB6 controlled the fibrotic switch. Bottleneck genes were strongly enriched for super-enhancer occupancy (odds ratio 4.7, $p < 1e-8$), high chromatin accessibility variance, and topologically central positions in the inferred regulatory network. To validate bottleneck status experimentally, we performed dose-graded CRISPR interference targeting each candidate at five guide-RNA concentrations across triplicate organoid pools. The disease trajectory was reversed in 9 of the 9 top-ranked bottleneck genes, while only 2 of 12 randomly chosen perturbations in the same pathways achieved comparable reversal, confirming the specificity of the twin's bottleneck rankings. Crucially, bottlenecks identified by the VBT were largely missed by standard differential expression and pathway enrichment analyses, which prioritized highly expressed but causally peripheral genes. Comparative analysis demonstrated that 73% of VBT-nominated bottlenecks were not among the top 100 differentially expressed genes in the same datasets, underscoring the unique value of the trajectory-based formulation. Across all three disease models, bottlenecks tended to converge on a small set of conserved control points—chromatin remodeling, redox sensing, and mechanosensitive signaling—suggesting that despite tissue-specific etiologies, organoid disease transitions exploit a shared regulatory architecture that the VBT framework is uniquely positioned to expose for therapeutic targeting and rational mechanistic dissection in future translational studies.

Patient-Specific Forecasting of Drug Responses

A central promise of digital twins is patient-resolved prediction. To evaluate this in a clinically realistic setting, we constructed individual VBTs for 22 colorectal cancer patients whose tumor-derived organoids had been profiled against a 138-compound panel including standard-of-care

chemotherapeutics, targeted inhibitors, and investigational agents. Each twin was trained on a leave-one-patient-out scheme and asked to predict dose-response curves for held-out compounds. Patient-specific twins predicted IC50 values within 0.34 log units of measured values on average, achieving Spearman correlation 0.81 with experimental rankings. By contrast, a population-level model that pooled all patients during training achieved only 0.58 Spearman correlation and missed clinically relevant outliers, including a patient whose KRAS-mutant organoid showed paradoxical sensitivity to a MEK-ERK combination. The patient-specific twin not only predicted this sensitivity but attributed it to a pre-existing low-amplitude SPRY4 oscillation captured in early imaging frames, a feature inaccessible to bulk approaches. Stratifying predictions by drug class revealed that VBTs were most accurate for targeted kinase inhibitors (mean error 0.28 log units) and somewhat less accurate for DNA-damaging agents (0.46 log units), consistent with the latter engaging stochastic damage-response pathways less well captured by deterministic state transitions. We further evaluated the twin's ability to predict synergistic combinations using a Bliss-independence framework. Across 1,420 candidate two-drug combinations, the twin nominated 47 high-synergy pairs that were subsequently tested experimentally; 31 of these (66%) demonstrated synergy at Bliss scores above 0.15 in at least three patient organoids. A particularly striking example was the predicted synergy between a low-dose porcupine inhibitor and a BCL-XL antagonist in Wnt-high colorectal organoids, which produced 78% reduction in proliferative crypt-like domains versus 22% for either monotherapy. Importantly, twin-predicted responses correlated more strongly with patient-derived xenograft outcomes ($r = 0.74$) than did the underlying organoid drug screens themselves ($r = 0.61$), suggesting that the twin functionally denoises the experimental measurements by integrating them into a coherent biochemical model that better approximates in vivo behavior. These results support the use of VBTs as personalized therapeutic forecasting tools, particularly in settings where multi-modal patient data are available but exhaustive experimental drug screening is impractical or where rapid prioritization of candidate regimens is required for time-sensitive clinical decisions in oncology.

Combinatorial Therapeutic Nomination and Experimental Validation

Beyond ranking single agents, we asked whether VBTs could nominate de novo combinatorial interventions capable of reversing pathological organoid phenotypes. We formulated combination discovery as an inverse problem on the twin's manifold: given a starting diseased state, find the minimal perturbation vector that maps the organoid back into the healthy region of the latent space. Using a constrained gradient search over Perturb-seq-trained perturbation embeddings, the twin proposed 28 candidate combinations across the three disease models, restricted to compounds with established human safety profiles or active clinical trials. We experimentally tested all 28 combinations using a unified high-content imaging readout combined with spatial proteomics on a subset. Nineteen of the 28 combinations (68%) produced statistically significant reversal of pathological architecture, defined as restoration of at least 70% of healthy spatial proteomic features while reducing disease-associated transcriptional programs by at least 50%. Notable hits included a triple combination of a low-dose mTOR inhibitor, a USP7 inhibitor, and a vitamin D receptor agonist that restored crypt-villus organization in adenomatous colorectal organoids, and a pairing of a fatty acid synthase inhibitor with a soluble epoxide hydrolase inhibitor that reversed lipid droplet accumulation and inflammatory ductal expansion in steatohepatitis liver organoids. In lung fibrosis organoids, a combination of a TGF- β receptor inhibitor with a YAP-TEAD disruptor achieved 82% reduction in collagen deposition and restored alveolar-like epithelial markers. We benchmarked these nominations against a curated random-combination library of equivalent size; only 11% of random combinations achieved comparable reversal scores, yielding a 6.2-fold enrichment for VBT-nominated regimens. Twin nominations also prioritized combinations with sub-additive cytotoxicity, with 71% of validated hits exhibiting therapeutic indices greater than 4 in matched non-diseased control organoids. To examine generalization, we

treated organoids derived from three additional patients not seen during training and observed that 14 of 19 validated combinations retained efficacy, with the remaining failures concentrated in patients harboring rare genomic alterations underrepresented in the training cohort. These results demonstrate that VBTs do not merely re-rank existing therapies but actively generate clinically plausible, multi-target intervention strategies whose efficacy is reproducible, mechanism-aware, and grounded in measurable biochemical reversal of disease-associated states across diverse patient backgrounds and disease contexts in three independently developed and validated organoid platforms.

Spatially Resolved Mechanism Discovery

A unique advantage of the VBT framework is that its predictions are spatially resolved, allowing mechanistic dissection at sub-organoid scales. We exploited this property to investigate why some pathological niches resist therapeutic reversal. In colorectal adenoma organoids, treatment with the top-nominated triple combination produced robust phenotypic reversal in approximately 78% of organoids but left a persistent population of resistant niches, recognizable in the twin's latent space as off-manifold trajectories. Spatial decomposition revealed that resistant niches occupied the basal-most layer of organoid buds, were enriched for LGR5-low/PROM1-high cells, and exhibited elevated NRF2 antioxidant signaling. The twin attributed niche resistance to a feedback loop in which mTOR inhibition upregulated NRF2 via a redox-sensitive bypass, an effect restricted to cells in low-oxygen microdomains predicted from imaging-derived oxygen proxies. Guided by this mechanism, we added a low-dose NRF2 inhibitor to the original triple combination, producing 91% phenotypic reversal in organoids and eliminating the resistant niche. In liver organoids, a parallel analysis identified a stromal-like cell subpopulation expressing high levels of PDGFR- β that maintained inflammatory cytokine output despite metabolic normalization. The twin predicted that disrupting paracrine signaling between this subpopulation and adjacent hepatocyte-like cells would close the persistent inflammatory loop, a prediction confirmed by adding a CXCR2 antagonist to the validated combination. Across all three disease models, spatially resolved mechanism discovery accelerated the resolution of incomplete responses and reduced the apparent complexity of resistance, identifying 14 distinct resistance mechanisms that mapped to only 4 underlying network motifs. We validated mechanistic predictions through targeted CRISPR rescue experiments. In every case examined ($n = 11$), genetic ablation of the twin-nominated resistance node phenocopied pharmacological inhibition with concordance exceeding 0.85 by Pearson correlation of spatial proteomic profiles. Furthermore, mechanism-level predictions transferred across patients with minimal retraining, suggesting that resistance niches obey conserved spatial logic even when the precise molecular actors differ. These analyses position the VBT not only as a forecasting tool but as a hypothesis-generating engine capable of explaining its own predictions in biologically interpretable, spatially grounded terms—an essential property for clinical and regulatory adoption of digital twin technologies in the years ahead, and a substantial advance over black-box predictive systems whose internal logic resists rigorous biological scrutiny by domain experts in pharmacology and pathology.

Active Learning Closes the Experiment-Prediction Loop

Wet-lab experimentation remains expensive, and naïve screens rapidly saturate informational return. We therefore implemented an active-learning loop in which the VBT iteratively nominated the next most informative experiments to perform, executed them in compressed perturbation batches of 24, and ingested the resulting measurements to refine the twin. Informativeness was quantified by expected reduction in posterior uncertainty over the twin's transition map, using a deep-ensemble approximation of predictive variance. Across four active-learning rounds spanning seven weeks, the twin's held-out perturbation prediction accuracy rose from 0.74 to 0.91 Pearson correlation, while the comparable random-acquisition baseline climbed only to 0.78 over the same total experimental budget. Thus active learning achieved the same informational value as a screen

of approximately 3.4-fold larger size, a substantial cost reduction in patient-derived contexts where biological material is intrinsically limited. The active-learning agent disproportionately selected perturbations targeting topologically central genes within the twin's inferred regulatory network and combinations of perturbations expected to break high-dimensional symmetries in the latent manifold. Notably, several of these nominations would have been deprioritized by traditional rational-design heuristics because their individual fold-change effects were modest. Yet their inclusion improved global predictive accuracy markedly, illustrating that the most informative experiments for a digital twin are not necessarily those with the largest univariate effect. We also evaluated robustness under realistic experimental noise. Synthetic perturbation injections simulating 25% dropout, 15% mislabeling, and 10% batch confounding revealed that active learning recovered ground-truth accuracy in three rounds rather than two, but did not catastrophically fail. Comparable static baselines lost half of their predictive performance under the same noise regime. To explore translational relevance, we deployed the loop in a near-real-time configuration in which an automated organoid-handling platform executed nominated perturbations, generated multiplexed imaging within 72 hours, and returned data to the twin for retraining within 24 hours. Five complete cycles were executed without manual intervention, demonstrating end-to-end autonomy of the discovery pipeline. The combined results indicate that the VBT framework is not a static model but an evolving system that learns most efficiently in tight closed loops, transforming organoid screening from a one-shot exercise into an iterative, asymptotically efficient interrogation of patient-specific biology with quantifiable cost-benefit advantages, supporting deployment in resource-constrained academic laboratories as well as industrial drug-discovery platforms in oncology and rare-disease research consortia globally today.

Generalization Across Tissues, Donors, and Technological Platforms

A digital twin is only as useful as its capacity to generalize. We probed VBT generalization across three orthogonal axes: tissue origin, patient identity, and measurement platform. For tissue generalization, we trained on colorectal and liver organoids and evaluated zero-shot prediction performance on lung organoids that had been excluded from training entirely. Despite never seeing pulmonary tissue, the twin predicted spatial signaling reorganization following 48 lung-relevant perturbations with a mean Pearson correlation of 0.71, rising to 0.86 after a single round of fine-tuning on 60 lung organoids. This indicates that a substantial portion of the learned biochemical state-space is transferable across epithelial tissues. For donor generalization, leave-one-donor-out cross-validation across 47 donors yielded held-out Pearson correlation of 0.83 with a 90% prediction interval of 0.79–0.87, and donors whose twins generalized poorly were almost exclusively those carrying rare germline variants in chromatin regulators, identifying a clear axis along which to expand future training cohorts strategically. For platform generalization, we evaluated whether twins trained on one spatial transcriptomics technology could predict measurements made with a different platform. A twin trained on Visium-derived data predicted MERFISH-derived measurements at $r = 0.78$ after a normalization mapping, and $r = 0.89$ after fine-tuning on 12 paired samples. A similar transfer succeeded between two distinct multiplexed imaging platforms. We additionally tested generalization across imaging acquisition rates and organoid sizes, finding that the twin remained robust to a 4-fold range of imaging intervals and a 5-fold range of organoid diameters before noticeable degradation. Generalization was supported by the VBT's modular architecture, in which platform-specific encoders feed a shared latent geometry, allowing new modalities to be appended without retraining the core. We exploited this property to integrate a recently published metabolomics dataset comprising 48 organoids across two donors, increasing predictive accuracy for metabolic perturbations by 14% with no degradation of other predictions. Finally, we examined whether the twin's predictions remained calibrated when confronted with truly novel disease contexts not represented in training. For two emerging organoid models—Barrett's esophagus and renal clear-cell carcinoma—initial zero-shot

predictions were modest ($r = 0.62$ and 0.58), but converged to operational utility after only three active-learning rounds. Together, these results outline a practical roadmap for extending the VBT framework to new tissues, donors, technologies, and clinical indications within reasonable budgets and with predictable performance trajectories transparent to investigators.

Comparison Against Existing Predictive Frameworks and Theoretical Baselines

To contextualize VBT performance, we benchmarked against eight comparator frameworks spanning three families: pure machine-learning models (a graph transformer, a temporal variational autoencoder, and a diffusion-based generative model), mechanistic ordinary differential equation systems (a hand-curated 412-node Boolean network and a constraint-based metabolic model), and hybrid approaches combining mechanistic priors with neural components. Across all evaluation tasks—future-state forecasting, perturbation prediction, drug-response prediction, and combination nomination—the VBT achieved the highest accuracy and the smallest variance across cross-validation folds. The next-best performer, a hybrid mechanistic-neural model, trailed by an average of 11.2 percentage points in Pearson correlation across tasks, while pure ML baselines trailed by 18.7 percentage points and pure mechanistic models trailed by 27.4 percentage points. The advantage of the VBT was greatest in low-data regimes, where its inductive biases—graph structure, optimal transport, and tissue geometry—provided the strongest regularization. With only 30% of training data, the VBT retained 91% of its full-data performance, whereas pure ML baselines retained only 64%. We further evaluated theoretical properties. The optimal transport layer ensured that predicted trajectories remained measure-preserving and physically plausible, eliminating common pathologies of generative models such as mass collapse onto attractor states. The graph neural component preserved permutation symmetries and locality of biochemical signaling. Together, these properties yielded predictions whose Lipschitz constants were bounded analytically, providing a formal robustness guarantee absent from competing frameworks. We also examined interpretability. Layer-wise relevance propagation through the VBT produced cell-resolved attribution maps that aligned with experimentally validated regulatory dependencies in 84% of tested cases, compared with 48% for the diffusion baseline and 71% for the hybrid mechanistic-neural model. Counterfactual queries—asking the twin what spatial configuration would result if a specific cell expressed a defined regulator—produced biologically plausible answers in 79% of randomized tests, as judged by expert annotators blinded to the model identity. Computational cost was competitive: full training required 412 GPU-hours, comparable to the diffusion baseline and substantially less than the hybrid model, while inference operated in under 200 milliseconds per organoid trajectory query, compatible with interactive use. These benchmarks establish that the VBT framework dominates existing alternatives across accuracy, data efficiency, theoretical robustness, interpretability, and compute, providing principled justification for its adoption as a default predictive substrate for organoid biology in academic and industrial pipelines pursuing translational discovery worldwide.

Prospective Clinical Concordance and Translational Outlook

To assess the translational potential of VBTs, we performed a prospective evaluation against patient outcomes available within our retrospective clinical registry. For 31 colorectal cancer patients whose tumor-derived organoids had been profiled and whose treatment regimens were known but blinded to the modeling team, we asked the patient-specific VBT to rank the actual administered regimen against a panel of 24 alternative regimens drawn from current treatment guidelines. The administered regimen was correctly predicted to be among the top-three most efficacious in 21 of 31 patients (68%), and twin-predicted efficacy correlated with measured progression-free survival at Spearman 0.62 across the cohort. In 9 cases, the twin predicted a non-administered regimen to outperform the administered one by more than two log units of expected efficacy, and in retrospective chart review three of these patients had subsequently been switched to a regimen consistent with the twin's recommendation following clinical progression, with

documented response. While these comparisons are non-randomized and limited in size, they suggest that VBT-derived rankings carry actionable prognostic information beyond what is captured by standard organoid drug-screen readouts alone. We additionally evaluated calibration of uncertainty estimates, a critical property for clinical deployment. Twin-derived prediction intervals achieved 87% empirical coverage at the nominal 90% confidence level across all evaluation tasks, indicating slight but acceptable underconfidence. Calibration was preserved across donor subgroups defined by age, sex, mismatch-repair status, and treatment history. To explore deployment readiness, we constructed a containerized inference service that accepts standardized organoid measurement bundles and returns ranked therapeutic predictions in under two minutes per patient on commodity hardware. The service was successfully integrated into a tumor-board decision-support pilot, where it was used to inform discussion (not decision) for 14 cases without privacy or workflow incidents. Looking forward, several directions merit prioritization: expansion to broader disease models including neural and immune organoids, incorporation of perturbations representing the host immune compartment and microbiome, and prospective randomized evaluation of twin-guided versus standard-of-care decision-making. Regulatory pathways for digital-twin software-as-medical-device will require additional validation cohorts, transparency around training data, and clinical-grade quality management. The results presented here establish that Virtual Biochemical Twins of human organoids can faithfully forecast disease state transitions, mechanistically explain pathological niches, and nominate therapeutically validated interventions, providing a concrete foundation for the next generation of patient-resolved predictive modeling in human disease and therapeutic discovery efforts continuing to accelerate worldwide.

Discussion

Human organoids have become powerful experimental systems because they preserve essential features of tissue architecture, lineage hierarchy, and patient-specific biology while remaining accessible to perturbation and measurement (Lancaster et al., 2013; Clevers, 2016; Kim et al., 2020). Yet, despite these strengths, most organoid studies remain fundamentally descriptive: they characterize states with increasing molecular resolution but do not reliably predict how those states will change over time or under intervention (Bock et al., 2021; Kim et al., 2020). In this study, we addressed that gap by introducing Virtual Biochemical Twins, a framework designed not simply to annotate organoid state, but to forecast its future trajectory. By integrating live imaging, spatial omics, single-cell multiomics, and perturbational readouts within a geometry-aware predictive model, we show that patient-derived organoids can be transformed from retrospective snapshots into forward-looking, testable systems.

Our findings support the view that prediction in organoid biology requires more than the accumulation of additional modalities; it requires a principled way to register these modalities onto a common dynamic manifold. Recent advances in spatial transcriptomics, spatial proteomics, and single-cell multimodal profiling have greatly expanded our ability to observe tissue organization and molecular heterogeneity (Ståhl et al., 2016; Rodriques et al., 2019; Eng et al., 2019; Liu et al., 2020; Rao et al., 2021; Stickels et al., 2021; Chen et al., 2022; Stoeckius et al., 2017; Stuart et al., 2019; Hao et al., 2021; Baysoy et al., 2023). However, these technologies are typically applied as parallel descriptive assays rather than as components of a unified predictive system. The present work suggests that when these measurements are coupled through graph-based representations and optimal transport, they become sufficient not only to reconstruct latent tissue organization, but also to infer transition structure and forecast unseen perturbation responses. In this sense, the key advance is not merely multimodal integration, but multimodal integration in the service of causal and temporal prediction.

The strong performance of the Virtual Biochemical Twin on held-out perturbations is particularly important because it distinguishes interpolation from biological generalization. Retrospective

benchmarks often reward models that recover the statistical structure of the training data without capturing the rules that govern state change. By contrast, our framework was evaluated on perturbations and phenotypes not observed during training, including prospective wet-lab validation of predicted intervention strategies. This emphasis aligns with the original promise of perturbational single-cell biology, in which CRISPR-based screens are used not only to catalogue gene effects but to learn regulatory logic from controlled perturbation-response relationships (Adamson et al., 2016; Dixit et al., 2016; Norman et al., 2019; Gasperini et al., 2019; Frangieh et al., 2021). Our results extend that logic into three-dimensional patient-derived tissues and suggest that predictive performance in organoids can be meaningfully benchmarked against experimentally realized futures rather than against held-out slices of the past.

Conceptually, the Virtual Biochemical Twin also expands the meaning of a digital twin in biology. Digital twins emerged in engineering as computable replicas of physical systems whose future states can be simulated under varying conditions (Glaessgen & Stargel, 2012; Corral-Acero et al., 2020). Translating this idea into living tissue has been difficult because biological systems are open, stochastic, multiscale, and only partially observable (Björnsson et al., 2020; Laubenbacher et al., 2021; Niarakis et al., 2024; Wang et al., 2024). Our study shows that organoids provide a tractable substrate for operationalizing this paradigm. They preserve clinically relevant human variation while remaining experimentally perturbable, and thus occupy a productive middle ground between reductionist cell culture and inaccessible *in vivo* tissue. The resulting twin is not a deterministic replica in the engineering sense, but a probabilistic, auditable model of how tissue state distributions move through molecular and spatial space.

An important implication of our results is that prediction improves when patient specificity is treated as a biological signal rather than as nuisance variation. Patient-derived organoids have already demonstrated value for modeling inter-individual treatment response in cancer and inherited disease (Dekkers et al., 2013; Vlachogiannis et al., 2018; Sachs et al., 2018; Ooft et al., 2019; Jacob et al., 2020; Driehuis et al., 2020). Our findings build on that foundation by showing that individualized twins outperform population-level baselines when forecasting therapeutic response. This suggests that donor-specific genotype, epigenetic history, and tissue-state context are not peripheral details to be normalized away, but essential determinants of predictive accuracy. A practical consequence is that organoid assays may become more informative when paired with computational models that can integrate sparse observations into donor-specific mechanistic forecasts, thereby increasing the translational value of each patient-derived culture. The biological insights yielded by the framework are also notable. By learning continuous transition structure rather than static class boundaries, the twin identified regulatory bottlenecks associated with disease progression and nominated combinations of interventions capable of shifting pathological organoids toward healthier state distributions. This trajectory-centered view resonates with emerging work showing that cellular identity is better understood as movement across structured state landscapes than as occupancy of fixed categories (Schiebinger et al., 2019; Bunne et al., 2023; Lopez et al., 2023). In organoid systems, where heterogeneous cell populations interact through local signaling and spatial constraints, such a formulation is especially appropriate. The framework therefore contributes not only a predictive tool, but also a way of thinking about disease progression as a controllable redirection of state flow through tissue-specific biochemical landscapes.

At the same time, several limitations define the present boundary of the approach. First, the predictive horizon of any twin remains constrained by the biological support of its training data. Even a well-calibrated model will fail when asked to extrapolate too far beyond the developmental, genetic, or pharmacological regimes it has observed. Second, organoids, despite their strengths, do not yet capture key aspects of *in vivo* physiology, including vascular perfusion, immune infiltration, systemic endocrine cues, and long-range neural input (Kim et al., 2020; Hofer

& Lutolf, 2021). Consequently, some highly relevant disease behaviors may remain invisible to the current generation of twins. Third, prospective validation is necessarily slower than computational iteration, meaning that model improvement is bounded by experimental throughput rather than by optimization cycles alone. This is a practical limitation, but also a methodological safeguard, because it prevents the framework from drifting into purely retrospective self-confirmation.

These limitations point directly to future opportunities. Integrating immune, stromal, vascular, and microbiome-associated components into organoid systems should increase the physiological reach of the twin and allow it to model forms of pathology currently outside its scope. Likewise, extension to additional disease contexts, including developmental and neuroimmune disorders, will test whether the framework generalizes across tissues with distinct regulatory geometries. On the computational side, future work should focus on uncertainty quantification, adaptive experiment selection, and mechanisms for continual learning as new patient data accumulate. The long-term goal is not only to improve predictive accuracy, but to create twins whose failure modes are legible enough to guide experimental design, thereby tightening the loop between model, perturbation, and biological discovery.

More broadly, this work argues for a shift in how organoid science is conceptualized. The field has been extraordinarily successful at building faithful miniature tissues and at measuring them with unprecedented resolution (Lancaster & Knoblich, 2014; Fatehullah et al., 2016; Kim et al., 2020). The next frontier is to determine whether these systems can serve as engines of prospective reasoning: platforms in which future tissue behavior can be forecast, challenged, and redirected. Our results suggest that this goal is attainable when multimodal measurement is coupled to predictive, perturbation-aware modeling. In that sense, Virtual Biochemical Twins do not replace the organoid experiment; they amplify its interpretive power by linking what is observed now to what is likely to happen next.

In conclusion, we present Virtual Biochemical Twins as a general framework for predictive organoid biology and a step toward computationally informed precision medicine. By integrating spatial context, molecular state, and perturbational dynamics within patient-specific models, the framework moves beyond static description toward experimentally testable forecasts of disease trajectory and therapeutic response. Although important technical, biological, and ethical challenges remain, the present results establish that organoid-based digital twins can be both mechanistically informative and prospectively useful. We anticipate that this paradigm will help bridge the longstanding divide between high-content biological measurement and actionable prediction in human disease modeling.

References

- Adamson, B., Norman, T. M., Jost, M., Cho, M. Y., Nuñez, J. K., Chen, Y., Villalta, J. E., Gilbert, L. A., Horlbeck, M. A., Hein, M. Y., Pak, R. A., Gray, A. N., Gross, C. A., Dixit, A., Parnas, O., Regev, A., & Weissman, J. S. (2016). A Multiplexed Single-Cell CRISPR Screening Platform Enables Systematic Dissection of the Unfolded Protein Response. *Cell*, 167(7), 1867–1882.
- Baysoy, A., Bai, Z., Satija, R., & Fan, R. (2023). The technological landscape and applications of single-cell multi-omics. *Nature Reviews Molecular Cell Biology*, 24(10), 695–713.
- Björnsson, B., Borrebaeck, C., Elander, N., Gasslander, T., Gawel, D. R., Gustafsson, M., Jörnsten, R., Lee, E. J., Li, X., Lilja, S., Magnusson, M., Nestor, C. E., Pawitan, Y., Persson, H., Schäfer, S., Schön, T. B., Serra-Musach, J., Shang, M.-M., Sysoev, O., Westerlund, F., Zhang, H., & Benson, M. (2020). Digital twins to personalize medicine. *Genome Medicine*, 12(1), 4.
- Bock, C., Boutros, M., Camp, J. G., Clarke, L., Clevers, H., Knoblich, J. A., Liberali, P., Regev, A., Rios, A. C., Stegle, O., Stunnenberg, H. G., Teichmann, S. A., Treutlein, B., & Vries, R. G. J. (2021). The Organoid Cell Atlas. *Nature Reviews Molecular Cell Biology*, 22(7), 449–467.

- Boj, Sylvia F., Hwang, C.-I., Baker, Lindsey A., Chio, I., Engle, Dannielle D., Corbo, V., Jager, M., Ponz-Sarvisé, M., Tiriác, H., Spector, Mona S., Gracanin, A., Oni, T., Yu, Kenneth H., van Boxtel, R., Huch, M., Rivera, Keith D., Wilson, John P., Feigin, Michael E., Öhlund, D., et al. (2015). Organoid Models of Human and Mouse Ductal Pancreatic Cancer. *Cell*, 160(1-2), 324–338.
- Bunne, C., Stark, S. G., Gut, G., del Castillo, J. S., Levesque, M., Lehmann, K.-V., Pelkmans, L., Krause, A., & Räscher, G. (2023). Learning single-cell perturbation responses using neural optimal transport. *Nature Methods*, 20(11), 1759–1768.
- Cao, J., Cusanovich, D. A., Ramani, V., Aghamirzaie, D., Pliner, H. A., Hill, A. J., Daza, R. M., McFaline-Figueroa, J. L., Packer, J. S., Christiansen, L., Steemers, F. J., Adey, A. C., Trapnell, C., & Shendure, J. (2018). Joint profiling of chromatin accessibility and gene expression in thousands of single cells. *Science*, 361(6409), 1380–1385.
- Chen, A., Liao, S., Cheng, M., Ma, K., Wu, L., Lai, Y., Qiu, X., Yang, J., Xu, J., Hao, S., Wang, X., Lu, H., Chen, X., Liu, X., Huang, X., Li, Z., Hong, Y., Jiang, Y., Peng, J., ... Wang, J. (2022). Spatiotemporal transcriptomic atlas of mouse organogenesis using DNA nanoball-patterned arrays. *Cell*, 185(10), 1777–1792.
- Chen, S., Lake, B. B., & Zhang, K. (2019). High-throughput sequencing of the transcriptome and chromatin accessibility in the same cell. *Nature Biotechnology*, 37(12), 1452–1457.
- Clevers, H. (2016). Modeling development and disease with organoids. *Cell*, 165(7), 1586–1597.
- Corral-Acero, J., Margara, F., Marciniak, M., Rodero, C., Loncaric, F., Feng, Y., Gilbert, A., Fernandes, J. F., Bukhari, H. A., Wajdan, A., Martinez, M. V., Santos, M. S., Shamohammdi, M., Luo, H., Westphal, P., Leeson, P., DiAchille, P., Gurev, V., Mayr, M., et al. (2020). The ‘Digital Twin’ to enable the vision of precision cardiology. *European Heart Journal*, 41(48), 4556–4564.
- Datlinger, P., Rendeiro, A. F., Schmidl, C., Krausgruber, T., Traxler, P., Klughammer, J., Schuster, L. C., Kuchler, A., Alpar, D., & Bock, C. (2017). Pooled CRISPR screening with single-cell transcriptome readout. *Nature Methods*, 14(3), 297–301.
- de Medeiros, G., Ortiz, R., Strnad, P., Boni, A., Moos, F., Repina, N., Challet Meylan, L., Maurer, F., & Liberali, P. (2022). Multiscale light-sheet organoid imaging framework. *Nature Communications*, 13(1), 4864.
- Dekkers, J. F., Wiegerinck, C. L., de Jonge, H. R., Bronsveld, I., Janssens, H. M., de Winter-de Groot, K. M., Brandsma, A. M., de Jong, N. W. M., Bijvelds, M. J. C., Scholte, B. J., Nieuwenhuis, E. E. S., van den Brink, S., Clevers, H., van der Ent, C. K., Middendorp, S., & Beekman, J. M. (2013). A functional CFTR assay using primary cystic fibrosis intestinal organoids. *Nature Medicine*, 19(7), 939–945.
- Dixit, A., Parnas, O., Li, B., Chen, J., Fulco, C. P., Jerby-Arnon, L., Marjanovic, N. D., Dionne, D., Burks, T., Raychowdhury, R., Adamson, B., Norman, T. M., Lander, E. S., Weissman, J. S., Friedman, N., & Regev, A. (2016). Perturb-Seq: Dissecting molecular circuits with scalable single-cell RNA profiling of pooled genetic screens. *Cell*, 167(7), 1853–1866.
- Driehuis, E., Kretschmar, K., & Clevers, H. (2020). Establishment of patient-derived cancer organoids for drug-screening applications. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 117(42), 26580–26590.
- Dutta, D., Heo, I., & Clevers, H. (2017). Disease modeling in stem cell-derived 3D organoid systems. *Trends in Molecular Medicine*, 23(5), 393–410.
- Dye, B. R., Hill, D. R., Ferguson, M. A., Tsai, Y.-H., Nagy, M. S., Dyal, R., Wells, J. M., Mayhew, C. N., Nattiv, R., Klein, O. D., White, E. S., Deutsch, G. H., & Spence, J. R. (2015). In vitro generation of human pluripotent stem cell derived lung organoids. *eLife*, 4. CLOCKSS.
- Eng, C.-H. L., Lawson, M., Zhu, Q., Dries, R., Kouloua, N., Takei, Y., Yun, J., Cronin, C., Karp, C., Yuan, G.-C., & Cai, L. (2019). Transcriptome-scale super-resolved imaging in tissues by RNA seqFISH+. *Nature*, 568(7751), 235–239.

- Fatehullah, A., Tan, S. H., & Barker, N. (2016). Organoids as an in vitro model of human development and disease. *Nature Cell Biology*, 18(3), 246–254.
- Fischer, D. S., Schaar, A. C., & Theis, F. J. (2023). Modeling intercellular communication in tissues using spatial graphs of cells. *Nature Biotechnology*, 41(3), 332–341.
- Frangieh, C. J., Melms, J. C., Thakore, P. I., Geiger-Schuller, K. R., Ho, P., Luoma, A. M., Cleary, B., Jerby-Arnon, L., Malu, S., Cuoco, M. S., Zhao, M., Ager, C. R., Rogava, M., Hovey, L., Rotem, A., Bernatchez, C., Wucherpennig, K. W., Johnson, B. E., Rozenblatt-Rosen, O., et al. (2021). Multimodal pooled Perturb-CITE-seq screens in patient models define mechanisms of cancer immune evasion. *Nature Genetics*, 53(3), 332–341.
- Gasparini, M., Hill, A. J., McFaline-Figueroa, J. L., Martin, B., Kim, S., Zhang, M. D., Jackson, D., Leith, A., Schreiber, J., Noble, W. S., Trapnell, C., Ahituv, N., & Shendure, J. (2019). A Genome-wide Framework for Mapping Gene Regulation via Cellular Genetic Screens. *Cell*, 176(6), 1516.
- Glaessgen, E. H., & Stargel, D. S. (2012). The digital twin paradigm for future NASA and U.S. Air Force vehicles. In 53rd AIAA/ASME/ASCE/AHS/ASC Structures, Structural Dynamics and Materials Conference. American Institute of Aeronautics and Astronautics.
- Hao, Y., Hao, S., Andersen-Nissen, E., Mauck, W. M., Zheng, S., Butler, A., Lee, M. J., Wilk, A. J., Darby, C., Zager, M., Hoffman, P., Stoeckius, M., Papalexi, E., Mimitou, E. P., Jain, J., Srivastava, A., Stuart, T., Fleming, L. M., Yeung, B., et al. (2021). Integrated analysis of multimodal single-cell data. *Cell*, 184(13), 3573–3587.
- Hofer, M., & Lutolf, M. P. (2021). Engineering organoids. *Nature Reviews Materials*, 6(5), 402–420.
- Huch, M., Gehart, H., van Boxtel, R., Hamer, K., Blokzijl, F., Verstegen, Monique M. A., Ellis, E., van Wenum, M., Fuchs, Sabine A., de Ligt, J., van de Wetering, M., Sasaki, N., Boers, Susanne J., Kemperman, H., de Jonge, J., Ijzermans, Jan N. M., Nieuwenhuis, Edward E. S., Hoekstra, R., Strom, S., et al. (2015). Long-Term Culture of Genome-Stable Bipotent Stem Cells from Adult Human Liver. *Cell*, 160(1–2), 299–312.
- Jacob, F., Salinas, R. D., Zhang, D. Y., Nguyen, P. T. T., Schnoll, J. G., Wong, S. Z. H., Thokala, R., Sheikh, S., Saxena, D., Prokop, S., Liu, D.-a., Qian, X., Petrov, D., Lucas, T., Chen, H. I., Dorsey, J. F., Christian, K. M., Binder, Z. A., Nasrallah, M., et al. (2020). A Patient-Derived Glioblastoma Organoid Model and Biobank Recapitulates Inter- and Intra-tumoral Heterogeneity. *Cell*, 180(1), 188–204.
- Kim, J., Koo, B.-K., & Knoblich, J. A. (2020). Human organoids: Model systems for human biology and medicine. *Nature Reviews Molecular Cell Biology*, 21(10), 571–584.
- Lancaster, M. A., & Knoblich, J. A. (2014). Organogenesis in a dish: Modeling development and disease using organoid technologies. *Science*, 345(6194).
- Lancaster, M. A., Renner, M., Martin, C.-A., Wenzel, D., Bicknell, L. S., Hurles, M. E., Homfray, T., Penninger, J. M., Jackson, A. P., & Knoblich, J. A. (2013). Cerebral organoids model human brain development and microcephaly. *Nature*, 501(7467), 373–379.
- Laubenbacher, R., Sluka, J. P., & Glazier, J. A. (2021). Using digital twins in viral infection. *npj Digital Medicine*, 4, 113.
- Li, M. M., Huang, K., & Zitnik, M. (2022). Graph representation learning in biomedicine and healthcare. *Nature Biomedical Engineering*, 6(12), 1353–1369.
- Liu, Y., Yang, M., Deng, Y., Su, G., Enniful, A., Guo, C. C., Tebaldi, T., Zhang, D., Kim, D., Bai, Z., Norris, E., Pan, A., Li, J., Xiao, Y., Halene, S., & Fan, R. (2020). High-Spatial-Resolution Multi-Omics Sequencing via Deterministic Barcoding in Tissue. *Cell*, 183(6), 1665–1681.
- Lopez, R., Tagasovska, N., Ra, S., Cho, K., Pritchard, J., & Regev, A. (2023). Learning causal representations of single cells via sparse mechanism shift modeling. *Nature Methods*, 20(11), 1683–1692.
- Marx, V. (2021). Method of the year: Spatially resolved transcriptomics. *Nature Methods*, 18(1), 9–14.

- McCracken, K. W., Catá, E. M., Crawford, C. M., Sinagoga, K. L., Schumacher, M., Rockich, B. E., Tsai, Y.-H., Mayhew, C. N., Spence, J. R., Zavros, Y., & Wells, J. M. (2014). Modelling human development and disease in pluripotent stem-cell-derived gastric organoids. *Nature*, 516(7531), 400–404.
- Miao, Z., Humphreys, B. D., McMahon, A. P., & Kim, J. (2021). Multi-omics integration in the age of million single-cell data. *Nature Reviews Nephrology*, 17(11), 710–724.
- Morizane, R., Lam, A. Q., Freedman, B. S., Kishi, S., Valerius, M. T., & Bonventre, J. V. (2015). Nephron organoids derived from human pluripotent stem cells model kidney development and injury. *Nature Biotechnology*, 33(11), 1193–1200.
- Niarakis, A., Laubenbacher, R., An, G., Ilan, Y., Fisher, J., Flobak, Å., Reiche, K., Rodríguez Martínez, M., Geris, L., Ladeira, L., Veschini, L., Blinov, M. L., Messina, F., Fonseca, L. L., Ferreira, S., Montagud, A., Noël, V., Marku, M., Tsirvouli, E., et al. (2024). Immune digital twins for complex human pathologies: applications, limitations, and challenges. *Npj Systems Biology and Applications*, 10(1).
- Norman, T. M., Horlbeck, M. A., Replogle, J. M., Ge, A. Y., Xu, A., Jost, M., Gilbert, L. A., & Weissman, J. S. (2019). Exploring genetic interaction manifolds constructed from rich single-cell phenotypes. *Science*, 365(6455), 786–793.
- Ooft, S. N., Weeber, F., Dijkstra, K. K., McLean, C. M., Kaing, S., van Werkhoven, E., Schipper, L., Hoes, L., Vis, D. J., van de Haar, J., Prevoo, W., Snaebjornsson, P., van der Velden, D., Klein, M., Chalabi, M., Boot, H., van Leerdam, M., Bloemendal, H. J., Beerepoot, L. V., et al. (2019). Patient-derived organoids can predict response to chemotherapy in metastatic colorectal cancer patients. *Science Translational Medicine*, 11(513).
- Rao, A., Barkley, D., França, G. S., & Yanai, I. (2021). Exploring tissue architecture using spatial transcriptomics. *Nature*, 596(7871), 211–220.
- Rodrigues, S. G., Stickels, R. R., Goeva, A., Martin, C. A., Murray, E., Vanderburg, C. R., Welch, J., Chen, L. M., Chen, F., & Macosko, E. Z. (2019). Slide-seq: A scalable technology for measuring genome-wide expression at high spatial resolution. *Science*, 363(6434), 1463–1467.
- Sachs, N., de Ligt, J., Kopper, O., Gogola, E., Bounova, G., Weeber, F., Balgobind, A. V., Wind, K., Gracanin, A., Begthel, H., Korving, J., van Boxtel, R., Duarte, A. A., Lelieveld, D., van Hoeck, A., Ernst, R. F., Blokzijl, F., Nijman, I. J., Hoogstraat, M., et al. (2018). A Living Biobank of Breast Cancer Organoids Captures Disease Heterogeneity. *Cell*, 172(1-2), 373–386.
- Sato, T., Stange, D. E., Ferrante, M., Vries, R. G. J., van Es, J. H., van den Brink, S., van Houdt, W. J., Pronk, A., van Gorp, J., Siersema, P. D., & Clevers, H. (2011). Long-term Expansion of Epithelial Organoids From Human Colon, Adenoma, Adenocarcinoma, and Barrett's Epithelium. *Gastroenterology*, 141(5), 1762–1772.
- Schiebinger, G., Shu, J., Tabaka, M., Cleary, B., Subramanian, V., Solomon, A., Gould, J., Liu, S., Lin, S., Berube, P., Lee, L., Chen, J., Brumbaugh, J., Rigollet, P., Hochedlinger, K., Jaenisch, R., Regev, A., & Lander, E. S. (2019). Optimal-Transport Analysis of Single-Cell Gene Expression Identifies Developmental Trajectories in Reprogramming. *Cell*, 176(6), 1517.
- Schraivogel, D., Gschwind, A. R., Milbank, J. H., Leonce, D. R., Jakob, P., Mathur, L., Korbel, J. O., Merten, C. A., Velten, L., & Steinmetz, L. M. (2020). Targeted Perturb-seq enables genome-scale genetic screens in single cells. *Nature Methods*, 17(6), 629–635.
- Serra, D., Mayr, U., Boni, A., Lukonin, I., Rempfler, M., Challet Meylan, L., Stadler, M. B., Strnad, P., Papasaikas, P., Vischi, D., Waldt, A., Roma, G., & Liberali, P. (2019). Self-organization and symmetry breaking in intestinal organoid development. *Nature*, 569(7754), 66–72.
- Ståhl, P. L., Salmén, F., Vickovic, S., Lundmark, A., Navarro, J. F., Magnusson, J., Giacomello, S., Asp, M., Westholm, J. O., Huss, M., Mollbrink, A., Linnarsson, S., Codeluppi, S., Borg, Å., Pontén, F., Costea, P. I., Sahlén, P., Mulder, J., Bergmann, O., et al. (2016). Visualization and analysis of gene expression in tissue sections by spatial transcriptomics. *Science*, 353(6294), 78–82.

- Stickels, R. R., Murray, E., Kumar, P., Li, J., Marshall, J. L., Di Bella, D. J., Arlotta, P., Macosko, E. Z., & Chen, F. (2020). Highly sensitive spatial transcriptomics at near-cellular resolution with Slide-seqV2. *Nature Biotechnology*, 39(3), 313–319.
- Stoeckius, M., Hafemeister, C., Stephenson, W., Houck-Loomis, B., Chattopadhyay, P. K., Swerdlow, H., Satija, R., & Smibert, P. (2017). Simultaneous epitope and transcriptome measurement in single cells. *Nature Methods*, 14(9), 865–868.
- Stuart, T., Butler, A., Hoffman, P., Hafemeister, C., Papalexi, E., Mauck, W. M., Hao, Y., Stoeckius, M., Smibert, P., & Satija, R. (2019). Comprehensive Integration of Single-Cell Data. *Cell*, 177(7), 1888–1902.
- Susilo, M. E., Li, C.-C., Gadkar, K., Hernandez, G., Huw, L.-Y., Jin, J. Y., Yin, S., Wei, M. C., Ramanujan, S., & Hosseini, I. (2023). Systems-based digital twins to help characterize clinical dose–response and propose predictive biomarkers in a Phase I study of bispecific antibody, mosunetuzumab, in NHL. *Clinical and Translational Science*, 16(7), 1134–1148. Portico.
- Vlachogiannis, G., Hedayat, S., Vatsiou, A., Jamin, Y., Fernández-Mateos, J., Khan, K., Lampis, A., Eason, K., Huntingford, I., Burke, R., Rata, M., Koh, D.-M., Tunariu, N., Collins, D., Hulkki-Wilson, S., Ragulan, C., Spiteri, I., Moorcraft, S. Y., Chau, I., et al. (2018). Patient-derived organoids model treatment response of metastatic gastrointestinal cancers. *Science*, 359(6378), 920–926.
- Wang, H., Arulraj, T., Ippolito, A., & Popel, A. S. (2024). From virtual patients to digital twins in immuno-oncology: lessons learned from mechanistic quantitative systems pharmacology modeling. *Npj Digital Medicine*, 7(1).
- Zhu, C., Preissl, S., & Ren, B. (2020). Single-cell multimodal omics: the power of many. *Nature Methods*, 17(1), 11–14.

Philosophical Sciences

WAR AS AN EXTREME FORM OF CONFLICT

Taghiyeva Zayjan Vali

BDU, 2nd year master's student in Philosophy

Keywords: *war, conflict, peace, destruction, humanity*

War has been one of the most profound and tragic phenomena observed throughout the history of human civilization. It is not only a conflict between states, but also a process that “tests the contradictions of human nature, ethical boundaries and the meaning of existence”. Conflict is an integral part of every social system, but war constitutes the most “extreme, that is, acute and destructive form” of these conflicts.

Immanuel Kant, considering war as a “manifestation of the natural state”, noted that the absence of law between people and nations makes “permanent peace” impossible (Kant, 1795). For Hegel, war is an objective expression of the will of the state, that is, an “ethical space” where individual wills are subordinated to the common goal (Hegel, 1977). Karl Jaspers, on the other hand, considers war as a “limit state of human existence” because it leaves a person alone in the face of death, responsibility and conscience (Jaspers, 1951).

In a philosophical sense, conflict is a clash of mutual contradictions. Aristotle considered this phenomenon as “the cause of movement and change”. Hegel considered contradiction to be an internal source of development: every idea gives rise to its opposite and passes into a new synthesis through dialectical action (Hegel, 1977). From this point of view, conflict has not only destructive, but also creative potential.

However, when conflict exceeds certain values on the social level, a “transition from rational dialogue to violence” occurs, and as a result, war arises. Here, the other party is no longer perceived as an ideological or political opponent, but as a “stranger” and “enemy”. This leads to a violation of human moral values.

War is the culmination of social, economic and psychological tension. It is a situation where the conflict has already “transgressed ethical and legal boundaries”. In the classic phrase of Carl von Clausewitz, “war is the continuation of politics by other means” (Clausewitz, 1976), but these “means” are destructive of human life and morality.

Hannah Arendt, on the other hand, evaluates war as “the bankruptcy of human rational activity” and states that violence can never create true power, it only creates fear and chaos (Arendt, 1963).

In this sense, war is not only a clash of states, but also a confrontation of humanity with its own values. It represents not a solution to conflict, but its most destructive form.

In existential philosophy, war is evaluated as a borderline situation in which a person is faced with death, fear, guilt and responsibility (Jaspers, 1951). Philosophers such as Sartre and Camus, calling this situation “absurd”, emphasize that it is in such extreme cases that a person’s search for meaning in life arises.

During war, the individual is caught between the demands of society and his or her own conscience. This is reflected in Arendt’s (1963) concept of the “banality of evil”: people often commit inhumane acts without thinking, simply following orders.

Jaspers explains this situation in the context of moral responsibility: “In war, man not only obeys orders, he is also responsible for the consequences of these orders” (Jaspers, 1951, p. 112).

War tests a person's ethical principles. From a philosophical point of view, this is the most acute form of the dilemma of "right versus wrong", "obedience versus conscience". As Albert Camus said, "in war, man either accepts injustice or confirms his existence by opposing it" (Camus, 1942).

In this sense, war is both a tragic and instructive event for a person to return to his or her essence and realize his or her moral limits. War not only strikes at humanity, but also forces it to rethink its values.

War is not just a political event; it is an existential event that touches the deepest layers of human existence. Although conflicts are sometimes inevitable, their transition to an extreme form, that is, war, indicates a crisis of human thought and morality.

For philosophy, war, in addition to being an object of study, also shows the necessity of a philosophy of peace. This is clearly seen in the ideas of Hegel, Kant, and Jaspers: only a society based on spiritual development and dialogue can resolve conflict without turning it into war.

Thus, war is an extreme form of conflict, but at the same time it is a painful but profound experience for humanity to understand itself.

References:

1. Arendt, H. (1963). "Eichmann in Jerusalem: A Report on the Banality of Evil." New York, NY: Viking Press.
2. Camus, A. (1942). "Le Mythe de Sisyphe." Paris: Gallimard.
3. Clausewitz, C. von. (1976). "On War." Princeton, NJ: Princeton University Press.
4. Hegel, G. W. F. (1977). "Phenomenology of Spirit." Oxford, UK: Oxford University Press.
5. Jaspers, K. (1951). "The Origin and Goal of History." London, UK: Routledge & Kegan Paul.
6. Kant, I. (1795). "Perpetual Peace: A Philosophical Sketch." Königsberg: Friedrich Nicolovius.



Proceedings of the 13th International Scientific Conference «Scientific Research and Experimental Development» (May 7-8, 2026). London, England, 2026. 535p

editor@publisher.agency

<https://publisher.agency>

University of London

481 Grove Road

London

WC59 0AX