

ISSN 1563-0234
eISSN 2663-0397

ӘЛ-ФАРАБИ атындағы ҚАЗАҚ ҰЛТТЫҚ УНИВЕРСИТЕТІ

ХАБАРШЫ

География сериясы

КАЗАХСКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ имени АЛЪ-ФАРАБИ

ВЕСТНИК

Серия географическая

AL-FARABI KAZAKH NATIONAL UNIVERSITY

JOURNAL

of Geography and Environmental Management

№4 (79)

Алматы
«Қазақ университеті»
2025



KazNU Science • ҚазҰУ Ғылымы • Наука КазНУ

ХАБАРШЫ

ГЕОГРАФИЯ СЕРИЯСЫ №4 (79) желтоқсан

ISSN 1563-0234
eISSN 2663-0397



04.05.2017 ж. Қазақстан Республикасының Мәдениет, ақпарат және қоғамдық келісім министрлігінде тіркелген

Қуәлік №16502-Ж.

Журнал жылына 4 рет жарыққа шығады

ЖАУАПТЫ РЕДАКТОР

Қайранбаева Г.К., PhD, аға оқытушы
(Қазақстан)
e-mail: vestnik.kaznu.geo@gmail.com

РЕДАКЦИЯ АЛҚАСЫ:

Қалиасқарова З.К., Г.Ғ.К., доцент – ғылыми редактор
(Қазақстан)
Рысмағамбетова А.А., PhD, доцент м.а. – ғылыми редактордың орынбасары (Қазақстан)
Асқарова М.А., Г.Ғ.Д., профессор (Қазақстан)
Плохих Р.В., Г.Ғ.Д., профессор м.а. (Қазақстан)
Бексентова Р.Т., Г.Ғ.Д., профессор (Қазақстан)
Нысанбаева А.С., Г.Ғ.К. (Қазақстан)
Ивкина Н.И., Г.Ғ.К., доцент (Қазақстан)
Родионова И.А., Г.Ғ.Д., профессор (Ресей)
Béla Márkus (Белла Маркус) профессор (Венгрия)

Fernandez De Arroyave Pablo (Фернандес Де

Арройеб Пабло), профессор (Испания)
Шмелев Станислав, PhD (Ұлыбритания)
Мазбаев О.Б., Г.Ғ.Д., профессор (Қазақстан)
Сальников В.Г., Г.Ғ.Д., профессор (Қазақстан)
Шокпарова Д.К., PhD, доцент м.а. (Қазақстан)
Христиан Опп, профессор (Германия)
Базарбаева Т. А., Г.Ғ.К., доцент (Қазақстан)
Каратаев М.А., PhD (Австрия)
Dolly Priatna (Долли Приатна), PhD (Индонезия)

ТЕХНИКАЛЫҚ РЕДАКТОР

Алимсентова Ж.К. (Қазақстан)

Тақырыптық бағыты: қоршаған орта туралы ғылымдар, география, метеорология, гидрология, туризм, экология, геодезия, картография, геоақпараттық жүйелер, жерді қашықтан зондылау.



Ғылыми басылымдар бөлімінің басшысы

Гульмира Шахкозова
Телефон: +7 747 125 6790
E-mail: Gulmira.Shahkozova@kaznu.kz

ИБ №

Пішімі 60x84/8. Көлемі 00,0 б.т. Тапсырыс № .
Әл-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университетінің
«Қазақ университеті» баспа үйі.
050040, Алматы қаласы, Әл-Фараби даңғылы, 71.

Баспа журналдың ішкі мазмұнына жауап бермейді.

© Әл-Фараби атындағы ҚазҰУ, 2025

1-бөлім

**ФИЗИКАЛЫҚ, ЭКОНОМИКАЛЫҚ
ЖӘНЕ ӘЛЕУМЕТТІК ГЕОГРАФИЯ**

Section 1

**PHYSICAL, ECONOMIC
AND SOCIAL GEOGRAPHY**

Раздел 1

**ФИЗИЧЕСКАЯ, ЭКОНОМИЧЕСКАЯ
И СОЦИАЛЬНАЯ ГЕОГРАФИЯ**

Н.Е. Рамазанова , Г.Н. Даметова* , А.Е. Аяпбекова ,
Ж.М. Карагойшин , М.А. Алагуджаева , С.Т. Токсанбаева 

Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті, Астана, Қазақстан

*e-mail: gulnazdametova@mail.ru

ТЕРІСАҚҚАН ӨЗЕНІ АЛАБЫНДАҒЫ ТОПЫРАҚ ШАЙЫЛУЫН БАҒАЛАУДА ЖАУЫН-ШАШЫН ҚАРҚЫНДЫЛЫҒЫ КОЭФФИЦИЕНТІНІҢ (R-ФАКТОРДЫҢ) РӨЛІ

Қазіргі таңда топырақ эрозиясына (шайылуына) байланысты топырақ деградациясы өзекті экологиялық мәселелердің бірі болып отыр. Бұл процестің ауқымын нақты бағалау және алдын алу шараларын әзірлеу аса маңызды. Топырақ эрозиясы – табиғи және антропогендік факторлардың өзара әрекеттесуінен туындайтын күрделі процесс. Ол жердің құнарлылығын төмендетіп, ауыл шаруашылығына және ұлттық экономикаға үлкен зиян келтіреді. Шығу тегіне қарай топырақ эрозиясы екі түрге бөлінеді: жел эрозиясы (дефляция) және су эрозиясы (шайылу). Атмосфералық жауын-шашынның көп мөлшері мен жоғары қарқындылығы – су эрозиясын күшейтетін негізгі факторлардың бірі.

Осы зерттеудің мақсаты – Терісаққан өзені алабындағы жауын-шашын қарқындылығы коэффициентінің (R-фактордың) кеңістіктік таралуын анықтап, оның топырақ шайылуын сандық бағалаудағы рөлін айқындау. Бұл мақсатқа жету үшін геоақпараттық жүйе (ГАЖ) әдістері пайдаланылды: жауын-шашын бойынша метеодеректер интерполяцияланып, алаптың аумағы бойынша R-фактордың мәндері есептелді.

Терісаққан өзенінің алабы шығыстан батысқа қарай шамамен 130 км, ал оңтүстіктен солтүстікке қарай 239 км созылып жатыр. Оның оңтүстік бөлігі – төбелі аймақ, ал солтүстік жағы – жазық, сондықтан жауын-шашын мөлшері оңтүстіктен солтүстікке қарай кемиді. Солтүстік-шығыс бөлігінде жауын-шашын мөлшері 302–325 мм болса, оңтүстік бөлігінде 137–176 мм шамасында. Есептелген R-фактор көрсеткіштері де осы заңдылықты көрсетеді: солтүстік-шығыста – 151–162, ал оңтүстікте – 68–88 аралығында. Бұл көрсеткіштер жауын-шашын қарқындылығының су эрозиясының дамуына шешуші әсер ететінін дәлелдейді, әсіресе майда құрылымды топырақтар мен желді аймақтарда. Зерттеудің ғылыми маңызы-осы аумақ бойынша R-факторды есептеу арқылы топырақ эрозиясының кеңістіктік заңдылықтарын нақтылау болса, практикалық мәні – эрозия қаупі жоғары аймақтарды анықтап, тиімді қарсы шараларды жоспарлауға мүмкіндік беруінде.

Түйін сөздер: өзені алабы, R-фактор, жауын шашын мөлшері, географиялық ақпараттық жүйе, эрозия үрдісі, интерполяция.

N.Y. Ramazanova, G.N. Dametova*, A.E. Ayapbekova,
Z.M. Karagoishin, M.A. Alagudzhayeva, S.T. Toxanbayeva

L.N. Gumilyov Eurasian National University, Astana, Kazakhstan

*e-mail: gulnazdametova@mail.ru

The role of the rainfall intensity coefficient (R-factor) in assessing soil erosion in the Terisakkan river basin

Currently, soil degradation caused by erosion (runoff) is a pressing issue that requires accurate assessment of its scale and the development of effective preventive measures. Soil erosion is a complex natural-anthropogenic process that leads to the loss of land fertility and causes significant damage to agriculture and the economy. According to its origin, soil erosion is divided into two main types: wind erosion (deflation) and water erosion (runoff). High intensity and heavy precipitation are key factors that accelerate water erosion.

The goal of this study is to determine the spatial distribution of the rainfall intensity coefficient (R-factor) and evaluate its role in the quantitative assessment of soil runoff in the Terisakkan River Basin. To achieve this, GIS technologies were used: interpolation of meteorological precipitation data allowed the calculation of R-factor values across the basin area.

The Terisakkan River Basin extends approximately 130 km from east to west and 239 km from south to north. The southern part is located in a low mountainous zone, while the northern part lies in a flat area. As a result, precipitation decreases from south to north. Maximum rainfall values (302–325 mm/

year) were recorded in the northeastern part, while the minimum values (137–176 mm/year) were observed in the south. The calculated R-factor distribution reflects this pattern: maximum values (151–162) are found in the northeast, and minimum values (68–88) in the south of the basin. This confirms the crucial role of the R-factor in the development of water erosion processes, especially in areas with fine-grained soils and strong winds. The scientific significance of the study lies in clarifying spatial patterns of soil erosion based on R-factor calculations for this territory, and its practical value is in identifying high-risk zones and planning effective anti-erosion measures.

Keywords: river basin, R-factor, precipitation, geographic information system, erosion process, interpolation.

Н.Е. Рамазанова, Г.Н. Даметова*, А.Е. Аяпбекова,
Ж.М. Карагойшин, М.А. Алағуджаева, С.Т. Токсанбаева
Евразийский национальный университет им. Л.Н. Гумилева, Астана, Казахстан
*e-mail: gulnazdametova@mail.ru

Роль коэффициента интенсивности осадков (R-фактора) в оценке смыва почвы в бассейне реки Терисаккан

В настоящее время проблема деградации почв вследствие эрозии (смыва) стоит весьма остро, что требует точной оценки масштабов этого процесса и разработки эффективных профилактических мер. Почвенная эрозия является сложным природно-антропогенным процессом, который приводит к потере плодородия земель и наносит существенный ущерб сельскому хозяйству и экономике. По происхождению различают два основных вида эрозии почв: ветровой (дефляция) и водный (смыв). Высокая интенсивность и большое количество атмосферных осадков – один из ключевых факторов, ускоряющих процессы водной эрозии.

Цель данного исследования – определить пространственное распределение коэффициента интенсивности осадков (R-фактора) и оценить его роль в количественной оценке смыва почвы в бассейне реки Терисаккан. Для достижения этой цели использованы методы геоинформационных систем: выполнена интерполяция метеорологических данных об осадках, что позволило рассчитать значения R-фактора по территории бассейна.

Бассейн Терисаккан протягивается примерно на 130 км с востока на запад и на 239 км с юга на север. Южная его часть представлена низкогорьем, а северная – равниной, вследствие чего количество осадков распределяется неравномерно: в северо-восточных районах выпадает до 302–325 мм в год, тогда как в южных – лишь порядка 137–176 мм/год. Распределение рассчитанного R-фактора отражает эту тенденцию: максимальные значения (151–162) наблюдаются на северо-востоке, а минимальные (68–88) – на юге бассейна. Таким образом, подтверждается решающая роль коэффициента интенсивности осадков (R-фактора) в развитии процессов водной эрозии: в областях с обильными дождями эрозионный смыв наиболее интенсивен, особенно на мелкодисперсных почвах при сильных ветрах. Научная значимость работы заключается в уточнении пространственных закономерностей почвенной эрозии на основе расчетов R-фактора для данной территории, а практическая ценность – в возможности использования полученных результатов для выявления зон повышенного риска смыва и планирования эффективных противоэрозионных мер.

Ключевые слова: речной бассейн, R-фактор, количество осадков, географическая информационная система, процесс эрозии, интерполяция.

Кіріспе

Әлемдік тәжірибе көрсеткендей, судың әсерінен болатын топырақ эрозиясы – жер бедерінің деградациясының ең маңызды факторы болып табылады. Адамзат қызметі топырақ эрозиялық процестерді жеделдетіп, олардың қарқындылығын арттырғаны анықталуда. Мысалы, Poesen (2018) және әріптестері өткен ғасырда топырақ эрозиясының айтарлықтай ұлғаюын көрсеткен, ал Боррелли және т.б. (2021) осы үрдіс әлемдік сипатқа ие екенін атап көрсеткен. Сол себепті қазіргі кезеңде топырақ ресурстарын сақтау, ба-

қылау және болжау экожүйені тұрақты дамыту үшін ерекше маңызға ие.

Қазақстанда 2021 жылғы ресми деректер бойынша егістік алқабы 214 191,9 мың гектарды құрайтын болса, оның шамамен 11,3%-ында топырақ эрозиясы байқалады. Бұл көрсеткіштер өңірлік деңгейде экологиялық және экономикалық маңызы бар проблемаларды көрсетеді. Биіктік және көлбеу мөлшері, жауын-шашын мөлшері мен қарқындылығы, қар мен аяздың балансы, өсімдік қорының сипаты, сонымен бірге адам қызметінің қарқындылығы топырақ эрозиясына тікелей әсер ететін негізгі факторлар болып саналады.

Қазақстанның көптеген өңірлерінде және көрші елдерде топырақ эрозиясын бағалау мәселесі зерттелуде (мысалы, Рамазанова және т.б., 2020, 2022; Kaliyeva және т.б., 2024). Атап айтқанда, Рамазанова мен әріптестері 2020 ж. Жайық өзенінде RUSLE қолдана отырып топырақ шығынын карталады, ал 2022 ж. Экологиялық зерттеулерде Эмбулатовка алқабында эрозия мен рекреация арасындағы байланысты талдады. Осы заманғы және классикалық әдістердің ортақ қортындысы – жауын-шашынның кеңістіктік сипаты мен R-фактордың жерге қатысты өзгеруі топырақ эрозиясын болжау үшін шешуші болып табылады. Бұл зерттеудің мақсаты – Терісаққан өзені алабында ГИС негізінде R-факторды интерполяциялау арқылы топырақ эрозиясының деңгейін бағалау әдісін дамыту болып табылады.

Бүгінгі таңда топырақ эрозиясын бағалау мен болжау үшін қолданылатын ең танымал математикалық модельдер мыналар:

- USLE – әмбебап топырақ жоғалту теңдеуі (Wischmeier & Smith, 1978);
- RUSLE – қайта қаралған әмбебап теңдеу (Renard & Freimund, 1994);
- MUSLE – ағын суларды есепке алатын модификацияланған теңдеу (Williams, 1975);
- WEPP – су эрозиясын болжау жобасы (Foster & Lane, 1987);
- AGNPS – нүктелік емес ластану көздерін модельдеу жүйесі (Young et al., 1989).

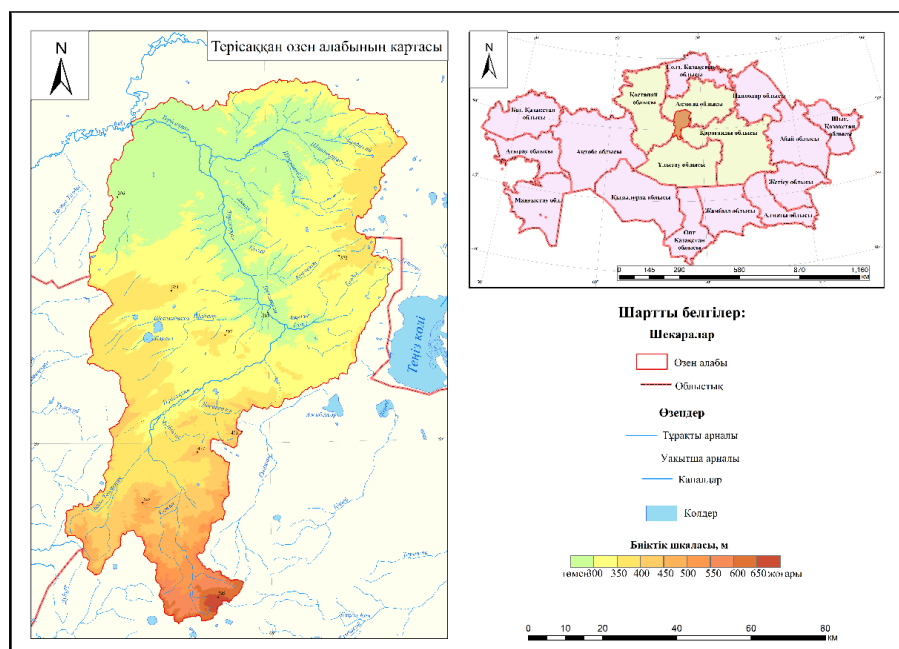
Бұл модельдер қашықтан зондтау (RS) және геоақпараттық жүйелермен (ГИС) бірге қолданылғанда жоғары нәтижелер береді. Мәселен, Маханова және әріптестері (2023) Жыланды өзенінің алабында RUSLE моделін пайдаланып, эрозиялық қауіпті аудандарды ArcGIS көмегімен анықтаған. Ал Тоқсанбаева (2024) Нұра өзенінің бассейнінде USLE моделін ГИС негізінде қолдана отырып, эрозияның кеңістіктік таралуын сипаттаған.

Халықаралық деңгейде Borrelli және басқалары (2021) мен Wang J. (2024) топырақ эрозиясын модельдеудің жаһандық әдістерін жүйелеп, олардың тиімділігі мен қолдану саласын талдаған. Ал Filchev & Kolev (2023) геоақпараттық және жасанды интеллект (AI) әдістерінің көмегімен эрозия тәуекелін болжаудың жаңа бағыттарын ұсынған.

Жауын-шашын қарқындылығының (R-фактордың) топырақ шайылуына әсері ерекше маңызды. Әрбір аймақ үшін бұл көрсеткіш ArcGIS немесе басқа геоақпараттық платформалар арқылы сандық түрде есептеліп, эрозияның кеңістіктік заңдылықтарын анықтауға мүмкіндік береді.

Зерттеу материалдары мен әдістері

Терісаққан өзені – Қазақстандағы өзен, Ертіс алабына кіретін Есілдің сол жақтағы және ең ұзын саласы. Қазақстан Республикасының Есіл су шаруашылығы алабына жатады.



1-сурет – Терісаққан өзен алабының физикалық-географиялық орны

Қазақстан Республикасының Есіл су шаруашылығы алабына жатады. Өзен ұзындығы – 334 км, су жиналу алабының ауданы – 19 500 км². Ұлытау тауының солтүстік-шығыс сілемдерінен, Бақаншайыншақ тауының етегінен, шамамен 680 м биіктікте бастау алады. Ертіс алабының Есіл өзеніне сол жағынан, Ақмола облысының Көксай ауылы маңында, шамамен 246 м биіктікте құяды. Өзеннің жалпы бағыты оңтүстіктен солтүстікке қарай созылады. Жоғарғы ағысында аңғары тар (3–5 км), орта және төменгі ағысында аңғар кеңейіп, жазық далаға шығады. Негізгі салалары: сол жақтан – Үлжан, Бала-Терісаққан, Шабдар; оң жақтан – Ащылы, Көкпекті, Шапанқарасу. су жинау торабы әлсіз дамыған, себебі аймақтың климаты құрғақ және континенталды.

Зерттеу әдісі

Жауын-шашын кезінде жүретін топырақ эрозиясы әдетте қысқа мерзімді сипатқа ие болады және оның ұзақтығы минуттармен немесе сағаттармен өлшенеді. Алайда мұндай процестердің нәтижесінде шайылған топырақтың мөлшері қар еруінен болатын эрозиямен салыстырғанда әлдеқайда көп болуы мүмкін, кей жағдайда бір гектар аумақтан ондаған тоннаға дейін жетеді.

Шайылу көлемі тек су ағынының параметрлеріне ғана емес, сонымен қатар жаңбыр тамшыларының мөлшері мен массасына да тікелей байланысты. Тамшылардың массасы мен жылдамдығы артқан сайын олардың топыраққа әсер ететін кинетикалық энергиясы да күшейеді. Тамшы топырақ бетіне соғылғанда, ол бөлшектерді ұсақтап, шашырау арқылы топырақтың құрылымын бұзады. Бұл бөлшектердің бір бөлігі топырақ бетіне қайта түспей, уақытша су ағындарымен бірге тасымалданады. Сонымен қатар, жаңбыр тамшылары ағын суға түсіп, турбуленттілікті күшейтіп, эрозиялық және тасымалдау қабілетін арттырады (Рамазанова 2022)..

Қар еруінен туындайтын эрозиялық процестер жаңбыр әсерінен болған эрозияға қарағанда баяу өтеді, бірақ ұзақ уақытқа созылады. Қардың жылдам еруі кезінде топырақ жоғалту көлемі орта есеппен бір гектарға бірнеше тоннаға жетуі мүмкін (Д. И. Щеглов, Н. С. Горбунова, 2011: 3–4). Топырақтың шайылуы оның құрылымдық және физикалық қасиеттерінің әлсіреуіне әкеледі. Егер беттік шайылуға қарсы шаралар қолданылмаса, уақыт өте келе эрозияның терең-

дігі 20–30 см-ге дейін жетуі мүмкін (Рамазанова, 2016: 30).

Топырақ эрозиясын есептеу барысында жауын-шашын қарқындылығы, жер бедерінің еңістігі және басқа да факторлар ескерілмеген жағдайда нәтижелер дәл болмайды. Сол себепті көптеген мемлекеттерде эрозиялық процестердің интенсивтілігін есептеу үшін Wischmeier мен Smith ұсынған эмбебап формула кеңінен қолданылады:

$$A = R \times K \times L \times S \times C \times P \quad (1)$$

мұнда:

A – топырақтың орташа жылдық эрозиясының болжамды мөлшері;

R – жауын-шашын қарқындылығы (эрозияның энергетикалық факторы);

K – топырақтың эрозиялық тұрақтылық коэффициенті;

L – көлбеу ұзындығының коэффициенті;

S – еңістік дәрежесінің коэффициенті;

C – өсімдік жамылғысы мен топырақты өңдеу тәсілінің коэффициенті;

P – эрозияға қарсы қолданылған шаралардың тиімділік коэффициенті.

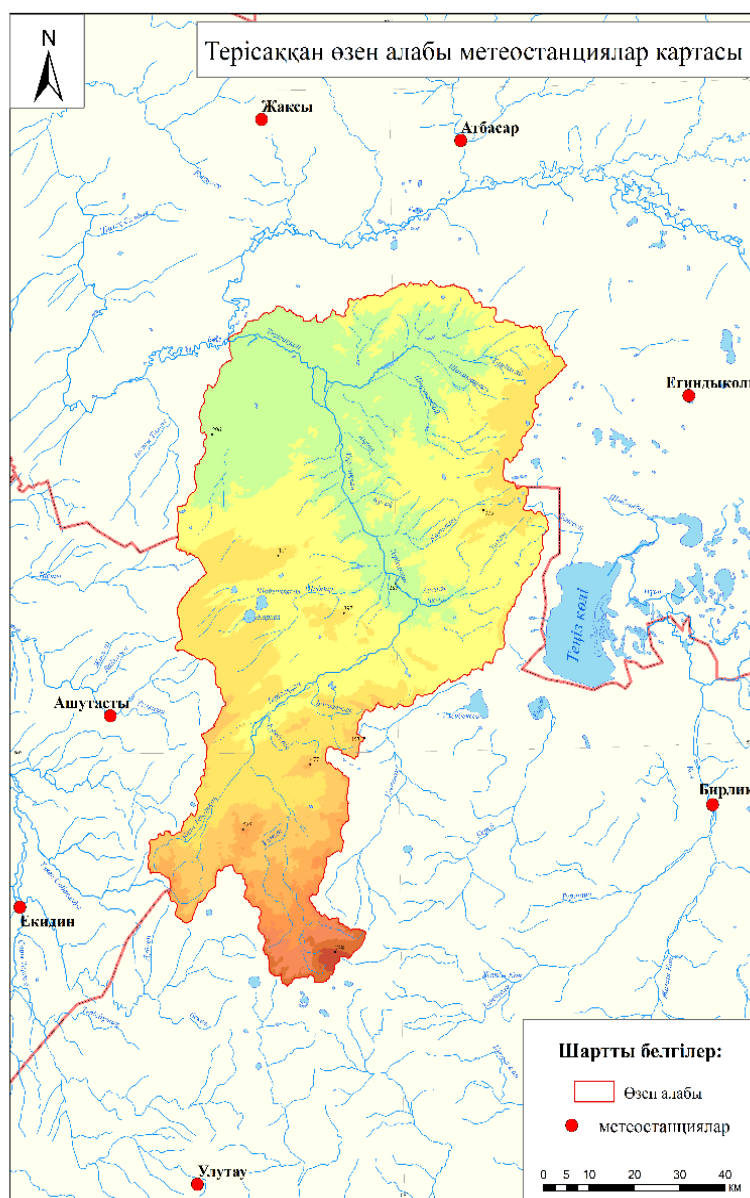
Бұл формула топырақ эрозиясының көлемін сандық түрде бағалауға және әр аймақтың табиғи ерекшеліктеріне қарай салыстырмалы талдау жүргізуге мүмкіндік береді. Әсіресе R-факторы маңызды, өйткені ол белгілі бір аумақтағы ылғалдылық пен жауын-шашынның қарқындылығын сипаттайды.

ArcGIS секілді геоақпараттық жүйелерде (ГАЗ) бұл көрсеткіштерді анықтау үшін интерполяция әдістері қолданылады. Интерполяция – белгілі бір параметрдің (мысалы, жауын-шашын мөлшерінің) аралық мәндерін анықтауға мүмкіндік беретін математикалық-статистикалық тәсіл. Осы әдіс арқылы кеңістіктегі нүктелік деректер негізінде жауын-шашынның таралу карталары жасалады. ArcGIS ортасында R-факторды есептеу бірнеше қарапайым қадам арқылы жүзеге асады: бастапқы метеорологиялық деректер енгізіледі, кеңістіктік интерполяция жүргізіледі, нәтижесінде жауын-шашынның қарқындылық индексі сандық түрде анықталады. Осылайша алынған деректер топырақ эрозиясын болжау мен картографиялауда жоғары дәлдік береді және ауыл шаруашылығын жоспарлау, эрозияға қарсы шараларды жобалау ісінде кеңінен қолданылады (Ranzi 2012)..

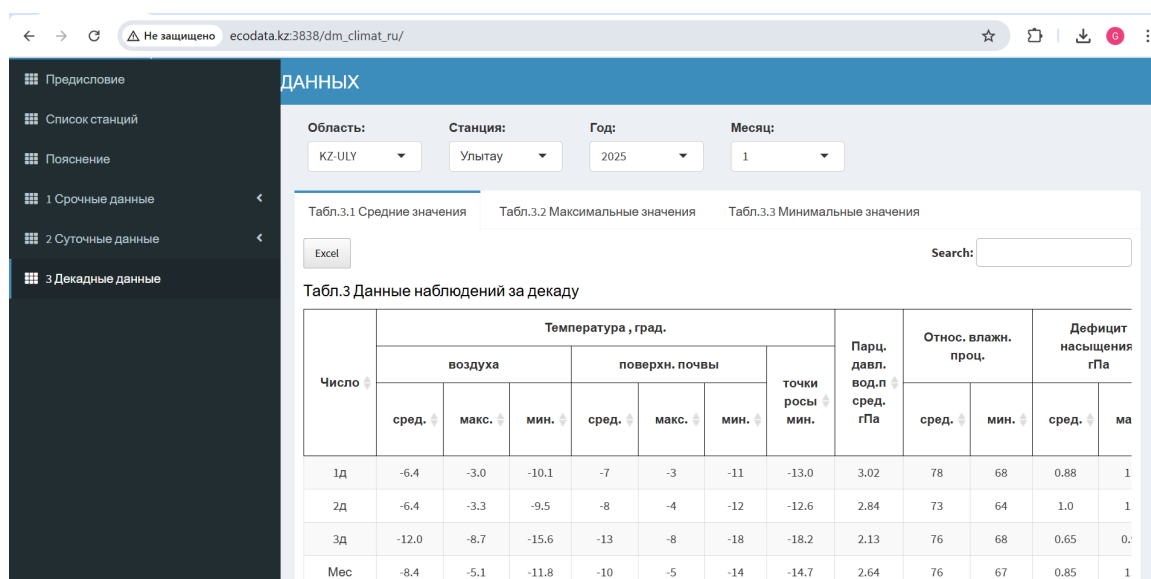
Зерттеу нәтижелері және талқылау

Негізгі математикалық амалдарды қолдана отырып, бірнеше параметрлерді көрсетуге және ArcGIS-ке жауын-шашынды есептеуді қосу үшін бір-біріне сәйкес келтіре отырып қол жеткізуге болады. Жауын-шашын қарқындылығын анықтау үшін келесі алгоритмдер орындалды:

1) Жауын-шашынның орташа көп жылдық мәнін анықтау мақсатында алап аумағында орналасқан Атбасар, Егіндікөл, Екідін, Бірлік, Жақсы, Ашутасты, Ұлытау метеостанцияларының деректері пайдаланылды. Метеорологиялық мәліметтер Қазақстан Республикасының ұлттық гидрометеорологиялық қызметі – «Қазгидромет» РМК ұсынған бақылау материалдары негізінде алынды (2-сурет).



2-сурет – Терісаққан өзені алабындағы метеорологиялық станциялар мен гидрологиялық бекеттер картасы



3-сурет – «Қазгидромет» РМК сайты бойынша мәліметтер алу үлгісі
(http://ecodata.kz:3838/dm_climat_ru/)

2) Анықталған станциялар бойынша көрсетілгендей жауын-шашынның әр айдың көпжылдық көрсеткіші «Қазгидромет» РМК ресми парақшасынан алынды. Алынған мәліметтерді Microsoft

Excel бағдарламасына енгізіп, орташа жылдық мәні есептеліп шығарылды. Сонымен қатар, ArcGIS бағдарламасына енгізу үшін метеорологиялық станциялардың координатасы жазылды.

1-кесте – Терісаққан өзен алабы бойынша жауын-шашынның орташа көпжылдық мәні

Метеостанция	Ендік	Бойлық	Орташа жауын-шашын (мм)
Атбасар	51.841993	68.363441	312
Егіндыкөл	51.053143	69.495523	298
Екідін	49.534342	66.129315	205
Бірлік	49.816791	69.548725	228
Жақсы	51.913169	67.337652	306
Ашутасты	50.113908	66.370637	296
Ұлытау	47.839222	67.618556	31

Жауын-шашын мөлшері бойынша ең жоғары көрсеткіш метеорологиялық станция деректеріне сәйкес 2020 жылға тиесілі, бұл мәндер тиісінше 471 мм және 491 мм шамасында болды.

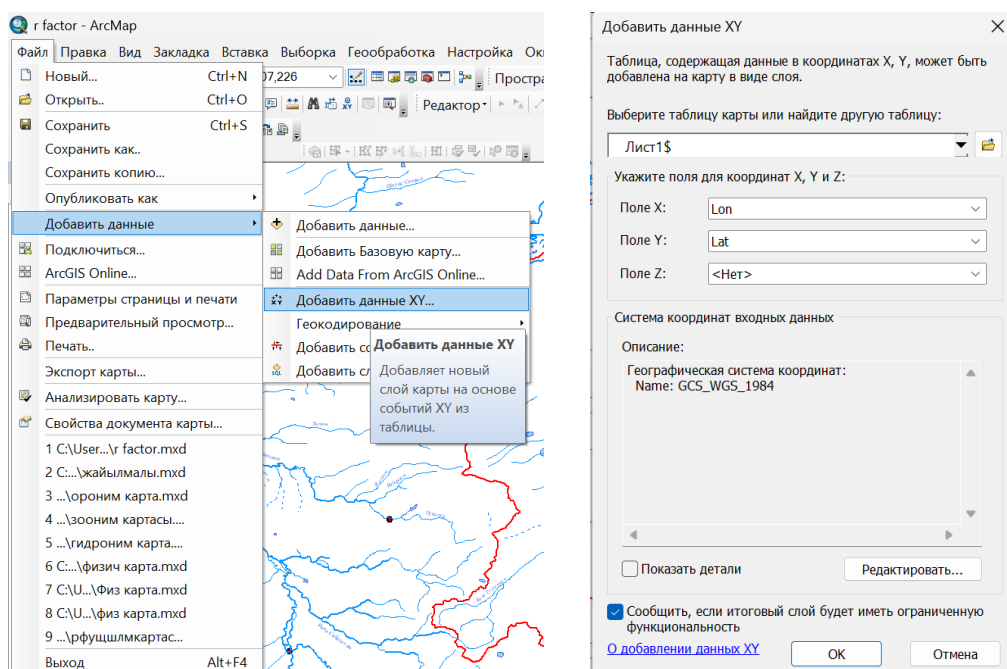
Жоғарыда аталған кестелік деректер кеңістіктік талдау жүргізу мақсатында ArcGIS геоақпараттық жүйесіне енгізілді. Ол үшін бағдарламаның негізгі мәзірінен Файл → Мәліметтерді қосу командасы қолданылып, «Кестені тандау» ұяшығына алдын ала дайындалған метеорологиялық деректер кестесі жүктелді. Кестені ке-

ңістіктік нысанға түрлендіру барысында координаталық өрістер ретінде X және Y мәндері таңдалып, метеостанциялардың орналасу нүктелері карта бетінде бейнеленді (сурет 4).

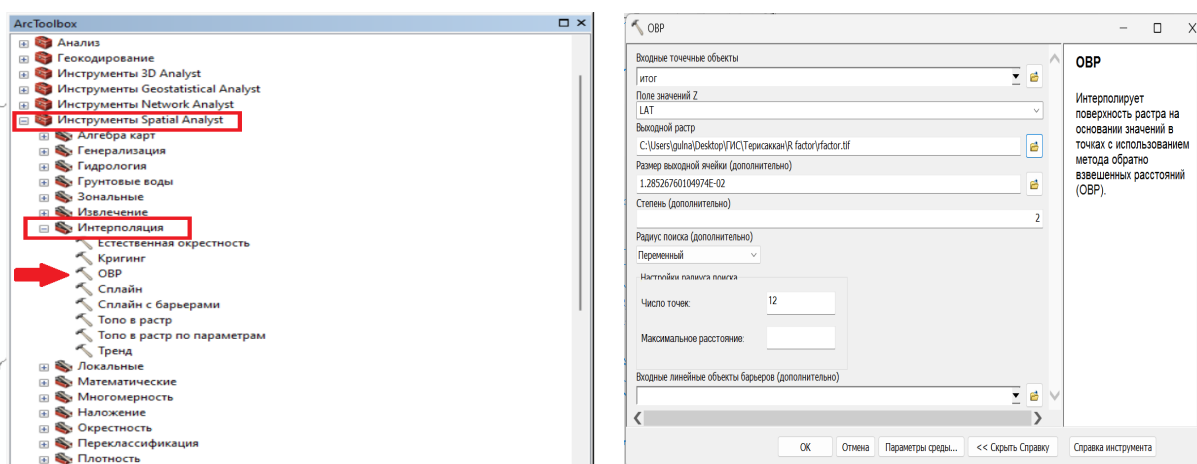
Алап аумағы бойынша жауын-шашын мөлшерінің кеңістіктік таралуын анықтау мақсатында интерполяциялау әдісі қолданылды. Бұл кезеңде ArcToolbox құралдар терезесі ашылып, Spatial Analyst → Интерполяция → OBP (Spline) алгоритмі пайдаланылды. Аталған әдіс деректер арасындағы үздіксіз бетті қалыптастыруға мүм-

кіндік береді және нүктелік бақылау деректері негізінде мөңдердің аумақтық өзгерісін бейнелеуде кеңінен қолданылады. «OBP (Spline)» параметрлер терезесінде шығыс нүктелік нысандар

ретінде алап аумағында орналасқан метеорологиялық станциялардың деректері таңдалып, нәтижесінде жауын-шашынның интерполяцияланған кеңістіктік беті алынды (сурет 5, 6).



4-сурет – ArcGIS бағдарламасына Атрибуттық кестені енгізу жолы



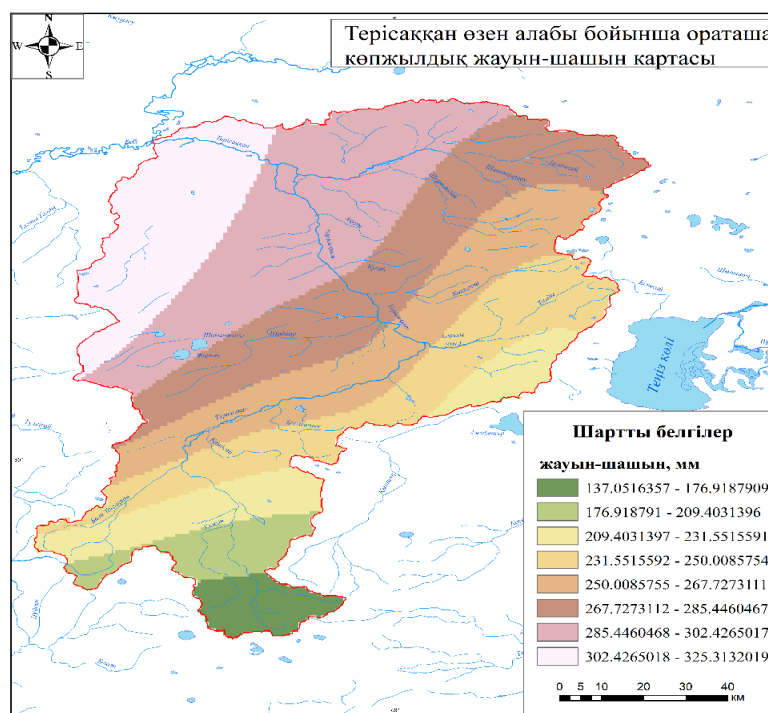
5, 6-сурет – ArcToolbox құралдар терезесі және өлшенген қашықтықты өңдеу (OBP) терезесі

Терісаққан өзені алабы аумағында жауын-шашын мөлшерінің кеңістіктік таралу ерекшеліктері анықталды. Алаптың климаты шұғыл континенттік сипатқа ие. Жауын-шашынның таралуы бойынша солтүстік-шығыс бөлігін-

де ең жоғары мөңдер 302–325 мм аралығында, ал оңтүстік бөлігінде ең төменгі көрсеткіштер 137–176 мм шамасында байқалады (сурет 7). Терісаққан өзені алабы аумағында жауын-шашынның кеңістіктік таралуы жер бедерінің

жалпы морфологиялық құрылымымен тығыз байланысты. Алаптың солтүстік бөлігінде басым болатын салыстырмалы түрде жайпақ және әлсіз тілімденген рельеф ылғалдың жиналуына қолайлы жағдай қалыптастырып, жауын-шашын мөлшерінің артуына ықпал етеді. Ал оңтүстік бөлікте рельефтің күрделене түсуі мен қырат-

ты-жонды пішіндердің кең таралуы климаттың құрғақ континенттік сипатын күшейтіп, жауын-шашын көлемінің азаюына әкеледі. Нәтижесінде жер бедерінің аумақтық айырмашылықтары алап шегіндегі ылғал режимінің қалыптасуында айқындаушы факторлардың бірі ретінде көрініс табады.



7-сурет – Жауын-шашын көрсеткіштерінің Терісаққан өзені алабы бойынша таралу картасы

7-суреттегі орташа көпжылдық жауын-шашын көрсеткіштерін пайдалана отырып, жауын-шашынның қарқындылығы (R-фактор) төмендегі формула арқылы анықталды:

$$R = 0,548257 * P - 59.9 \quad (2)$$

мұндағы Р – жауын-шашынның көпжылдық орташа көрсеткіші. Бұл (2)-формула көпжылдық жауын-шашын мөлшері 850 мм-ден төмен ($P < 850$ мм) болған жағдайда қолданылады.

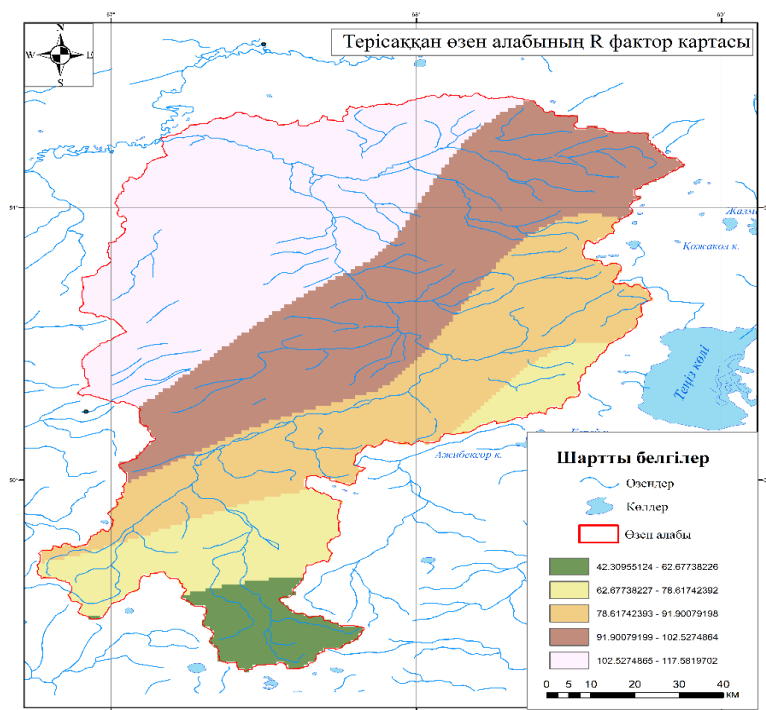
Есептеу жұмыстарын орындау үшін ArcGIS 10.4 бағдарламасындағы ArcToolbox құралдар терезесі пайдаланылды. Онда келесі командалар

тізбегі орындалды: Spatial Analyst құралдары → Карта алгебрасы → Растр калькуляторы. «Растр калькуляторы» терезесіне жоғарыда келтірілген формула (2) енгізілді.

Есептеу нәтижесінде Терісаққан өзені алабының жер пайдалану категориялары бойынша жауын-шашын қарқындылығын сипаттайтын R-фактор картасы алынды (8-сурет). Көрнекілік мақсатында картада әртүрлі түстер қолданылып, алап аумағында жауын-шашын жиі түсетін аймақтар айқын көрсетілді. Мұндай визуализация жауын-шашынның кеңістіктік таралу ерекшеліктерін түсінуге және эрозиялық қауіпті аймақтарды анықтауға мүмкіндік береді.

8-суретке сәйкес, Терісаққан өзені алабы бойынша R-фактордың мәндері солтүстік-шығыстан оңтүстікке қарай төмендейді. Солтүс-

тік-шығыс бөлігінде максималды көрсеткіштер 151–162, ал оңтүстік бөлігінде минималды мәндер 68–88 шамасында анықталды.



8-сурет – Терісаққан өзені алабының жауын-шашын коэффициентінің мәндері (R-фактор) картасы

9 суретте көрсетілгендей Терісаққан өзені алабы бойынша R – фактордың мәндері солтүстік-шығыстан оңтүстікке қарай өзгеріп отырады. Солтүстік-шығыс бөлігінде максималды мән 151-162 көрсеткіші жалпы алаптың 12,73 %-ын, ал минималды көрсеткіш 68-88 оңтүстік бөлі-

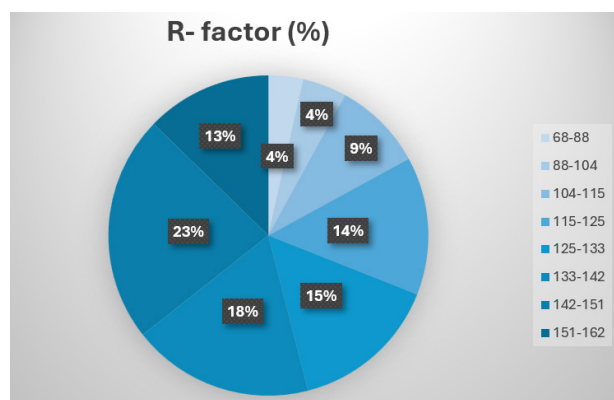
гінде алаптың 3,51%-ын алып жатыр. Бұл нәтижелер жауын-шашын қарқындылығының кеңістіктік таралуының топырақ эрозия қоршаған ортасына әсерін анықтауға мүмкіндік береді. Жауын-шашын мөлшері топырақтың жуылуының негізгі қозғаушы факторы болып табылады.

OBJECTID *	SHAPE *	area	F_	r_factor	r
18	Полигон	681.1365	3.51 %	68-88	1
1	Полигон	864.7111	4.46%	88-104	2
13	Полигон	562.7236	2.90%	104-115	3
15	Полигон	1197.766	6.18%	104-115	3
14	Полигон	2705.633	13.95%	115-125	4
8	Полигон	2914.266	15.02%	125-133	5
7	Полигон	3562.702	18.36%	133-142	6
3	Полигон	4444.124	22.91%	142-151	7
2	Полигон	2469.59	12.73%	151-162	8

9-сурет – Терісаққан өзені алабының жауын-шашын коэффициентінің мәндері (R-фактор) атрибуттық кестесі

Мәндерді айқын көрсету мақсатында 9-суретте көрсетілген атрибуттық кесте негізде 10-суреттегі диаграмма құрастырылды.

Терісаққан өзені алабының жалпы ауданы 19 500 км² құрайды. ГАЖ бағдарламасы арқылы құрылған атрибуттық кестенің көмегімен жауын-шашын қарқындылығының (R-фактордың) әр түрлі мәндерінің алап аумағында таралуы есептеліп, сандық деректер алынды. Бұл деректердің кеңістіктік ерекшеліктерін айқындау мақсатында диаграмма әзірленіп, сурет 10-да көрсетілді.



10-сурет – Терісаққан өзені алабының жауын-шашын коэффициентінің мәндер (R-фактор)

R-фактордың 142–151 аралығындағы мәндері алаптың шамамен 4 447 км² аумағын қамтиды, бұл жалпы аумақтың 23%-ына тең. Бұл көрсеткіш зерттеліп отырған аймақтың едәуір бөлігі жоғары эрозиялық қауіп аймағында орналасқанын көрсетеді. Ал 68–88 аралығындағы ең төменгі мәндер алаптың тек 681 км² жерін немесе 3,51%-ын құрайды. Мұндай аумақтар негізінен оңтүстік бөліктерге тән және оларда жауын-шашын мөлшері аз, эрозия қаупі салыстырмалы түрде төмен.

Бұл талдау нәтижелері эрозия қаупі жоғары және төмен аймақтарды дәл бөліп көрсетуге мүмкіндік береді. Осыған сәйкес, топырақты сақтау мен өңдеу стратегияларын әртүрлі аймақтар үшін жеке-жеке жоспарлау маңызды. Сонымен қатар, бұл ақпарат болашақта ауылшаруашылық жерлерді басқару мен экологиялық мониторинг жүргізу кезінде негіз бола алады.

Қорытынды

Осы зерттеу барысында Терісаққан өзені алабындағы жауын-шашынның кеңістіктік таралуы мен оның топырақ жуылуына әсері цифрлық түрде бағаланды. Ұсақ түйіршікті топырақтар жауын-шашын мен желдің жылдамдығы жоғары аймақтарда топырақ шайылуына көбірек ұшырайды. Қарқынды эрозия процестері топырақ құнарлылығының төмендеуіне, егістіктер мен жайылымдардың сапасының нашарлауына әкеледі. Мұның бәрі ауылшаруашылығына үлкен зиян келтіреді. Бұл мақала осы мәселеге назар аударылып және жауын-шашын қарқындылығын (R факторы) анықтау үшін ГАЖ технологиясындағы интерполяция әдісі қолданылған. Соның нәтижесінде алаптың солтүстік-шығыс бөлігі топырақ эрозия қаупі жоғары аймақ ретінде танылды. Зерттеу нәтижелері Терісаққан өзені алабының ауылшаруашылық алқаптарында бойынша R – фактордың мәндері шығыстан батысқа қарай өзгеріп отырады. Солтүстік-шығыс бөлігінде максималды мән 151-162 болса, ал минималды көрсеткіш 68-88 оңтүстігінде бөлігінде тең.

Алап аумағындағы су эрозиясымен күресу үшін келесі бағыттар ұсынылады: Агротехникалық шаралар – жауын-шашын мен ағын судың әсері жоғары болатын еңістеу аймақтарда (әсіресе солтүстік-шығыста) егістік алқаптарды контурлы жырту, топырақ қабатын жабу үшін шөпті немесе бұршақ тұқымдас дақылдарды егу, себу жолымен қорғау. Бұл әдістер жауын-шашын суының жерге сіңуін жақсартады және ағынның жылдамдығын бәсеңдетеді.

Мелиорациялық шаралар – эрозия қаупі жоғары учаскелерде (151–162 R-факторлық зонада) жыралар мен сайларды бекіту мақсатында шөптер, бұталар және ағаштар отырғызу ұсынылады. Бұл өсімдіктер тамыр жүйелері арқылы топырақты ұстап, шайылудан қорғайды.

Гидротехникалық шаралар – су тасқыны жиі жүретін бөліктерде (мысалы, картада жауын-шашын көп түсетін зона) шағын бөгеттер, су ағысын реттейтін каналдар және арық жүйелері сияқты инженерлік құрылымдар салу қажет. Бұл құрылыстар су ағынын бақылап, топырақ жуу көлемін азайтады. Аталған шаралар топырақтың су эрозиясына ұшырау деңгейін төмендетіп, оның құнарлылығын сақтауға мүмкіндік береді.

Әдебиеттер

- Акиянова Ф.Ж., Васильченко Н.И. Soil erosion and deflation processes in the Akmola region in the conditions of agglomeration development of the region // *Ecosystems of Central Asia in modern conditions of social and economic development*. – Ulan-Ude, 2015. – P. 372–376.
- Акиянова Ф.Ж. и др. Применение методов анализа дистанционных данных для оценки плоскостной эрозии на примере территории Акмолинской области // *Гидрометеорология и экология*. – 2015.
- Рамазанова Н. Е., Мақсұтова С. М., Нуфтеннова К. С. ТОПЫРАҚ ШАЙЫЛУЫН АНЫҚТАУДАҒЫ ЖАУЫН-ШАШЫН ҚАРҚЫНДЫЛЫҚ КОЭФФИЦИЕНТІНІҢ (R-FACTOR) МАҢЫЗДЫЛЫҒЫ: (Аққанбұрлық өзен алабы мысалында) // *Journal of Geography & Environmental Management*. – 2024. – Т. 73. – №. 2.
- Amirzhanovna Z.A., Zhanaleyeva K.M., Galimzhanovich B.Z., Saparov K.T., Mendybayev E.H., Atasoy E. Assessment of hydrogeological features of the Yesil River Basin // *Journal of Environmental Biology*. – 2017. – Vol. 38, Special issue. – P. 1115–1120.
- Diarra B. Modeling of soil erosion by water in the provinces of Sikasso and Koulikoro (Republic of Mali) // *Антропогенная трансформация природной среды*. – 2021. – № 2. – С. 36–48.
- Iorgansky A.I., Balgabekov K.B. Water and irrigation erosion in Kazakhstan. – Almaty: Kaynar, 1979.
- Mazhitova G.Z., Janaleyeva K.M., Berdenov Z.G., Doskenova B.B., Atasoy E. Assessment of the sustainability of landscapes of the North-Kazakhstan region to agricultural impact // *News of the National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan. Series of Geology and Technical Sciences*. – 2018. – No. 429. – P. 90–95.
- Mueller L., Saparov A., Lischeid G. Novel measurement and assessment tools for monitoring and management of land and water resources in agricultural landscapes of Central Asia. – Berlin: Springer, 2013.
- Pavlova A.N. Geoinformatsionnoe modelirovanie rechnogo basseina po dannym sputnikovoi s¹emki SRTM (na primere basseina r. Tereshki) // *Izvestiya Saratovskogo gosudarstvennogo universiteta*. – 2009. – Vol. 9. – P. 39–44.
- Ramazanov N.E. Transformatsiya geoekosistem basseina reki Bykovka (bassein reki Zhaiyk) // *Vestnik KazNU. Seriya geograficheskaya*. – 2012. – No. 1 (34). – P. 3–10.
- Ramazanov N.E., Berdenov Z.G., Ramazanov S.K., Kazangapova N.B., Romanova S.M., Toksanbaeva S.T., Wendt J. Landscape geochemical analysis of steppe zone basin Zhaiyk // *News of the National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan. Series of Geology and Technical Sciences*. – 2019. – Vol. 4 (436). – P. 33–41.
- Ramazanov N.E., Akhmet A.S., Toksanbaeva S.T. Opredelenie basseina reki Zhaiyk s ispolzovaniem instrumentov ArcGIS // *Proceedings of the II International Scientific and Practical Conference “World Science: Scientific Issues of the Modernity”*. – Dubai, 2016. – Vol. II. – P. 39–41.
- Ramazanov N., Ozgeldinova Z., Janaleyeva K., Auyezova Z., Mukayev Z. The Present-day Geoecologic Situation of Kenghir River Basin Geosystem // *Biosciences Biotechnology Research Asia*. – 2015. – Vol. 12 (3). – P. 3041–3051.
- Ramazanov N., Ozgeldinova Z., Tursynova T., Asylbekov K., Turyspekova E., Toksanbaeva S., Zhanabayev D. Analysis of the impact of soil erosion in the Embulatovka River Basin on the development of recreational conditions of the natural resource state of the West Kazakhstan region // *GeoJournal of Tourism and Geosites*. – 2022. – Vol. 43 (3). – P. 866–871.
- Ramazanov N., Ozgeldinova Z., Turyspekova E., Akhmedova A., Tursynova T., Toksanbaeva S., Demeuov A., Ayapbekova A. The influence of recreation on the processes of soil erosion in the forests of the West Kazakhstan region // *GeoJournal of Tourism and Geosites*. – 2023. – Vol. 50 (4). – P. 1350–1355.
- Ranzi R., Le T.H., Rulli M.C. A RUSLE approach to model suspended sediment load in the Lo river (Vietnam) effects of reservoirs and land use changes // *Journal of Hydrology*. – 2012. – Vol. 422–423. – P. 17–29.
- Renschler C.S., Mannaerts C., Dieckkrüger B. Evaluating spatial and temporal variability in soil erosion risk rainfall erosivity and soil loss ratios in Andalusia Spain // *Catena*. – 1999. – Vol. 34. – P. 209–225.
- Renard K.G., Foster G.R., Weesies G.A., McCool D.K., Yoder D.C. Predicting soil erosion by water a guide to conservation planning with the revised universal soil loss equation RUSLE. – Washington DC: USDA Agriculture Handbook 703, 1997.
- Sharma A. Integrating terrain and vegetation indices for identifying potential soil erosion risk area // *Geo-Spatial Information Science*. – 2010. – Vol. 13 (3). – P. 201–209.
- Shinde V., Tiwari K., Singh M. Prioritization of micro watersheds on the basis of soil erosion hazard using remote sensing and geographic information system // *International Journal of Water Resources and Environmental Engineering*. – 2010. – Vol. 2 (3). – P. 130–136.
- Udayakumara E.P.N., Shrestha R.P., Samarakoon L., Schmidt-Vogt D. People’s perception and socioeconomic determinants of soil erosion a case study of Samanalawewa watershed Sri Lanka // *International Journal of Sediment Research*. – 2010. – Vol. 25. – P. 323–339.
- Wijesundara N.C., Abeysingha N.S., Dissanayake D.M.S.L.B. GIS based soil loss estimation using RUSLE model a case of Kirindi Oya river basin Sri Lanka // *Modeling Earth Systems and Environment*. – 2018. – Vol. 4 (1). – P. 251–262.
- Wischmeier W.H., Smith D.D. Predicting rainfall erosion losses a guide to conservation planning. – Washington DC: USDA Agriculture Handbook 537, 1978.
- Xu Y.Q., Shao X.M., Peng J. Assessment of soil erosion using RUSLE and GIS a case study of the Maotiao River watershed Guizhou Province China // *Environmental Geology*. – 2009. – Vol. 56. – P. 1643–1652.
- Zaimes G.N., Schultz R.C., Isenhardt T.M. Riparian land uses and precipitation influences on stream bank erosion in Central Iowa // *Journal of the American Water Resources Association*. – 2006. – Vol. 42 (1). – P. 83–97.

Zevenbergen L.W., Thorne C.R. Quantitative analysis of land surface topography // *Earth Surface Processes and Landforms*. – 1987. – Vol. 12. – P. 47–56.

References

Akiyanova FZh, Vasilchenko NI (2015) Eroziionnye i deflyatsionnye protsessy v Akmolinskoi oblasti v usloviyakh aglomeratsionnogo razvitiya regiona [Soil erosion and deflation processes in the Akmola region under agglomeration development conditions]. *Ekosistemy Tsentralnoi Azii v sovremennykh usloviyakh sotsialno-ekonomicheskogo razvitiya*, pp. 372–376. (In Russian)

Akiyanova FZh, et al. (2015) Primenenie metodov analiza distantsionnykh dannykh dlya otsenki ploskostnoi erozii [Application of remote sensing data analysis methods for assessing sheet erosion]. *Gidrometeorologiya i ekologiya*. (In Russian)

Amirzhanovna ZA, Zhanaleyeva KM, Galimzhanovich BZ, Saparov KT, Mendybayev EH, Atasoy E (2017) Assessment of hydrogeological features of the Yesil River Basin. *Journal of Environmental Biology*, 38 (Special Issue), 1115–1120.

Diarra B (2021) Modeling of soil erosion by water in the provinces of Sikasso and Koulikoro (Republic of Mali). *Antropogennaya transformatsiya prirodnoi sredy*, 2, 36–48. (In Russian)

Hernando D, Romana MG (2016) Estimate of the R USLE rainfall erosivity factor from monthly precipitation data in mainland Spain. *Journal of Iberian Geology*, 42, 113–124.

Iorgansky AI, Balgabekov KB (1979) Vodnaya i irrigatsionnaya eroziya v Kazakhstane [Water and irrigation erosion in Kazakhstan]. *Almaty Kaynar*. (In Russian)

Kienzler KM, Lamers J, McDonald A, Mirzabaev A, Ibragimov N, Egamberdiev O, Ruzbaev E, Akramkhanov A (2012) Conservation agriculture in Central Asia what do we know and where do we go from here. *Field Crops Research*, 132, 95–105. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2011.12.008>

Mazhitova GZ, Janaleyeva KM, Berdenov ZG, Doskenova BB, Atasoy E (2018) Assessment of the sustainability of landscapes of the North Kazakhstan region to agricultural impact. *News of the National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan Series of Geology and Technical Sciences*, 429, 90–95.

Mueller L, Saparov A, Lischied G (2013) Novel measurement and assessment tools for monitoring and management of land and water resources in agricultural landscapes of Central Asia. *Springer Berlin*. <https://doi.org/10.1007/978-3-319-01017-5>

Pavlova AN (2009) Geoinformatsionnoe modelirovanie rechnogo basseina po dannym sputnikovoi s'emki SRTM [GIS based modeling of river basin using SRTM satellite data]. *Izvestiya Saratovskogo gosudarstvennogo universiteta*, 9, 39–44. (In Russian)

Ramazanov NE (2012) Transformatsiya geoekosistem basseina reki Bykovka [Transformation of geoecosystems of the Bykovka River basin]. *Vestnik KazNU Geographical Series*, 1 (34), 3–10. (In Russian)

Ramazanov NE, Akhmet AS, Toksanbaeva ST (2016) Opredelenie basseina reki Zhaiyk s ispolzovaniem instrumentov ArcGIS [Delineation of the Ural River basin using ArcGIS tools]. *World Science Scientific Issues of the Modernity*, II, 39–41. (In Russian)

Ramazanov N. E., Maksutova S. M., Nuftenova K. S. The Importance of Rainfall Intensity Coefficient (R-Factor) in Determining Soil Erosion: A Case Study of the Akkanburlik River Basin // *Journal of Geography & Environmental Management*. – 2024. – Vol. 73. – No. 2.

Ramazanov NE, Berdenov ZG, Ramazanov SK, Kazangapova NB, Romanova SM, Toksanbaeva ST, Wendt J (2019) Landscape geochemical analysis of steppe zone basin Zhaiyk. *News of the National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan Series of Geology and Technical Sciences*, 4 (436), 33–41. <https://doi.org/10.32014/2019.2518-170X.95>

Ramazanov N, Ozgeldinova Z, Janaleyeva K, Auyezova Z, Mukayev Z (2015) The present day geoecologic situation of the Kenghir River Basin geosystem. *Biosciences Biotechnology Research Asia*, 12 (3), 3041–3051.

Ramazanov N, Ozgeldinova Z, Tursynova T, Asylbekov K, Turyspekova E, Toksanbaeva S, Zhanabayev D (2022) Analysis of the impact of soil erosion in the Embulatovka River Basin on the development of recreational conditions of the natural resource state of the West Kazakhstan region. *GeoJournal of Tourism and Geosites*, 43 (3), 866–871. <https://doi.org/10.30892/gtg.43304-898>

Ramazanov N, Ozgeldinova Z, Turyspekova E, Akhmedova A, Tursynova T, Toksanbaeva S, Demeuov A, Ayapbekova A (2023) The influence of recreation on the processes of soil erosion in the forests of the West Kazakhstan region. *GeoJournal of Tourism and Geosites*, 50 (4), 1350–1355. <https://doi.org/10.30892/gtg.50415-1133>

Ranzi R, Le TH, Rulli MC (2012) A RUSLE approach to model suspended sediment load in the Lo river Vietnam effects of reservoirs and land use changes. *Journal of Hydrology*, 422–423, 17–29. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2011.12.009>

Renschler CS, Mannaerts C, Dieckruger B (1999) Evaluating spatial and temporal variability in soil erosion risk rainfall erosivity and soil loss ratios in Andalusia Spain. *Catena*, 34, 209–225.

Renard KG, Foster GR, Weesies GA, McCool DK, Yoder DC (1997) Predicting soil erosion by water a guide to conservation planning with the revised universal soil loss equation RUSLE. *USDA Agriculture Handbook 703* Washington DC.

Sharma A (2010) Integrating terrain and vegetation indices for identifying potential soil erosion risk area. *Geo Spatial Information Science*, 13 (3), 201–209. <https://doi.org/10.1007/s11806-010-0342-6>

Shinde V, Tiwari K, Singh M (2010) Prioritization of micro watersheds on the basis of soil erosion hazard using remote sensing and geographic information system. *International Journal of Water Resources and Environmental Engineering*, 2 (3), 130–136.

Stone RP, Hilborn D (2000) Universal soil loss equation. *Ministry of Agriculture Food and Rural Affairs Canada Guelph Ontario*.

Udayakumara EPN, Shrestha RP, Samarakoon L, Schmidt Vogt D (2010) People's perception and socioeconomic determinants of soil erosion a case study of Samanalawewa watershed Sri Lanka. *International Journal of Sediment Research*, 25, 323–339.

Wijesundara NC, Abeysingha NS, Dissanayake DMSLB (2018) GIS based soil loss estimation using RUSLE model a case of Kirindi Oya river basin Sri Lanka. *Modeling Earth Systems and Environment*, 4 (1), 251–262. <https://doi.org/10.1007/s40808-018-0419-z>

Wischmeier WH, Smith DD (1978) Predicting rainfall erosion losses a guide to conservation planning. USDA Agriculture Handbook 537 Washington DC.

Xu YQ, Shao XM, Peng J (2009) Assessment of soil erosion using RUSLE and GIS a case study of the Maotiao River watershed Guizhou Province China. *Environmental Geology*, 56, 1643–1652.

Zaimes GN, Schultz RC, Isenhardt TM (2006) Riparian land uses and precipitation influences on stream bank erosion in Central Iowa. *Journal of the American Water Resources Association*, 42 (1), 83–97. <https://doi.org/10.1111/j.1752-1688.2006.tb03825.x>

Zevenbergen LW, Thorne CR (1987) Quantitative analysis of land surface topography. *Earth Surface Processes and Landforms*, 12, 47–56. <https://doi.org/10.1002/esp.3290120107>

Авторлар туралы мәлімет:

Рамазанова Нургуль Есеновна – PhD, Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университетінің физикалық және экономикалық география кафедрасының профессор м. а. (Астана, Қазақстан, e-mail: nurgulram@gmail.com);

Даметова Гүлназ Нұржанқызы – Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университетінің физикалық және экономикалық география кафедрасының магистранты (Астана, Қазақстан, e-mail, gulnazdametova@mail.ru);

Аяпбекова Алия Ескермесовна – география ғылымдарының кандидаты, Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университетінің физикалық және экономикалық география кафедрасының аға оқытушысы (Астана, Қазақстан, e-mail: ayapbekova_ae@enu.kz);

Карагойшин Жасхайыр Мухангалиевич – биология ғылымдарының кандидаты, Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университетінің физикалық және экономикалық география кафедрасының қауымдастырылған профессоры (Астана, Қазақстан, e-mail: k.zhashaiyr@mail.ru);

Алағуджаева Манира Амангельдиевна – PhD, Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университетінің физикалық және экономикалық география кафедрасының доцент м. а. (Астана, Қазақстан, e-mail: alagujayeve_ma@enu.kz);

Токсанбаева Сабина Тұрсыновна – PhD, Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университетінің физикалық және экономикалық география кафедрасының доцент м. а. (Астана, Қазақстан, e-mail: sabina.toxanbayeva@gmail.com).

Information about authors:

Ramazanova Nurgul Esenovna – PhD, Acting Professor of the Department of Physical and Economic Geography of L.N. Gumilyov Eurasian National University (Astana, Kazakhstan, e-mail: nurgulram@gmail.com);

Dametova Gulnaz Nurzhankyzy – Master's Student of the Department of Physical and Economic Geography of L.N. Gumilyov Eurasian National University (Astana, Kazakhstan, e-mail: gulnazdametova@mail.ru);

Ayapbekova Aliya Eskermesovna – Candidate of Geographical Sciences, Senior Lecturer, Acting Professor of the Department of Physical and Economic Geography of L.N. Gumilyov Eurasian National University (Astana, Kazakhstan, e-mail: ayapbekova_ae@enu.kz);

Karagoishin Zhaskhair Mukhangalievich – Candidate of Biological Sciences, Associate Professor, Acting Professor of the Department of Physical and Economic Geography of L.N. Gumilyov Eurasian National University (Astana, Kazakhstan, e-mail: k.zhashaiyr@mail.ru);

Alagudzhaeva Manira Amangeldievna – PhD, Senior Lecturer, Acting Professor of the Department of Physical and Economic Geography of L.N. Gumilyov Eurasian National University (Astana, Kazakhstan, e-mail: alagujayeve_ma@enu.kz);

Toxanbayeva Sabina Tursynovna – PhD, Acting Associate Professor of the Department of Physical and Economic Geography of L.N. Gumilyov Eurasian National University (Astana, Kazakhstan, e-mail: sabina.toxanbayeva@gmail.com).

Сведения об авторах:

Рамазанова Нургуль Есеновна – PhD, и. о. профессора кафедры физической и экономической географии Евразийского национального университета имени Л.Н. Гумилева (Астана, Казахстан, e-mail: nurgulram@gmail.com);

Даметова Гүлназ Нұржанқызы – магистрант кафедры физической и экономической географии Евразийского национального университета имени Л.Н. Гумилева (Астана, Казахстан, e-mail: gulnazdametova@mail.ru);

Аяпбекова Алия Ескермесовна – кандидат географических наук, старший преподаватель кафедры физической и экономической географии Евразийского национального университета имени Л.Н. Гумилева (Астана, Казахстан, e-mail: ayapbekova_ae@enu.kz);

Карагойшин Жасхайыр Мухангалиевич – кандидат биологических наук, ассоциированный профессор кафедры физической и экономической географии Евразийского национального университета имени Л.Н. Гумилева (Астана, Казахстан, e-mail: k.zhashaiyr@mail.ru);

Алағуджаева Манира Амангельдиевна – PhD, и. о. доцента кафедры физической и экономической географии Евразийского национального университета имени Л.Н. Гумилева (Астана, Казахстан, e-mail: alagujayeve_ma@enu.kz);

Токсанбаева Сабина Тұрсыновна – PhD, и. о. доцента кафедры физической и экономической географии Евразийского национального университета имени Л.Н. Гумилева (Астана, Казахстан, e-mail: sabina.toxanbayeva@gmail.com).

Келін түсті: 16 қазан 2025 жыл
Қабылданды: 04 желтоқсан 2025 жыл

Д.Б. Абилганиев^{id}, М.Ж. Дуйсебаева^{*id}

ҚР ЭЖТРМ ОШЖЖДК «Алматы мемлекеттік табиғи қорығы» РММ, Талғар, Қазақстан
*e-mail: bioreserve.almaty@gmail.com

АЛМАТЫ ҚОРЫҒЫ АУМАҒЫНДА СИВЕРС АЛМА АҒАШЫНЫҢ (*MALUS SIEVERSII* LEDEB. M. ROEM)

Бұл мақала Алматы мемлекеттік табиғи қорығы аумағында Сиверс алмасының (*Malus sieversii* Ledeb. M. Roem) өсуін зерттеуге арналған. Сиверс алмасы – әлемдік маңызы бар реликті түр, қазіргі мәдени алманың көпшілік сұрыптарының ататегі болып табылады және селекция мен биоалуантүрлілікті сақтауда бірегей генетикалық құндылыққа ие. Қорық аумағында бұл түр табиғи жағдайда өсіп, Солтүстік Тянь-Шаньның орман белдеуінде жеке алқаптар мен топтар құрайды. Зерттеудің мақсаты – *Malus sieversii*-дің қазіргі ареалдарын анықтау, биіктік бойынша таралуын, сандық мөлшерін, популяция құрылымын және жас құрамын айқындау. Мақалада алма ормандарының сақталуы мен жаңаруына әсер ететін экологиялық жағдайлар қарастырылады, оған климаттық ерекшеліктер, топырақ факторлары, түр аралық өзара қатынастар және антропогендік ықпал жатады. Зерттеу Сиверс алмасының табиғи қалпына келу мәселелеріне және ареалдарының кеңеюін шектейтін негізгі қауіп-қатерлерді анықтауға бағытталған. Зерттеудің өзектілігі жабайы жеміс-жидек түрлерінің генофондын сақтаудың қажеттілігімен байланысты, олардың ішінде *Malus sieversii* мәдени алма формалары үшін төзімділік пен бейімділіктің бірегей көзі болып табылады. Жұмыстың ғылыми жаңалығы – қорық аумағындағы Сиверс алмасы популяцияларының қазіргі жағдайын нақтылау, сондай-ақ олардың өміршеңдігі мен динамикасын анықтайтын факторларды айқындау. Алынған нәтижелердің практикалық маңызы – алма ормандарын табиғи жағдайда сақтау бойынша шараларды әзірлеуде және Алматы мемлекеттік табиғи қорығының биологиялық әртүрлілігін кешенді мониторингтеу үшін ғылыми негіз қалыптастыруда қолдану мүмкіндігінде.

Түйін сөздер: Сиверс алмасы, *Malus sieversii*, Алматы мемлекеттік табиғи қорығы, ареал, популяция, биоалуантүрлілік, сақтау.

D.B. Abilganiyev, M.Zh. Duisebayeva*

RSE «Almaty State Nature Reserve», CFandW MEandNR of the RK, Talgar, Kazakhstan
*e-mail: bioreserve.almaty@gmail.com

Distribution of Sievers apple tree (*Malus sieversii* Ledeb. M. Roem) in the territory of the Almaty Nature Reserve

This article is devoted to the study of the distribution of the Sievers apple (*Malus sieversii* Ledeb. M. Roem) within the territory of the Almaty State Nature Reserve. The Sievers apple is a relict species of global importance, considered the ancestor of most modern cultivated apple varieties and possessing unique genetic value for breeding and biodiversity conservation. Within the reserve, this species occurs under natural conditions, forming separate stands and groups within the forest belt of the Northern Tien Shan. The aim of the study is to identify the current habitats of *Malus sieversii* in the reserve, determine its altitudinal distribution, population size, structural composition, and age dynamics. The article examines the ecological conditions affecting the preservation and regeneration of apple forests, including climatic features, soil factors, interspecific interactions, and the degree of anthropogenic impact. The research pays particular attention to the processes of natural regeneration of the Sievers apple and the identification of key threats that limit the expansion of its habitats. The relevance of the study is determined by the urgent need to preserve the gene pool of wild fruit species, among which *Malus sieversii* occupies a central place as a unique source of resilience and adaptability for cultivated apple forms. The scientific novelty of the work lies in the refinement of data on the current state of Sievers apple populations within the reserve, as well as in the identification of factors that determine their viability and dynamics. The practical significance of the results is expressed in their potential application for the development of measures aimed at preserving apple forests in their natural state and in the creation of a scientific basis for comprehensive monitoring of the biological diversity of the Almaty State Nature Reserve.

Keywords: Sievers apple, *Malus sieversii*, Almaty State Nature Reserve, distribution, population, biodiversity, conservation.

Д.Б. Абилганиев, М.Ж. Дуйсебаева*

РГУ «Алматинский государственный природный заповедник» КЛХиЖМ МЭИПР РК, Талғар, Қазақстан

*e-mail: bioreserve.almaty@gmail.com

Произрастание яблони Сиверса (*Malus Sieversii* Ledeb. M. Roem) на территории Алматинского заповедника

Данная статья посвящена исследованию произрастания яблони Сиверса (*Malus sieversii* Ledeb. M. Roem) на территории Алматинского государственного природного заповедника. Яблоня Сиверса представляет собой реликтовый вид мирового значения, являющийся предком большинства современных культурных сортов яблони и обладающий уникальной генетической ценностью для селекции и сохранения биоразнообразия. На территории заповедника данный вид встречается в естественных условиях произрастания, формируя отдельные массивы и группы в пределах лесного пояса Северного Тянь-Шаня. Целью исследования является выявление современных ареалов *Malus sieversii* в пределах заповедника, определение высотного распределения, численности, структуры популяций и возрастного состава насаждений. В статье рассматриваются экологические условия, влияющие на сохранность и регенерацию яблоневых лесов, включая климатические особенности, почвенные факторы, межвидовые взаимоотношения и степень антропогенного воздействия. Исследование уделяет внимание вопросам естественного возобновления яблони Сиверса и выявлению ключевых угроз, ограничивающих расширение её ареалов. Актуальность исследования обусловлена необходимостью сохранения генофонда дикорастущих плодовых пород, среди которых *Malus sieversii* занимает ключевое место как уникальный источник устойчивости и адаптивности для культурных форм яблони. Научная новизна работы заключается в уточнении данных о современном состоянии популяций яблони Сиверса в пределах заповедной территории, а также в выявлении факторов, определяющих их жизнеспособность и динамику. Практическая значимость полученных результатов выражается в возможности их использования при разработке мер по сохранению яблоневых лесов в естественных условиях и создании научной основы для комплексного мониторинга биологического разнообразия Алматинского государственного природного заповедника.

Ключевые слова: яблоня Сиверса, *Malus sieversii*, Алматинский государственный природный заповедник, ареал, популяция, биоразнообразие, сохранение.

Кіріспе

Зерттеулер Алматы мемлекеттік табиғи қорығының аумағында жүргізілді. Алматы мемлекеттік табиғи қорығы 1931 жылы құрылған және сол уақыттан бері қатаң қорғау режимінде сақталып келеді. Қазіргі Іле Алатауы, Көлсай көлдері, Шарын және Алтын Емел ұлттық паркттерінің аумақтары, сондай-ақ Кеген мен Шелек орман шаруашылықтарының бір бөлігі бастапқыда осы қорықтың құрамында болған. Бүгінде ол Алматы облысының Талғар ауданының оңтүстік-батыс бөлігінде, Іле Алатауы жотасының (Солтүстік Тянь-Шань) орталық бөлігінде, теңіз деңгейінен 1200-ден 5000 метрге дейінгі абсолюттік биіктікте орналасқан. Жалпы аумағы 71 700 гектарды құрайды, оның ішінде орман алқаптары – 13 211 га (соның ішінде 12 435 га орманмен жабылған), ал ормансыз жерлер – 58 489 га. Қорық аумағы екі учаскеге бөлінеді: Талғар учаскесі (40 094 га) және Есік учаскесі (31 606 га). Барлық аумақ қатаң қорықтық режимге ие. Алматы қорығының табиғи кешендері бірнеше биіктік белдеулерін қамтиды:

- бұталы-әртүрлі шөптесін далалар – 1600 м-ге дейін;
- шыршалы ормандар – 1600–2500(2700) м;
- субальпілік белдеу – 2700–3000 м;
- альпілік белдеу – 3000–3500 м;
- мұздық-нивалдық белдеу – 3500 м-ден жоғары.

Аумағының ең биік нүктесі – Талғар шыңы (4978,8 м). (Еңкебайұлы Ж., Сәтімбекұлы Р., Жапарұлы Б. 2007: 85–87.) (Б. Жапарұлы, С. Маметов 2006: 3 – 7)

Қорық флорасы 415 туыстыққа және 85 тұқымдастыққа жататын шамамен 960 түрден тұрады, олардың ішінде 29 түр ҚР Қызыл кітабына енгізілген. Жануарлар дүниесінде 41 сүтқоректілер түрі, 177 құс түрі, сондай-ақ бауырымен жорғалаушылар мен қосмекенділер бар. (Қ.Н.Байтұрбаев, А.Д. Жаныспаев, С.Қ. Сапарбаев, А.В. Вишневская 2011: 14 – 16.)

Қорық экожүйелерінде ерекше орын алатын өсімдік – Сиверс алмасы (*Malus sieversii* Ledeb. M. Roem). Бұл – әлемдік маңызы бар реликті түр, қазіргі мәдени алма сорттарының арғы тегі ретінде мойындалған. Қазақстан осы бірегей түрдің шығу орталығы болып саналады,

оның популяциялары Тянь-Шань мен Жоңғар Алатауы тауларында сақталған. Климаттық өзгерістер мен антропогендік қысым жағдайында *Malus sieversii* генофондын сақтау стратегиялық маңызға ие.

Бақылау объектісі болып табылатын Сиверс алмасы (*Malus sieversii*) 1200–1934 м биіктік диапазонында негізінен аралас жапырақты ормандар құрамында өседі және жекелеген жағдайда қылқан жапырақты шыршалы орман белдеулерінде кездеседі. Табиғи қорық – Сиверс алмасының табиғи ортасын сақтау мен қорғау, әрі зерттеу бойынша маңызды аймақ.

Сиверс алмасын зерттеу тарихы XVIII ғасырдың соңынан басталады. 1793 жылы неміс ботанигі Иоганн Август Сиверс алғаш рет бұл түрді сипаттап жазған. 1930-жылдары академик Н.И. Вавилов *Malus sieversii*-ді селекция үшін маңызды генетикалық материал көзі ретінде атап өтті. Бұл түрді зерттеуге академик А.И. Жанғалиев зор үлес қосып, жарты ғасырдан астам уақытын жабайы алманы зерттеуге арнады. 1997–2000 жылдары оның басшылығымен американдық ғалымдардың қатысуымен *Malus sieversii*-ді сақтау мақсатында халықаралық экспедиция ұйымдастырылды. XX ғасырдың соңында бұл түрге шетелдік ғалымдардың да назары арта түсті. Әсіресе Оксфорд университетінің профессоры Барри Джунипер ерекше рөл атқарды. Ол 2002 жылы жүргізілген молекулалық-генетикалық зерттеулер негізінде *Malus sieversii* қазіргі мәдени алма сорттарының барлығының арғы тегі екенін дәлелдеді. Оның зерттеулері мәдени сорттар Батысқа ғасырлар бойы таралғанына қарамастан, олардың генетикалық құрылымы жабайы алмамен сәйкестігін сақтап қалғанын көрсетті. Бұл деректерді еуропалық ғалымдар тобы толықтай растады. (А. Д. Джанғалиев 1977; А.Д. Джанғалиев 2003: 29:63-303).

Осылайша, Алматы мемлекеттік табиғи қорығы – планетарлық маңызы бар Сиверс алмасының табиғи популяциялары сақталған бірегей табиғи аумақ болып табылады. Бұл зерттеу *Malus sieversii*-дің қазіргі ареалдарын анықтауға, оның биіктік бойынша таралуын, сандық және популяциялық құрылымын, сондай-ақ түрдің сақталуына және табиғи қалпына келуіне әсер ететін факторларды айқындауға бағытталған.

Материалдар мен әдістер

Зерттеу жұмыстары Алматы мемлекеттік табиғи қорығының аумағында 2023–2025 жылда-

ры жүргізілді. Бақылау объектісі ретінде Сиверс алмасы (*Malus sieversii* Ledeb. M. Roem) алынды. Далалық зерттеулер негізінен Есік және Талғар учаскелерінде, 1200–1934 м абсолюттік биіктік аралығында жүргізілді. Бұл аймақтар негізінен аралас жапырақты ормандармен, кейбір жерлерде қылқан жапырақты шыршалы орман белдеулерімен сипатталады. Әрбір сынақ алаңында алмалардың жалпы саны, олардың жастық құрылымы, биіктігі мен диаметрі тіркелді. Популяцияның табиғи жаңаруын анықтау мақсатында жас шыбықтар мен өркендердің саны есептелді.

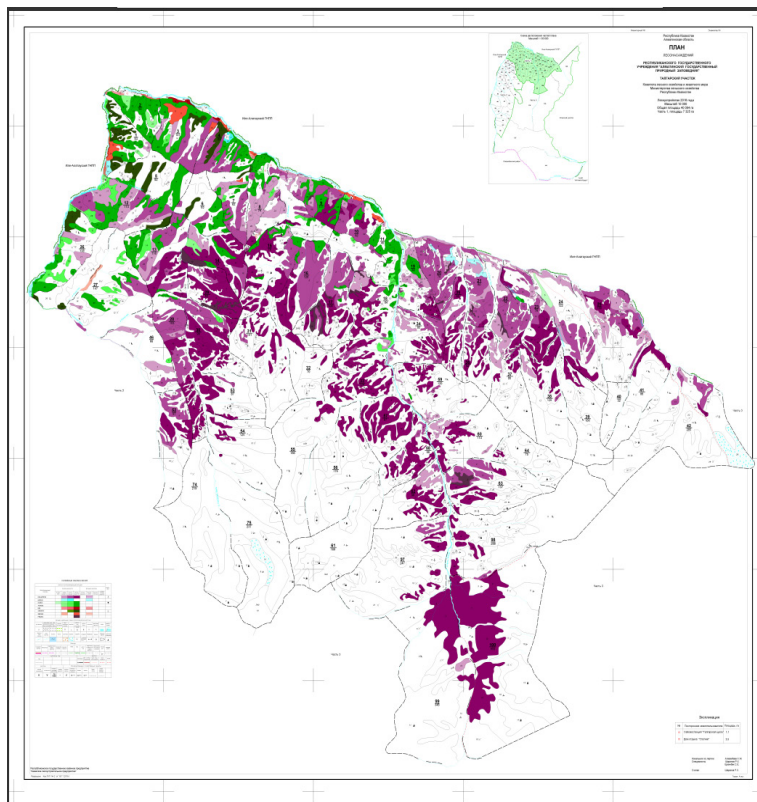
Геоботаникалық сипаттамада түрлік құрам, өсімдік қауымдастықтарының жамылғысы және экологиялық жағдайлары ескерілді. Далалық мәліметтерді жинау барысында GPS-координаттар, әрбір учаскенің биіктік белдеуі, экспозициясы мен еңістігі белгіленді. Флоралық құрамды толықтыру мақсатында гербарий үлгілері жиналып, қорықтың ғылыми қорына тапсырылды. Алынған деректер статистикалық өңдеуден өткізіліп, популяцияның қазіргі жағдайы, ареалдың таралу ерекшеліктері және биіктік бойынша бөліну динамикасы анықталды. Зерттеу барысында Сиверс алмасының фенологиялық фазалары да бақылауға алынды. Бұған бүршіктену, гүлдену, түйін түзілу және жеміс беру, сондай-ақ жапырақтардың сарғаюы мен түсу кезеңдері кірді. Биіктік белдеулері мен ауа райы жағдайларына байланысты әрбір фазаның басталу уақыты мен ұзақтығы талданды. Материалдарды жинау мен талдау популяцияның қазіргі жағдайын, ареалдың таралуын, биіктік бойынша бөлінуін, табиғи жаңару және экологиялық өзара әрекеттестіктерін анықтауға мүмкіндік берді.

Алматы мемлекеттік табиғи қорығы аумағында жоғары сатыдағы өсімдіктердің 960 түрі кездеседі. Олардың 29 түрі Қызыл кітапқа енгізілген. (Красная книга Казахстана. И.О. Байтулин Г.Т. Ситпаева. 2014: 452), (Государственный кадастр растений Южно-Казахстанской области. Красная Книга. Дикорастущие редкие и исчезающие виды растений. Изд. «Ғылым», Алматы, 2002.)

14 түр индикаторлық түр болып табылады. Сиверс алмасы (*Malus sieversii*) әлемдегі барлық мәдени алмалардың арғы атасы болып табылады. 2016 жылғы Орман орналастыру жоспарына сәйкес, Сиверс алмасы Алматы қорығында 23,9 гектар жерге таралған. (Лесоустроительный проект Республиканского государственного учреждения «Алматинский государственный природный заповедник» Таксационные описания

Талгарского участка. ТОМ 3. Алматы 2016 год)
Ол қызғылт сары түспен белгіленіп, негізінен
Оң Талғар шатқалында және Сол Талғар шат-

қалында өседі. Бұл аймақтардың тау беткейлері
мен өзен аңғарлары алманың өсуі үшін ең қолай-
лы мекен болып табылады.



1-сурет – Алматы қорығы аумағында Сиверс алмасының таралу аймақтары

Сиверс алмасы (*Malus sieversii*) – биологиялық әртүрлілікті сақтау тұрғысынан маңызы өте зор. Сиверс алмасы топырақты эрозиядан қорғауға, ауаны оттегімен байытуға және экожүйенің тепе-теңдігін сақтауға көмектеседі. Құрғақшылыққа, аязға және зиянкестерге төзімділігімен ерекшеленеді, бұл оларды селекция және жаңа сорттар шығару үшін құнды генетикалық материал екенін айқындайды. Бұл түрдің ерекше құндылығы – ол бірегей ұрық плазмасының сақтаушысы, барлық сорттардың арғы атасы (Harris, Robinson, Juniper, 2002; Morgan, Richards, Dowle, 2002). Ағаштың орташа өмір сүру ұзақтығы 50 – 100 жылды құрайды. Алма жемістерін табиғи жағдайда жабайы жануарлар, әсіресе, аюлар, құстар және басқа да орман мекендеушілері үшін азық көзі болып табылады. Сиверс алмасының жемістері шілде мен қыркүйек айлары аралығында піседі. Жемістерінің көлемі, түсі, пішіні және дәмі әртүрлі болып келеді. Ағаштың биіктігі 3-13 метрге дейін өседі.

Жапырақтары ірі, жалпақ қандауырша пішінді, ал сабағы түкті. Гүлдері ірі, диаметрі шамамен 0,8-1 см, ақ түсті және шатыр тәрізді шашақтарға жиналған.

Сиверс алмасының (*Malus sieversii*) тозандану және таралу механизмдері

Бүгінде қорық «Іле Алатауы», «Көлсай көлдері» ұлттық парктерімен шектеседі. (М.С. Айнабеков, Р. М. Туреханова, А.А. Иващенко 2012: 238-241; М.С. Айнабеков, Р.М. Туреханова 2015:15-16)

Қазақстандағы елді мекендермен шектеспейтін жалғыз мемлекеттік қорық ретінде Алматы қорығы табиғи ортаның тазалығын сақтауда ерекше рөл атқарады. Бұл аумақ шын мәнінде генетикалық резерват болып табылады. Көптеген аймақтарда өсімдік тұқымдары мутациялық өзгерістерге ұшыраған болса, Алматы қорығында табиғи қалпы бұзылмаған, генетикалық тұрғыдан таза популяциялар сақталған. Әсіресе Си-

верс алмасының осы жердегі генетикалық қоры әлемдік деңгейде маңызды.

Алматы мемлекеттік табиғи қорығының айналасында ауыл шаруашылығы жерлерінің болмауы антропогендік қысымды төмендетіп, өсімдік қауымдастықтарының табиғи дамуына қолайлы жағдай жасайды. Мұндағы өсімдіктердің тозандануы тек табиғи жолмен – жәндіктер арқылы жүзеге асады. Бұл жағдайда тозандандырушы жәндіктер адам араласуынсыз, табиғи ортада өсіп шыққан таза өсімдіктерді ғана тозандандырады. Соның нәтижесінде Сиверс алмасы (*Malus sieversii*) мен басқа да өсімдік түрлері мутациялық өзгерістерге ұшырамай, бастапқы генетикалық қалпын сақтап келеді. (Cory S. Sheffield, Hien T. Ngo, Nadine Azzu 2016: 5-12)

Сиверс алмасының тозандануы негізінен энтомофилиялық жолмен, яғни жәндіктердің қатысуымен жүреді. Бұл құбылыс өсімдіктің гүл морфологиясымен және оның экологиялық бейімделу стратегияларымен тығыз байланысты. Сонымен қатар тұқымдардың таралуында жануарлардың рөлі де айрықша. АҚШ-тың Корнелл университетінің профессоры Herb Aldwinckle жүргізген зерттеулерінде қоңыр аюлардың (*Ursus arctos*) жеген жемістерінің тұқымдары ас қорыту жүйесінен зақымданбай өтіп, өңгіштік қасиетін ұзақ уақыт бойы сақтайтыны анықталған. Бұл дерек зоохориялық таралу механизмінің тиімділігін және жануарлар мен өсімдіктер арасындағы симбиотикалық өзара әрекеттестіктің маңыздылығын дәлелдейді. (Alberto García-Rodríguez, Jörg Albrecht, Sylwia Szczutkowska, Alfredo Valido, Nina Farwig & Nuria Selva 2021: 1282)

Алматы қорығы аумағында Сиверс алмасының генетикалық тазалығы тек қатаң қорғау режимінің нәтижесінде ғана емес, сонымен қатар табиғи тозандану мен тұқымдардың жануарлар арқылы таралуының өзара үйлесімділігінің арқасында қамтамасыз етіледі.

Алматы мемлекеттік табиғи қорығы аумағында жүргізілген бақылаулар да осы деректерді қуаттайды. *Malus sieversii* тұқымдары қоңыр аюлардың ас қорыту жүйесінен өткеннен кейін де тіршілік қабілетін жоғалтпай, табиғи ортада сәтті өнеді. Қорық аумағында қазіргі таңда шамамен 40-қа жуық Тянь-Шань қоңыр аюы (*Ursus arctos isabellinus*) мекендейді. Олар жеміс жинау барысында ағаштың бұтақтарын сындырып, көбіне ірі әрі тәтті жемістерді тандап жейді. Мұндай селективті қоректену тәсілі тұқымдардың

алыс қашықтықтарға таралуына ықпал етеді. (Çağatay Tavşanoğlu, Duygu Deniz Kazancı, Anıl Soyumert, Alper Ertürk, Cihan Ünal Değirmenci 2021: 137-147; B.E. Juniper 2007: 44)

Сонымен қатар, энтомохориялық тетіктің қосалқы элементі ретінде көңқоңыздардың (Scarabaeidae) рөлі ерекше. Олар жануарлардың нәжісімен бірге түскен алма тұқымдарын топыраққа көміп, органикалық заттарға бай ортада өскіндердің пайда болуына жағдай жасайды. Бұл өз кезегінде тұқымдардың табиғи жаңаруын күшейтіп, популяциялардың тұрақтылығына қолдау көрсетеді.

Осы күрделі өзара әрекеттестік жүйесінің нәтижесінде Сиверс алмасының табиғи ареалы кеңейіп, қазіргі жабайы алма ормандарының негізі қаланған. Демек, қоңыр аюлар тек жеміс тұтынушысы ғана емес, сонымен қатар Тянь-Шань экожүйелеріндегі *Malus sieversii* популяцияларының генетикалық әртүрлілігін және кеңістіктік динамикасын қамтамасыз ететін негізгі таратушы агенттер болып табылады.

Жүргізілген ғылыми зерттеулер. Сиверс алмасының (*Malus sieversii*) фенологиялық фазалары. Сиверс алмасына (*Malus sieversii*) жүргізілген фенологиялық бақылаулар өсімдіктің дамуындағы төрт негізгі фазаны анықтауға мүмкіндік берді. Бұл фазалар өсімдіктің биологиялық ерекшеліктерін және табиғаттағы маусымдық өзгерістерді көрсетеді. Фенологиялық фазалардың басталу уақыты генотиптің орналасу биіктігіне тәуелді болып, әрбір биіктік белдеуде жыл мезгілі мен ауа райына байланысты айтарлықтай өзгеріп отырады.

Вегетациялық кезең. Бұл кезең бүршіктердің ісініп, ашылуынан басталады. Бақылау нәтижесінде ол наурыз айының соңынан сәуір айының ортасына дейін байқалды. 1326–1628 м биіктікте орналасқан үлгілерде бүршіктің жаруы 8–13 күнге, гүлдеудің басталуы 7–10 күнге, гүлдеудің аяқталуы 3–11 күнге, ал жемістің пісіп-жетілу кезеңі 15 күнге дейін өзгерді. Гүлдеу күні алма өндірісі үшін маңызды көрсеткіш болып табылады және генотипке байланысты айтарлықтай өзгереді. Кеш гүлдейтін алмалар көктемгі үсікке аз ұшырайды (E.Eccel, R.Rea, A.Caffarra, A.Crisci 2009: 53:273-286.). Вегетацияның басталуы топырақтың жылынуы мен күн ұзақтығына тығыз байланысты. Кезеңнің соңы жапырақтардың сарғаюы мен түсуімен сипатталады, процесс қыркүйектің соңынан қазан айының ортасына дейін созылады.



2-сурет – Тянь-Шань қоңыр аюының (*Urbus arctos isabellinus*) жабайы алма ағашының жемістерін жегеннен кейінгі нәжісі. Сол Талғар шатқалы



3-сурет – Сиверс алма ағашының аюлар сындырған бұтақтары

Бүршіктену кезеңі. Бүршіктену сәуір айының соңғы онкүндігінде басталып, мамыр айының алғашқы күндеріне дейін жалғасады. Осы кезеңде бүршіктер ұлғайып, сыртқы қабықтары жарылып, гүл бүршіктері түзіледі. Процестің ұзақтығы ауа райына тәуелді, көктемгі үсіктер мен температураның күрт төмендеуі әсер етуі мүмкін.

Гүлдену кезеңі. Гүлдену мамыр айының басында басталып, шамамен 10–15 күнге созылды. Гүлдері хош иісті, ақ немесе ашық қызғылт түсті, бал аралары мен басқа да тозандатқыш жәндіктерді тартады. Кезеңнің ұзақтығы ауа температурасы, ылғалдылық және желдің болуына байланысты өзгеріп отырады.

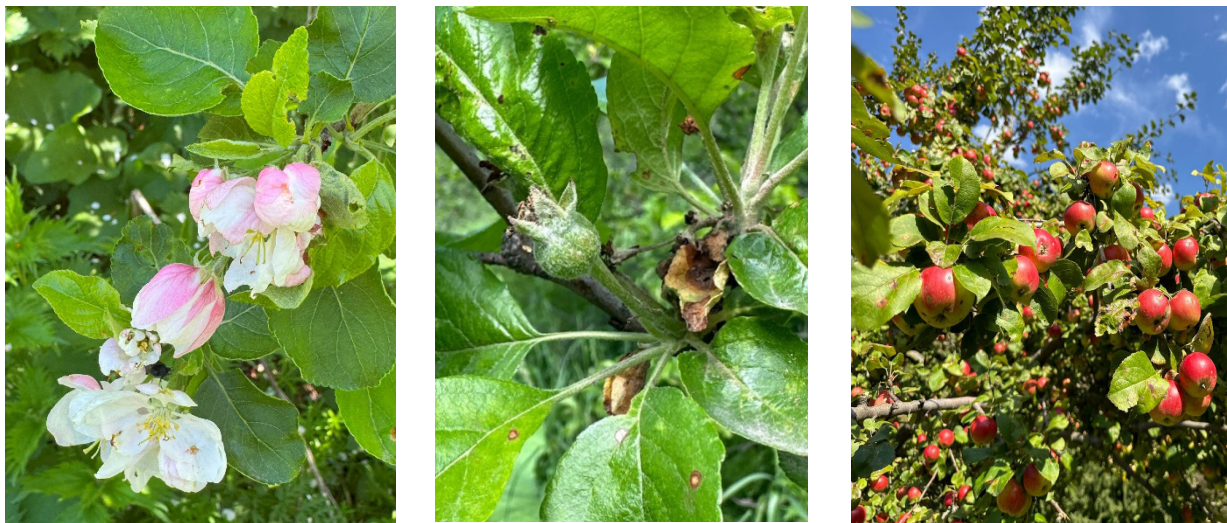
Түйін түзілуі және жеміс беру кезеңі. Мамыр айының соңына қарай гүлден кейін түйіндер түзіліп, маусым–шілде айларында жемістердің өсуі мен пісуі жалғасады. Негізгі жеміс беру кезеңі тамыз–қыркүйек айларында аяқталады. Плоды ұсақ, диаметрі 3–5 см, түсі жасыл-сары немесе қызғылт реңкті, орташа салмағы 20–60 г.

Жапырақтардың сарғаюы мен түсуі. Қыркүйектің ортасынан бастап жапырақтар сарғайып, біртіндеп түседі, процесс қазан айының ортасына дейін созылады. Жапырақтардың сарғаюы өсімдіктің тыныштық кезеңіне өтуінің

және келесі маусымға дайындалуының белгісі болып табылады.

Қорық аумағындағы Сиверс алмасының (*Malus sieversii*) әртүрлілігі оның жоғары генетикалық әлеуетін көрсетеді және аталған түрлерді болашақта табиғи ортада бейімдеп, химиялық құрамы жақсартылған жаңа сорттар шығару мақсатындағы селекциялық бағдарламаларда кеңінен қолдануға мүмкіндік береді.

Қазіргі уақытта Алматы мемлекеттік табиғи қорығының Солтүстік Тянь-Шань орталығындағы Оң Талғар шатқалындағы популяциясы Сиверс алма ағашының перспективалы генетикалық резерваты болып табылады. Бұл популяцияда ағаштардың өзін-өзі жаңартуы уақыт өте келе қарқынды түрде артуда. Соңғы жүз жылдықта орман шаруашылығын тиімді жүргізеудің салдарынан алмалы ормандардың аумағы айтарлықтай қысқарды, бұл табиғи қалпына келу үдерісінің бұзылуына әкелді. Осыған байланысты *Malus sieversii* түрі Қазақстанның Қызыл кітабына (2014) енгізіліп, Халықаралық табиғат қорғау одағы (IUCN, 2007) тарапынан қорғалатын түр ретінде танылды. Бұл ормандарды сақтау жаһандық азық-түлік қауіпсіздігіне және бау-бақша шаруашылығының тұрақты дамуына қосқан маңызды үлес болып табылады.



4-6-сурет – Сиверс алмасын фенологиялық бақылау

2022 жылы Алматы мемлекеттік табиғи қорығы аумағында Сиверс алмасының (*Malus sieversii*) жемістерін жинау бойынша арнайы ғылыми-зерттеу жұмыстары жүргізілді. Зерттеуге А.Д. Жанғалиев атындағы жеміс өсімдіктерінің гендік қорын және интродукциясын қорғау зертханасының мамандары қатысты. Арнайы технологиялар негізінде дайындалған тұқымдардан өсірілген көшеттер генетикалық әртүрлілікті сақтау және байыту мақсатында қолданылды. Сонымен қатар, көшеттердің табиғи орта жағдайына бейімделу мүмкіндігі зерделенді.

2024 жылдың қазан айының соңында Алматы қорығының ғылым бөлімінің қызметкерлері, «Ботаника және фитоинтродукция институты» мамандарымен бірге қорық аумағының Талғар бөлімшесінің Сол Талғар шатқалына барып, ғылыми зерттеу шеңберінде Сиверс алмасын қайта табиғи ортаға бейімделу мүмкіндігін зерттеу жұмыстарын жүргізген. Бұл мақсатта, Сол Талғар шатқалының 5 орам, 9 телімге барлығы 15 түп Сиверс алма ағашының 1 жылдық көшеттері отырғызылған. Осы 15 түп алма ағашының тұқымдары қорық аумағынан жиналып, ғылыми зерттеу мақсатында Ботаника институтының зертханасында өсірілді.

2025 жылғы бақылау барысында ғылыми зерттеу мақсатында отырғызылған кейбір жас алма ағаштарының жапырақтары жартылай өспеген немесе мүлдем болмағаны байқалды. **Жас алма ағашында жапырақтардың шықпауының бірнеше себептері** болуы мүмкін:

1. Тамыр жүйесінің зақымдануы Жас алма ағашының өсуінің баяулауы немесе жапырақ-

тардың мүлде болмауы тамыр жүйесінің бұзылуымен байланысты болуы мүмкін. Бұл жағдайдың негізгі себептері – топырақтың шамадан тыс құрғауы немесе керісінше, шамадан тыс ылғалдануы, сондай-ақ отырғызу немесе қайта отырғызу барысында тамырлардың механикалық зақымдануы. Мұндай жағдайда ағашта жапырақтар әлсіз немесе солыққы күйде дамиды, кейде мүлде шықпайды.

2. Аурулар мен зенді инфекциялар

Жас алма ағаштарында жапырақтың толық қалыптаспауына фитопатогендік аурулар да әсер етуі мүмкін. Мәселен, фузариоз, тамыр шірігі, бактериялық күйік секілді аурулар өсімдіктің тіршілік әрекетін тежейді. Бұл аурулармен зақымданған ағаштарда өркендер қарайып, жапырақтар қурап қалады, ал өсімдіктің өсуі деформацияланған түрде жүреді.

3. Зиянкестердің әсері

Жапырақтардың бұрмалануы, толық дамымауы немесе жартылай жетілуі зиянкестердің әсерінен орын алуы мүмкін. Мысалы, тля, өрмекші кене және қабықжегі қоңыздардың дернәсілдері жас өскіндерге зиян келтіріп, жапырақтардың дұрыс қалыптасуына кедергі жасайды. Бұл жағдайда жапырақтарда бұралулар, тесіктер немесе паутиналар байқалады.

4. Қолайсыз ауа-райы жағдайлары

Көктемгі кеш үсіктер, қатты жел немесе ұзаққа созылған құрғақшылық сияқты табиғи факторлар да ағаштың фенологиялық дамуына теріс әсер етуі мүмкін. Бұл жағдайда бүршіктер ашылмай, жапырақтар толық дамымай немесе күннен күйіп кеткен күйде көрінеді.



7-сурет – Сиверс алмасы отырғызылған карта
Сол Талғар шатқалы 5 орам 9 телім

**Сол Талғар шатқалына отырғызылған 15 түп Сиверс алма ағашының
2024-2025 жылғы салыстырмалы жәй-күйі**

1-кесте – 2024–2025 жылдардағы жас ағаш формаларының өсуі мен физиологиялық күйі

Түрідің атауы	Биіктігі (2024 ж. қазан)	Фенофаза (2024 ж. қазан)	Жасы (2024 ж.)	Биіктігі (2025 ж. маусым)	Фенофаза (2025 ж. маусым)	Жасы (2025 ж.)	Өсу жағдайы
1-форма	80см	Жапырақтың сарғаюы	1	130см	Жасыл жапырақтарының толық дамуы	2	Жапырағы толық бар. Өсуі жақсы.
2-форма	70см	Жапырақтың сарғаюы	1	105см	Жасыл жапырақтарының толық дамуы	2	Жапырағы толық бар. Өсуі жақсы
3-форма	90см	Жапырақтың сарғаюы	1	136см	Жасыл жапырақтарының толық дамуы	2	Жапырағы жартылай жоқ
4-форма	60см	Жапырақтың сарғаюы	1	100см	Жасыл жапырақтарының толық дамуы	2	Жапырағы толық бар. Өсуі жақсы
5-форма	80см	Жапырақтың сарғаюы	1	110см	Жасыл жапырақтарының толық дамуы	2	Жапырағы жартылай жоқ
6-форма	90см	Жапырақтың сарғаюы	1	135см	Жасыл жапырақтарының толық дамуы	2	Жапырағы толық бар. Өсуі жақсы
7-форма	80см	Жапырақтың сарғаюы	1	115см	Жасыл жапырақтарының толық дамуы	2	Жапырағы толық бар. Өсуі жақсы.
8-форма	100см	Жапырақтың сарғаюы	1	160см	Жасыл жапырақтарының толық дамуы	2	Жапырағы толық бар. Өсуі жақсы.
9-форма	90см	Жапырақтың сарғаюы	1	145см	Жасыл жапырақтарының толық дамуы	2	Жапырағы мүлдем жоқ.
10-форма	60см	Жапырақтың сарғаюы	1	100см	Жасыл жапырақтарының толық дамуы	2	Жапырағы толық бар. Өсуі жақсы

Түрідің атауы	Биіктігі (2024 ж. қазан)	Фенофаза (2024 ж. қазан)	Жасы (2024 ж.)	Биіктігі (2025 ж. маусым)	Фенофаза (2025 ж. маусым)	Жасы (2025 ж.)	Өсу жағдайы
11-форма	70см	Жапырақтың сарғаюы	1	115см	Жапырағы мүлдем жоқ.	2	Жапырағы мүлдем жоқ.
12-форма	110см	Жапырақтың сарғаюы	1	160см	Жасыл жапырақтарының толық дамуы	2	Жапырағы толық бар. Өсуі жақсы.
13-форма	130см	Жапырақтың сарғаюы	1	180см	Жасыл жапырақтарының толық дамуы	2	Жапырағы толық бар. Өсуі жақсы
14-форма	50см	Жапырақтың сарғаюы	1	85см	Жасыл жапырақтарының толық дамуы	2	Жапырағы толық бар. Өсуі жақсы.
15-форма	90см	Жапырақтың сарғаюы	1	148см	Жасыл жапырақтарының толық дамуы	2	Жапырағы жартылай жоқ

2025 жылы жүргізілген ғылыми зерттеулер мен бақылаулар бойынша қорық аумағының Талғар бөлімшесіндегі Оң Талғар шатқалындағы Сиверс алмасының (*Malus sieversii*) жаңа өскіндері 40% -ды құрады. Оң Талғар шатқалының «Монах» сайында теңіз деңгейінен 1830 м биіктікте өсіп тұрған бір түп алма ағашының үстіне көктерек құлаған, биіктігі 5 м, түйін тастамаған. Теңіз деңгейінен 1926 м биіктікте 4 түп алма ағашы өсіп тұр, биіктігі 5-6 м, диаметрі 55 см, түйін тастамаған. Дәл қазіргі уақытта, қорық аумағын-

да Сиверс алмасының ең биік кездескені теңіз деңгейінен 1934 м биіктікте соқпақтың бойынан бір түп жас алма ағашы өсіп шыққан, биіктігі 1 м, диаметрі 2 см. Қорық аумағындағы ең көне ағаш, Оң Талғар шатқалындағы №5 қызметтік кордонының жанында өсіп тұр, ені 78 см жасы 117 жыл.

2025 жылдың мамыр айының басында күннің суытуына байланысты алма ағаштары үсікке шалдықты. Нәтижесінде, қорық аумағының Оң Талғар және Сол Талғар шатқаладындағы алма ағаштарының басым бөлігі түйін тастамады.



8-сурет – Оң Талғар шатқалының «Монах» сайында
Теңіз деңгейінен 1926 м биіктікте
4 түп алма ағашы



9-сурет – Оң Талғар шатқалының «Монах» сайында
теңіз деңгейінен 1934 м биіктікте
бір түп жас алма ағашы

Нәтижелер және талқылау

Зерттеу нәтижелері көрсеткендей, Алматы мемлекеттік табиғи қорығының Солтүстік Тянь-Шаньдағы Оң Талғар шатқалындағы Сиверс алмасының (*Malus sieversii*) популяциясы жоғары генетикалық әртүрлілікпен ерекшеленіп, перспективалы генетикалық резерват ретінде бағаланады. 2023–2025 жылдардағы бақылаулар жас өскіндердің тұрақты түрде жаңарып отырғанын көрсетті. Дегенмен климаттық және биотикалық факторлар фенологиялық фазалардың өтуіне айтарлықтай ықпал етуде.

2025 жылы жүргізілген бақылаулар нәтижесінде жаңа өскіндердің саны жалпы үлестің шамамен 40%-ын құрады. Кейбір дарактар табиғи және антропогендік әсерлердің салдарынан түйін түзбеді. Мысалы, «Манах» сайында теңіз деңгейінен 1830 м биіктікте өсіп тұрған ағаш үстіне көктеректің құлауы салдарынан түйін түзілмеген. 1926 м биіктікте орналасқан 4 түп алма ағашы (биіктігі 5–6 м, диаметрі 55 см) де түйін бермеді. Ең жас және орналасуы биік өскін 1934 м биіктікте өсіп шықты, оның биіктігі – 1 м, диаметрі – 2 см. Мамыр айындағы қатты суық салдарынан Оң және Сол Талғар шатқалдарындағы ағаштардың басым бөлігінде түйін түзілу процесі аз болды.

Фенологиялық зерттеулер Сиверс алмасының дамуы төрт негізгі кезеңмен жүретінін айқындады: бүршіктену, гүлдену, түйін түзілу және жеміс беру, сондай-ақ жапырақтардың сарғаюы мен түсуі. Әр кезеңнің басталуы мен ұзақтығы биіктік белдеуіне және ауа райы жағдайларына байланысты өзгереді. Кеш гүлдейтін генотиптер көктемгі үсікке аз ұшырайды, бұл олардың селекциялық тұрғыдан құндылығын арттырады. Жемістердің диаметрі орта есеппен 3–5 см, түсі жасыл-сарыдан қызғылт реңкке дейін, салмағы 20–60 г аралығында.

Шетелдік зерттеушілердің (Volk, G.M., Henk, A. D., Richards, C. M., Forsline, P. L., T., Reeves Chao, C., P. A., & Aldwinckle, H. S. 2008: 1323–1327). еңбектерінде *Malus sieversii* түрінің мәдени алма сорттарының генетикалық ататеі екендігі дәлелденген. Бұл тұжырымдарды Қазақстандағы соңғы жылдардағы зерттеулер (G.T. Sitpayeva, G. K. Sadykova & D.A. Yermekbaeva 2023: 45–53; G. Mukan, A. Duman, L. Shadmanova, A. Sankaibaeva, T. Kidarbek 2023.) де растады. Биохимиялық және морфологиялық зерттеулер қазақстандық үлгілердің төзімділік, жемістілік және сапа көрсеткіштері бойынша Қытай мен Қырғызстандағы ұқсас популяциялардан басым

екенін көрсетті.

Сиверс алмасы экологиялық тұрғыдан да маңызды рөл атқарады: топырақты эрозиядан қорғайды, атмосфераны оттегімен байытады және жануарлар үшін азық көзі болып табылады. Ағымдағы зерттеулер зоохория (жануарлар арқылы тұқым таралуы) және энтомохория (жәндіктер арқылы тозаңдану) механизмдерінің табиғи жаңаруға қосатын үлесін айқындады. Қоңыр аюлар мен көңқоңыздардың қатысуымен тұқымдардың таралуы Сиверс алмасының ареалының кеңеюіне және жабайы алмалы ормандардың қалыптасуына ықпал етуде.

Жалпы алғанда, Сиверс алмасы – алма шаруашылығында селекциялық жұмыс үшін генетикалық әртүрліліктің қайнар көзі. Оның генотиптері кеш гүлдеуімен, ірі жемістерімен, ауруларға төзімділігімен, құрғақшылыққа және төмен температураларға бейімділігімен ерекшеленеді. Бұл қасиеттер қазіргі жаһандық климаттық өзгерістер жағдайында аса құнды. Сондықтан табиғи популяцияларды сақтау, зерттеу және көбейту Қазақстанның биологиялық әртүрлілігін қорғау, сондай-ақ болашақ ұрпақ үшін генетикалық және экологиялық ресурстарды сақтап қалудың маңызды қадамы болып табылады.

Қорытынды

Алматы мемлекеттік табиғи қорығының Солтүстік Тянь-Шань орталығындағы Оң Талғар шатқалындағы Сиверс алма ағаштары (*Malus sieversii*) популяциясы жоғары генетикалық әртүрлілікке ие және перспективалы генетикалық резерват болып табылады. 2023–2025 жылдардағы зерттеулер мен фенологиялық бақылаулар көрсеткендей, Сиверс алмасы бүршіктену, гүлдену, түйін түзілу және жеміс беру, сондай-ақ жапырақтардың сарғаюы мен түсу сияқты негізгі даму фазалары арқылы өтеді, ал әр фазаның басталуы мен ұзақтығы биіктік белдеуі мен ауа райы жағдайларына тәуелді. Популяциядағы жас өскіндер мен табиғи жаңару процесі тұрақты түрде жүруде, алайда қатты суық, ауа райының қолайсыз жағдайлары, аурулар мен зиянкестер кейбір жас ағаштардың түйін түзілуіне кедергі жасайды. Сиверс алмасы барлық мәдени алма сорттарының генетикалық ататеі болып табылады, оның генотиптері селекциялық құндылығы жоғары, кеш гүлденуге, климаттық факторларға төзімді, жеміс өнімділігі мен сапасы жоғары. Сонымен қатар, Сиверс алмасы экологиялық тұрғыдан маңызды рөл атқарады: ол топырақты эрозиядан қорғайды, ауаға оттегі

бөліп шығарады, жабайы жануарларға азық көзі болып табылады және тұқымдардың табиғи таралуында зоохория мен энтомохория механизмдері маңызды. Табиғи популяцияларды сақтау, зерттеу және көбейту Қазақстанның биологиялық әртүрлілігін қорғауға, алма селекциясы мен орманды қалпына келтіру бағдарламаларында генетикалық ресурстарды тиімді пайдалануға мүмкіндік береді, бұл түрдің ғылыми және практикалық маңыздылығын айқын көрсетеді.

Елді мекендермен шектеспейтін Қазақстандағы жалғыз мемлекеттік қорық ретінде ол өсімдіктердің табиғи генетикалық қорын сақтауда айрықша рөл атқарады.

Қорық маңында ауыл шаруашылығы жерлерінің болмауы антропогендік әсердің төмен бо-

луын қамтамасыз етеді. Мұндағы өсімдіктердің тозандануы табиғи жолмен – жәндіктер арқылы жүзеге асады. Осындай жағдайларда тозандандырушы жәндіктер таза популяциялар арасында ғана тозаң алмасуын қамтамасыз етеді, нәтижесінде Сиверс алмасы (*Malus sieversii*) генетикалық тұрғыдан бастапқы табиғи қасиеттерін сақтап, мутациялық өзгерістерге ұшырамайды.

Жалпы алғанда, Алматы мемлекеттік табиғи қорығында сақталған Сиверс алмасының популяциялары Қазақстанның биологиялық алуан түрлілігін қорғауда ғана емес, сонымен қатар әлемдік алма селекциясында және орман экосистемелерін қалпына келтіру бағдарламаларында ерекше құнды генетикалық ресурс ретінде бағаланады.

Әдебиеттер

- Еңкебайұлы Ж., Сәтімбекұлы Р., Жапарұлы Б. Алматы мемлекеттік табиғи қорығы – Алатаудың ажары. 2007 г. С. 85 – 87.
- Жапарұлы Б., Маметов С. Алматы мемлекеттік табиғи қорығының өсімдіктер және жануарлар әлемі. Т. III. 2006. С. 3 – 7
- Байтұрбаев Қ.Н., Жаныспаев А.Д., Сапарбаев С.Қ., Вишневская А.В. Алматы қорығына 80 жыл журнал. Алматы, 2011. С. 14 – 16.
- P. Forsline, H. Aldwinckle, E. Dickson, J. Luby, S. Hokanson. «Collection, Maintenance, Characterization, and Utilization of Wild Apples of Central Asia» 2010. 1-61.
https://www.semanticscholar.org/paper/Collection%2C-Maintenance%2C-Characterization%2C-and-of-Forsline_Aldwinckle/d81e2d834aa387aace8ceb76fb0c977dfe4e9637?utm_source=direct_link
- Джангалиев А. Д. (1977). Қазақстанның жабайы алма ағашы. Алматы.
- Джангалиев А. Д. (2003). Қазақстанның жабайы алма ағашы. 29:63-303. <https://doi.org/10.1002/9780470650868.ch2>.
- Красная книга Казахстана. -Изд.2-е исп. и доп. Т. 2. Ч. 1. Растения / гл. ред. И. О. Байтулин, отв. ред. Г. Т. Ситпаева. Астана 2014. 452.
(https://adilet.zan.kz/kaz/docs/P060001034/_history)
- Государственный кадастр растений Южно-Казахстанской области. Красная Книга. Дикорастущие редкие и исчезающие виды растений. Изд. «Ғылым», Алматы, 2002.
- Лесоустроительный проект Республиканского государственного учреждения «Алматинский государственный природный заповедник» Таксационные описания Талгарского участка. ТОМ 3. Алматы 2016
- Harris, S. A., Robinson, J. P., & Juniper, B. E. (2002). Genetic clues to the origin of the apple. Trends in Genetics, 18(8), 426–430 [https://doi.org/10.1016/S0168-9525\(02\)02689-6](https://doi.org/10.1016/S0168-9525(02)02689-6)
- Морган Дж., Ричардс А., Доул Э. (2002). Новая книга о яблоках. – Лондон. – 316.
- О сохранении дикой яблони и абрикоса на территории Иле – Алатауского ГНПП
- М. С. Айнабеков, Р. М. Туреханова, А. А. Иващенко. Вестник КазНУ. Серия экологическая. 2012. №1. 238-241.
- «Яблоня Сиверса в Иле-Алатауском национальном парке: результаты и перспективы мониторинга» М.С. Айнабеков, Р.М. Туреханова 2015г. 15-16. https://www.acbk.kz/elfinder/files/Data%20zone/Library/theriology/ile_alatauskogo_gnpp_2015_1.pdf
- Cory S. Sheffield, Hien T. Ngo, Nadine Azzu «A MANUAL ON APPLE POLLINATION» 2016. 5-12 https://openknowledge.fao.org/server/api/core/bitstreams/001d5e02-62b8-4506-9ee5-01f011f357d8/content?utm_source=chatgpt.com
- «The role of the brown bear *Ursus arctos* as a legitimate megafaunal seed disperser»
- Alberto García-Rodríguez, Jörg Albrecht, Sylwia Szczutkowska, Alfredo Valido, Nina Farwig & Nuria Selva 1282 p. 2021 <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/33446727/?utm>
- «Seed dispersal by the brown bear in a mixed temperate forest: fruit type matters» Çağatay Tavşanoğlu, Duygu Deniz Kazancı, Anıl Soyumert, Alper Ertürk, Cihan Ünal Değirmenci 2021, 137-147 <https://www.researchgate.net/publication/346953744>
- American Scientist . Juniper B.E. 2007, 44 «The Mysterious Origin of the Sweet Apple».
- Eccel, E, Rea, R, Caffarra, A, Crisci A.. «Risk of spring frost to apple production under future climate scenarios: the role of phenological acclimation.» Int J Biometeorol. 2009: 53:273-286. <https://doi.org/10.1007/s00484-009-0213-8>.
- Volk, G. M., Henk, A. D., Richards, C. M., Forsline, P. L., T., Reeves Chao, C., P. A., & Aldwinckle, H. S.. «Genetic diversity and disease resistance of wild *Malus orientalis* from Turkey and southern Russia». Hort Science, 2008: 43(5); 1323–1327.
- Sitpayeva, G. T., Sadykova, G. K., & Yermekbaeva, D. A.. Conservation priorities for wild apple forests in Kazakhstan based on ecological and genetic studies. Central Asian Journal of Plant Science Innovation, 2023: 3(1), 45–53.
- G. Mukan, A. Duman, L. Shadmanova, A. Sankaibaeva, T. Kidarbek «Evaluation of promising genotypes of *Malus sieversii* in the Almaty biosphere reserve» https://www.actahort.org/books/1412/1412_9.htm “Acta Horticulturae” журналы <https://www.ishs.org/ishs-book/1412>

References

- Enkebauly, Zh., Sätimbekuly, R., and Zhaparuly, B. 2007. *Almaty memlekettik tabiği qoryғы – Alataudyń ajary*. 85–87 pp.
- Zhaparuly, B., and Mametov, S. 2006. *Almaty memlekettik tabiği qoryғыnyń ösimdikter jáne janárlar álemi*. Vol. III, 3–7 pp.
- Baiturbaev, Q. N., Zhanyspaev, A. D., Saparbaev, S. Q., and Vishnevskaya, A. V. 2011. *Almaty qoryғыna 80 zhul*. Almaty: zhurnal, 14–16 pp.
- Forsline, P., H. Aldwinckle, E. Dickson, J. Luby, and S. Hokanson. 2010. “Collection, Maintenance, Characterization, and Utilization of Wild Apples of Central Asia.” 1–61. <https://www.semanticscholar.org/paper/Collection%2C-Maintenance%2C-Characterization%2C-and-of-Forsline-Aldwinckle/d81e2d834aa387aace8ceb76fb0c977dfe4e9637>.
- Dzhangaliev, A. D. 1977. *Qazaqstannyń zhabai alma aғashy*. Almaty.
- Dzhangaliev, A. D. 2003. *Qazaqstannyń zhabai alma aғashy*. 29: 63–303. <https://doi.org/10.1002/9780470650868.ch2>.
- Baitulin, I. O., and Sitpaeva, G. T., eds. 2014. *Krasnaia kniga Kazakhstana*. 2nd ed., vol. 2, pt. 1: *Rastenii*. Astana: 452 pp. https://adilet.zan.kz/kaz/docs/P060001034/_history.
- Gosudarstvennyi kadastr rastenii Yuzhno-Kazakhstanskoi oblasti. *Krasnaia kniga: dikorastushchie redkie i ischezaiushchie vidy rastenii*. 2002. Almaty: Gylm.
- Lesoustroitel'nyi proekt Respublikanskogo gosudarstvennogo uchrezhdeniia “Almatinskii gosudarstvennyi prirodnyi zapovednik”. *Taksatsionnye opisanii Talgarskogo uchastka*. Vol. 3. Almaty, 2016.
- Harris, S. A., J. P. Robinson, and B. E. Juniper. 2002. “Genetic Clues to the Origin of the Apple.” *Trends in Genetics* 18 (8): 426–430. [https://doi.org/10.1016/S0168-9525\(02\)02689-6](https://doi.org/10.1016/S0168-9525(02)02689-6).
- Morgan, J., A. Richards, and E. Doull. 2002. *Novaia kniga o iablokakh*. London.
- Ainabekov, M. S., R. M. Turekhanova, and A. A. Ivashchenko. 2012. “O sokhraneni dikoi iablони i abrikosa na territorii Ile-Alatau skogo GNPP.” *Vestnik KazNU. Serii Ekologicheskai* 1: 238–241.
- Ainabekov, M. S., and R. M. Turekhanova. 2015. “Iablonia Siversa v Ile-Alatau skom natsional'nom parke: rezul'taty i perspektivy monitoringa.” 15–16 pp. https://www.acbk.kz/elfinder/files/Data%20zone/Library/theriology/ile_alatau skogo_gnpp_2015_1.pdf.
- Sheffield, C. S., H. T. Ngo, and N. Azzu. 2016. *A Manual on Apple Pollination*. Rome: FAO, 5–12. <https://openknowledge.fao.org/server/api/core/bitstreams/001d5e02-62b8-4506-9ee5-01f011f357d8/content>.
- García-Rodríguez, A., J. Albrecht, S. Szczutkowska, A. Valido, N. Farwig, and N. Selva. 2021. “The Role of the Brown Bear (*Ursus arctos*) as a Legitimate Megafaunal Seed Disperser.” *Proceedings of the Royal Society B* 1282. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/33446727/>.
- Tavşanoğlu, Ç., D. D. Kazancı, A. Soyumert, A. Ertürk, and C. Ü. Değirmenci. 2021. “Seed Dispersal by the Brown Bear in a Mixed Temperate Forest: Fruit Type Matters.” 137–147. <https://www.researchgate.net/publication/346953744>.
- Juniper, B. E. 2007. “The Mysterious Origin of the Sweet Apple.” *American Scientist* 44.
- Eccel, E., R. Rea, A. Caffarra, and A. Crisci. 2009. “Risk of Spring Frost to Apple Production under Future Climate Scenarios: The Role of Phenological Acclimation.” *International Journal of Biometeorology* 53: 273–286. <https://doi.org/10.1007/s00484-009-0213-8>.
- Volk, G. M., A. D. Henk, C. M. Richards, P. L. Forsline, C. Chao, P. A. Reeves, and H. S. Aldwinckle. 2008. “Genetic Diversity and Disease Resistance of Wild *Malus orientalis* from Turkey and Southern Russia.” *HortScience* 43 (5): 1323–1327.
- Sitpayeva, G. T., G. K. Sadykova, and D. A. Yermekbaeva. 2023. “Conservation Priorities for Wild Apple Forests in Kazakhstan Based on Ecological and Genetic Studies.” *Central Asian Journal of Plant Science Innovation* 3 (1): 45–53.
- Mukan, G., A. Duman, L. Shadmanova, A. Sankaibaeva, and T. Kidarbek. 2023. “Evaluation of Promising Genotypes of *Malus sieversii* in the Almaty Bioserve.” *Acta Horticulturae* 1412. https://www.actahort.org/books/1412/1412_9.htm.

Авторлар туралы мәлімет:

Абилганиев Дарын Бакытжанович – директор, «Алматы мемлекеттік табиғи қорығы» РММ (Талғар, Қазақстан, e-mail: don717@mail.ru);

Дүйсебаева Макпал Женисовна – аға ғылыми қызметкер, «Алматы мемлекеттік табиғи қорығы» РММ (Талғар, Қазақстан, e-mail: jeniskyzy91@mail.ru).

Information about authors:

Abilganiev Daryn Bakytzhanovich – Director, RSU «Almaty State Nature Reserve» (Talgar, Kazakhstan, e-mail: don717@mail.ru);

Duisebayeva Makpal Zhenisovna – Senior Researcher, RSU «Almaty State Nature Reserve» (Talgar, Kazakhstan, e-mail: jeniskyzy91@mail.ru).

Сведения об авторах:

Абилганиев Дарын Бакытжанович – директор, РГУ «Алматинский государственный природный заповедник» (Талғар, Казахстан, e-mail: don717@mail.ru);

Дүйсебаева Макпал Женисовна – старший научный сотрудник, РГУ «Алматинский государственный природный заповедник» (Талғар, Казахстан, e-mail: jeniskyzy91@mail.ru).

Поступила: 07 октября 2025 года

Принята: 05 декабря 2025 года

2-бөлім
**КАРТОГРАФИЯ ЖӘНЕ
ГЕОИНФОРМАТИКА**

Section 2
**CARTOGRAPHY AND
GEOINFORMATICS**

Раздел 2
**КАРТОГРАФИЯ
И ГЕОИНФОРМАТИКА**

**Zh.K. Mukaliyev^{1,2} , Zh.M. Zhumatayeva^{1*} , A.A. Assylbekova¹ ,
A.A. Bekkuliye^{1,2} , D.S. Onalbayeva³ , T.K. Rafikov³ **

¹Al-Farabi Kazakh National University, Almaty, Kazakhstan

²State Institute of Agricultural Aerial Geodetic Surveys (GISHAGI), Almaty, Kazakhstan

³Kazakh National Agrarian Research University, Almaty, Kazakhstan

*e-mail: zh.mukaliyev@kaznu.kz

REMOTE SENSING-BASED EVALUATION OF LAND DEGRADATION AND MOISTURE VARIABILITY IN POST-NUCLEAR LANDSCAPES OF KAZAKHSTAN

Land degradation and ecosystem imbalance remain major environmental challenges in Kazakhstan, particularly in post-technogenic and radiation-affected territories. The Semipalatinsk Nuclear Test Site represents a unique area for studying long-term landscape transformation and recovery.

This research aims to evaluate land degradation and surface moisture variability between 2019 and 2025 using Sentinel-2 remote sensing data. The methodology integrates the calculation of key spectral indices – SWIR, NDWI, NDVI, and MSI – to assess vegetation dynamics, moisture content, and surface dryness.

Results indicate a noticeable increase in NDVI and NDWI and a decrease in MSI and SWIR, confirming the improvement of soil moisture and vegetation recovery, along with a reduction in aridity. The area of moist and vegetated lands expanded by approximately 20-25 %, demonstrating active natural renaturation processes.

The study highlights the effectiveness of Sentinel-2 multispectral monitoring for ecological rehabilitation assessment in post-technogenic regions of Kazakhstan. The findings contribute to sustainable land management and environmental monitoring in arid landscapes.

Keywords: remote sensing, land degradation, soil moisture, NDVI index, Semipalatinsk Test Site.

Ж.К. Мукалиев^{1,2}, Ж.М. Жұматаева^{1*}, А.А. Асылбекова¹,
А.А. Бекқулиев^{1,2}, Д.С. Оналбаева³, Т.К. Рафигов³

¹Ал-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университеті, Алматы, Қазақстан

²Ауыл шаруашылығы аэрофотогодезиялық іздестіру мемлекеттік институты (АШАИМИ),
Алматы, Қазақстан

³Қазақ ұлттық аграрлық зерттеу университеті, Алматы, Қазақстан

*e-mail: zh.mukaliyev@kaznu.kz

Қашықтықтан зондтау негізінде Қазақстанның ядролық қарудан кейінгі ландшафттарындағы жердің тозуын және ылғалдылықтың өзгерістігін бағалау

Қазақстанда жердің тозуы мен экожүйе тепе-теңдігінің бұзылуы – әсіресе техногендік және радиациялық әсерге ұшыраған аумақтарда – маңызды экологиялық мәселелердің бірі болып қала береді. Семей ядролық сынақ полигоны ландшафттардың ұзақ мерзімді трансформациясы мен қалпына келуін зерттеуге арналған бірегей аймақ болып табылады.

Бұл зерттеу 2019–2025 жылдар аралығындағы жердің тозу динамикасын және жер беті ылғалдылығының өзгерісін Sentinel-2 спутниктік деректерінің негізінде бағалауға бағытталған. Әдістемеді өсімдік жамылғысының өзгерісін, ылғал мөлшерін және жер бетінің құрғау деңгейін талдау үшін негізгі спектралдық индекстер – SWIR, NDWI, NDVI және MSI – есептеу қарастырылған.

Нәтижелер NDVI және NDWI көрсеткіштерінің айтарлықтай артқанын, ал MSI мен SWIR мәндерінің төмендегенін көрсетті. Бұл топырақ ылғалдылығы мен өсімдіктердің қалпына келуінің жақсарғанын және құрғақшылық деңгейінің азайғанын дәлелдейді. Ылғалды және өсімдік жамылғысы бар жерлердің аумағы шамамен 20–25 %-ға ұлғайып, табиғи ренатурация (қалпына келу) үдерістерінің белсенді жүргенін көрсетті.

Зерттеу Sentinel-2 мультиспектралдық мониторингінің Қазақстанның техногендік әсерден кейінгі өңірлерінде экологиялық қалпына келу деңгейін бағалаудағы тиімділігін көрсетті. Алын-

ған нәтижелер құрғақ аймақтардағы жер ресурстарын ұтымды басқару мен экологиялық мониторингті жетілдіруге үлес қосады.

Түйін сөздер: қашықтықтан зондтау, жердің деградациясы, ылғалдылық, NDVI индексі, Семей полигоны.

Ж.М. Мукалиев^{1,2}, Ж.М. Жұматаева^{1*}, А.А. Асылбекова¹,
А.А. Бекқұлиев^{1,2}, Д.С. Оналбаева³, Т.К. Рафигов³

¹Казахский национальный университет имени аль-Фараби, Алматы, Казахстан

²Государственный институт сельскохозяйственных аэрофотогеодезических изысканий (ГИСХАГИ),
Алматы, Казахстан

³Казахский национальный аграрный исследовательский университет, Алматы, Казахстан
*e-mail: zh.mukaliyev@kaznu.kz

Оценка деградации земель и изменчивости влажности в постядерных ландшафтах Казахстана на основе дистанционного зондирования

Деградация земель и нарушение экологического равновесия остаются одними из ключевых экологических проблем Казахстана, особенно на посттехногенных и радиационно загрязнённых территориях. Семипалатинский ядерный испытательный полигон представляет собой уникальную природную лабораторию для изучения долгосрочных процессов трансформации и восстановления ландшафтов.

Цель данного исследования – оценить деградацию земель и вариации поверхностной влажности за период с 2019 по 2025 год на основе данных дистанционного зондирования Sentinel-2. Методика включает расчёт основных спектральных индексов – SWIR, NDWI, NDVI и MSI, позволяющих оценить динамику растительного покрова, содержание влаги и степень сухости поверхности.

Результаты показали заметное увеличение значений NDVI и NDWI, а также снижение MSI и SWIR, что свидетельствует о повышении влажности почвы, восстановлении растительности и сокращении аридности. Площадь увлажнённых и покрытых растительностью земель увеличилась примерно на 20–25 %, что указывает на активное протекание процессов естественной ренатuration.

Исследование подтвердило высокую эффективность мультиспектрального мониторинга Sentinel-2 для оценки экологической реабилитации посттехногенных территорий Казахстана. Полученные результаты вносят вклад в развитие системы устойчивого землепользования и экологического мониторинга в аридных ландшафтах.

Ключевые слова: дистанционное зондирование, деградация земель, влажность почв, индекс NDVI, Семипалатинский полигон.

Introduction

The problem of land degradation is one of the most acute environmental and socio-economic threats of our time, especially for territories that have been subjected to intense anthropogenic impact. As a result of industrial, military, and agricultural activities during the 20th century, a significant part of the earth's ecosystems underwent irreversible changes, manifested in the destruction of soil cover, reduced bio-productivity, loss of biodiversity, and disruption of the hydrological balance (Бобровский М.В., Нечаев В.П., 2022).

A special place among such territories is occupied by post-technological landscapes, including areas of former industrial zones, landfills, quarries and nuclear test sites (Есиркеев А.М., Алимбекова Г.Ж., 2021). They are characterized by difficult environmental conditions caused by prolonged expo-

sure to radiation, chemical pollution and physical destruction of the surface.

One of the most striking examples of such territories is the Semipalatinsk Nuclear Test Site (NSNR), which operated in Kazakhstan from 1949 to 1989. During this period, more than 450 nuclear explosions were carried out here, which led to significant changes in the geomorphological structure, soil composition and vegetation cover. Despite the cessation of testing and the subsequent declaration of the landfill as a restricted access zone, the processes of ecosystem restoration here remain extremely slow. Against the background of the general aridity of the region, there is a high spatial mosaic of the state of soils and vegetation, which complicates the assessment of the degree of degradation and the dynamics of restoration (Горшков И.А., 2023).

Post-technological territories, especially such as the NSNR, are characterized by a combination of

natural and induced degradation factors. On the one hand, the arid climate, low precipitation and poor vegetation development contribute to erosion processes and deflation. On the other hand, man-made impacts – soil compaction, radiation pollution, and disruption of the hydrological regime – enhance these processes, creating stable pockets of degradation. As a result, specific post-nuclear landscapes are formed, which are characterized by a combination of dry, burnt-out areas, secondary salt marshes, fragmentary vegetation and local zones of temporary humidification.

Modern approaches to the study of such territories require a comprehensive assessment of degradation processes and ecosystem restoration using objective and spatially continuous data. Traditional field monitoring methods are limited here due to the large areas, inaccessibility and potential radiation risk (Шевченко И.С., 2021). Therefore, remote sensing technologies are becoming the main analysis tool for assessing the dynamics of vegetation, humidity, and soil conditions based on the spectral characteristics of the surface.

The use of satellite data, such as Sentinel-2, provides extensive opportunities for quantifying the state of degraded ecosystems. By calculating spectral indices – NDVI (Normalized Difference Vegetation Index), NDWI (Normalized Difference Water Index), MSI (Moisture Stress Index) and SWIR channel analysis – it is possible to detect changes in vegetation structure, the level of moisture availability and the intensity of soil degradation. These indicators allow not only to determine the current state of the territory, but also to track the dynamics of ecosystem restoration over time.

In Kazakhstan, where most of the lands are subject to aridization, wind and water erosion, monitoring of land degradation and the processes of their natural restoration is becoming particularly relevant (Асылбекова А., Мукалиев Ж., Азимханов Б., 2021). Using the example of the Semipalatinsk test site, such studies make it possible not only to determine the degree of anthropogenic impact and current environmental risks, but also to assess the effectiveness of the renaturalization processes taking place over the past decades (Bai, Z.G., Dent, D.L., 2009).

The integration of modern remote sensing data with geoinformation analysis methods creates the basis for a comprehensive assessment of the state of post-technological ecosystems and the development of strategies for their ecological restoration.

The current state of the landfill can be described as a stage of slow but steady natural recovery, in which ecosystems show signs of adaptation and self-regulation in a post-nuclear landscape (Carlsen, T.M., Groves, R.A., et al., 2021). This makes the region a unique model territory for studying the long-term processes of ecological rehabilitation of degraded lands in the arid climate of Central Asia.

Materials and methods

Study area. The Semipalatinsk Test Site is located in the north-east of the Republic of Kazakhstan, within the East Kazakhstan, Pavlodar and partially Karaganda regions. The geographical coordinates of the central part of the test site are approximately 50° 15' N and 78°40' E. The total area of the territory historically used for nuclear testing exceeds 18,000 km², and together with the adjacent zone of influence is estimated at about 19-20 thousand km².

The terrain of the polygon is predominantly flat and undulating, with elements of weak uplifts and depressions characteristic of the eastern edge of the Central Kazakhstan plateau. The absolute heights range from 250 to 500 m, occasionally reaching 600 m in the eastern part. The territory is divided by a network of temporary watercourses and small hollows, through which meltwater and rainwater flow (Сагидуллина Д.Б., Омаров Р.Е., 2023). The main rivers of the region – Shagan, Ashchysu, Koken-tal – are temporary and seasonal in nature, which causes a high sensitivity of the soil and vegetation cover to moisture availability.

The climate of the area is sharply continental and arid. The average annual air temperature is about +3...+4 °C, the average temperature in January is -16 °C, in July – +21...+24 °C. Annual precipitation does not exceed 250 – 300 mm, of which about 60% falls in spring and early summer. Summers are hot and arid, winters are long with stable snow cover. Winds prevail from the northwest and west, contributing to the development of deflationary and erosive processes.

The soil cover is mainly light chestnut, chestnut and brackish soils, with salt marshes and sandy loam rocks found in places. Vegetation is desert-steppe, with a predominance of xerophytic and grass-wormwood communities.

Atmospheric correction and radiometric consistency were verified and, where necessary, slightly adjusted on the basis of reference reflectance and visual inspection.

- 116 atmospheric (terrestrial and aerial);

- 340 underground tunnels and boreholes.

Large-scale activity led to powerful radioactive emissions, mechanical destruction of the soil and vegetation cover and the formation of a whole complex of post-nuclear landscapes – craters, subsidence, burnt-out areas, radiation-contaminated hollows and man-made landforms.

The areas within the Experimental Field, Balapan, Degelen and Sary-Uzen districts, where the main test facilities were concentrated, were particularly affected. Elevated levels of gamma radiation, residual isotopes of cesium, strontium and plutonium in the soils are still recorded at these sites (Мукалиев Ж.К., 2020).

The consequences of nuclear tests are long-term in nature – soil degradation, violation of the water regime, decrease in vegetation productivity and secondary salinization. Even three decades after the closure of the landfill, the environmental consequences remain significant and manifest themselves in a decrease in biological activity, erosion processes and fragmented ecosystems.

After the official closure of the Semipalatinsk landfill in 1991, the territory was declared a zone of restricted nature use, which contributed to the natural processes of renaturalization. In the absence of economic stress, there is a gradual restoration of the grass cover and the soil humus horizon.

Cereal-wormwood communities began to develop in areas with low levels of radiation pollution, and the processes of natural overgrowth of craters and accumulation of organic matter intensified. Areas with high humidity are formed along the valleys of temporary watercourses, where species characteristic of meadow-steppe phytocenoses are actively growing (Зайцева Н.Н., Морозов Е.А., 2020).

Nevertheless, the recovery is uneven. In areas with high levels of radionuclide contamination and mechanical disturbance of the soil profile, natural processes are slowed down or completely suppressed. A number of sites remain unproductive and degraded, which is reflected in low NDVI and NDWI values according to satellite monitoring data.

This study utilized multi-temporal satellite data from the Sentinel-2 Level-2A mission, provided by the European Space Agency (ESA) under the Copernicus Programme. Two cloud-free images covering the central and adjacent parts of the Semipalatinsk Nuclear Test Site (SNTS) were selected for analysis, corresponding to May 11, 2019 and May 29, 2025 (European Space Agency (ESA), 2024).

Level-2A products include bottom-of-atmosphere reflectance, already corrected for atmo-

spheric and radiometric effects using the Sen2Cor processor, ensuring high accuracy of spectral values across visible, near-infrared (NIR), and short-wave infrared (SWIR) bands.

The Sentinel-2 system provides a spatial resolution of 10-20 m, which is suitable for landscape-level monitoring of soil, vegetation, and moisture dynamics in heterogeneous arid regions such as eastern Kazakhstan (European Space Agency, 2024).

All satellite scenes were preprocessed in QGIS 3.34 and ArcGIS Pro 3.2.

The threshold values used for the classification of NDVI, NDWI and MSI (Table 2) were defined based on a combination of published recommendations and empirical calibration for the conditions of the Semipalatinsk Nuclear Test Site. The lower and upper NDVI bounds for degraded, transitional and dense vegetation were chosen in accordance with earlier studies on steppe and arid ecosystems of Kazakhstan, while NDWI and MSI thresholds were refined using visual interpretation of Sentinel-2 composites and previously published descriptions of soils and vegetation for the region.

For each index and each year, mean, minimum, maximum and standard deviation values were calculated for the entire test site and for the three physiographic zones (northern, central, southern). In addition, difference maps (2025–2019) and histograms of index distributions were analysed to assess the magnitude and spatial structure of changes. In this study we focused on descriptive statistics and visual comparison; a formal test of statistical significance is planned for future work.

The following steps were performed:

- Radiometric consistency and atmospheric conditions of Sentinel-2 Level-2A bottom-of-atmosphere reflectance products were visually checked for both dates to ensure their suitability for multi-temporal comparison.

- Cloud and shadow masking was implemented using the Scene Classification Layer (SCL) provided within Sentinel-2 data. Pixels classified as clouds, cirrus, or shadows (classes 8, 9, 10, 3) were excluded from analysis.

- Subsetting of the study area was performed according to the official polygon boundaries of the Semipalatinsk Test Site.

- Radiometric values were rescaled to the range 0–1 for further index calculations.

Calculation of Spectral Indices

To quantify vegetation activity, soil moisture, and surface dryness, four key spectral indices were derived from Sentinel-2 reflectance data (Table 1).

Table 1 – Description of spectral indices and their environmental interpretation

Index	Formula	Bands (Sentinel-2)	Environmental meaning
SWIR composite	RGB = (B12, B8A, B4)	2190 nm, 865 nm, 665 nm	False-color infrared visualization highlighting dry and moist areas
NDWI	$(B3 - B8) / (B3 + B8)$	560 nm, 842 nm	Indicates surface and vegetation moisture; higher values = higher water content
NDVI	$(B8 - B4) / (B8 + B4)$	842 nm, 665 nm	Measures vegetation vigor and biomass; higher values = denser vegetation
MSI	B11 / B8	1610 nm, 842 nm	Moisture Stress Index; higher values = drier vegetation and soils

All indices were computed using raster-based map algebra in QGIS Raster Calculator and ArcGIS scripts, and subsequently normalized to eliminate

radiometric differences between dates. The resulting raster layers were resampled to a common 10 m resolution and clipped to the study area boundaries.

Table 2 – Classification of spectral index values and their environmental interpretation

Index	Value range	Environmental interpretation	Surface condition
NDVI (Normalized Difference Vegetation Index)	0.00 – 0.33	Bare soil, degraded land, minimal vegetation	Low biomass, high degradation
	0.33 – 0.50	Sparse or moderate vegetation cover	Transitional zone
	> 0.50	Dense and healthy vegetation	High biomass, active photosynthesis
NDWI (Normalized Difference Water Index)	< 0.00	Dry and arid surfaces	Lack of surface moisture
	0.00 – 0.30	Moderately moist soils or sparse vegetation	Moderate humidity
	> 0.30	Wet soils or open water bodies	High surface moisture or inundation
MSI (Moisture Stress Index)	< 0.80	Low stress; sufficient moisture availability	Favorable conditions for vegetation
	0.80 – 1.20	Moderate moisture stress	Transitional soil moisture
	> 1.20	High dryness or stressed vegetation	Drought or degraded land

The threshold values used for the classification of NDVI, NDWI and MSI presented in Table 2 were defined based on a combination of published recommendations and empirical calibration for the conditions of the Semipalatinsk Nuclear Test Site. The lower and upper NDVI bounds for degraded, transitional and dense vegetation were chosen in accordance with earlier studies on steppe and arid ecosystems of Kazakhstan (Бобровский М.В., Нечаев В.П., 2022; Горшков И.А., 2023; Зайцева Н.Н., Морозов Е.А., 2020), while NDWI and MSI thresholds were refined using visual interpretation of Sentinel-2 composites and previously published descriptions of soils, moisture regime and vegetation in the test site area (Сагидуллина Д.Б., Омаров Р.Е., 2023; Асылбекова А., Мукалиев Ж., Азимханов Б., 2021).

Each raster was statistically summarised to calculate mean, minimum, maximum and standard

deviation values for both years and for the three physiographic zones (northern, central, southern). Difference maps (2025 – 2019) and histograms of index distributions were generated to visualise the spatial pattern and magnitude of changes in vegetation greenness, surface moisture and soil dryness. In this study we focused on descriptive statistics and visual comparison of index dynamics; a more detailed formal assessment of statistical significance is planned for future work.

Spatial differentiation was conducted by dividing the study area into three physiographic zones – northern, central and southern – reflecting the main geomorphological and hydro-ecological variations within the polygon. The combined analysis of the four indices provided a comprehensive evaluation of the eco-hydrological changes within the Semipalatinsk Test Site over the six-year period. A decrease in MSI and SWIR brightness,

coupled with an increase in NDWI and NDVI, was interpreted as a sign of improved soil moisture and vegetation recovery (Pettorelli et al., 2005; Li et al., 2020). Statistical summaries and thematic maps were integrated in a GIS environment to assess the extent of rehabilitation versus degradation zones, forming the basis for further discussion and conclusions.

Spatial differentiation was conducted by dividing the study area into three physiographic zones – northern, central, and southern, reflecting the main geomorphological and hydro-ecological variations within the polygon.

The combined analysis of the four indices provided a comprehensive evaluation of the eco-hydrological changes within the Semipalatinsk Test Site over the six-year period.

A decrease in MSI and SWIR brightness, coupled with an increase in NDWI and NDVI, was interpreted as a sign of improved soil moisture and vegetation recovery (Pettorelli, N., et al., 2009).

Statistical summaries and thematic maps were integrated in a GIS environment to assess the extent of rehabilitation versus degradation zones, forming the basis for further discussion and conclusions.

Results

Multi-temporal index maps (2019 – 2025). The generated maps of SWIR, NDWI, NDVI, and MSI for 2019 and 2025 (Figures 5 – 8) clearly demonstrate notable spatial and temporal changes in the surface characteristics of the Semipalatinsk Nuclear Test Site.

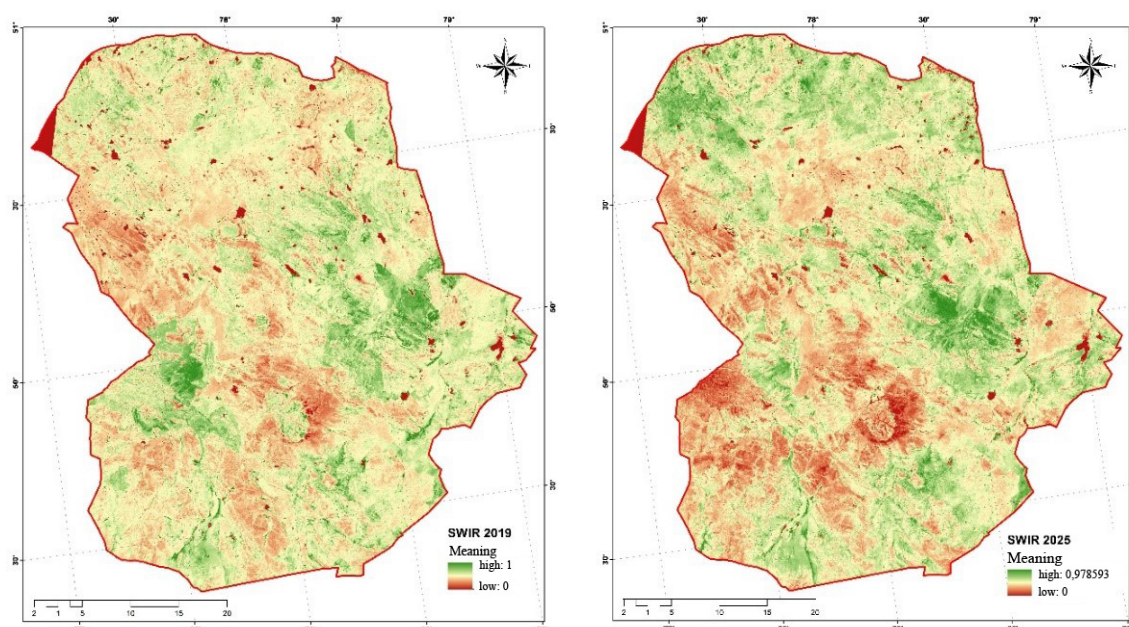


Figure 1 – SWIR (source: own study)

Overall, approximately 65 % of the territory exhibited improvement in vegetation and moisture indices, around 25 % remained relatively stable and about 10 % still shows clear signs of degradation.

The Moisture Stress Index (MSI) also shows a downward trend, suggesting a general reduction of drought-related stress in vegetation.

The results show a consistent improvement in eco-hydrological indicators between 2019 and 2025. The most significant positive shifts are observed in NDVI (+0.16) and NDWI (+0.15), while the decline in MSI (−0.18) further confirms the trend toward enhanced soil moisture and vegetation health (Li J., et al., 2020).

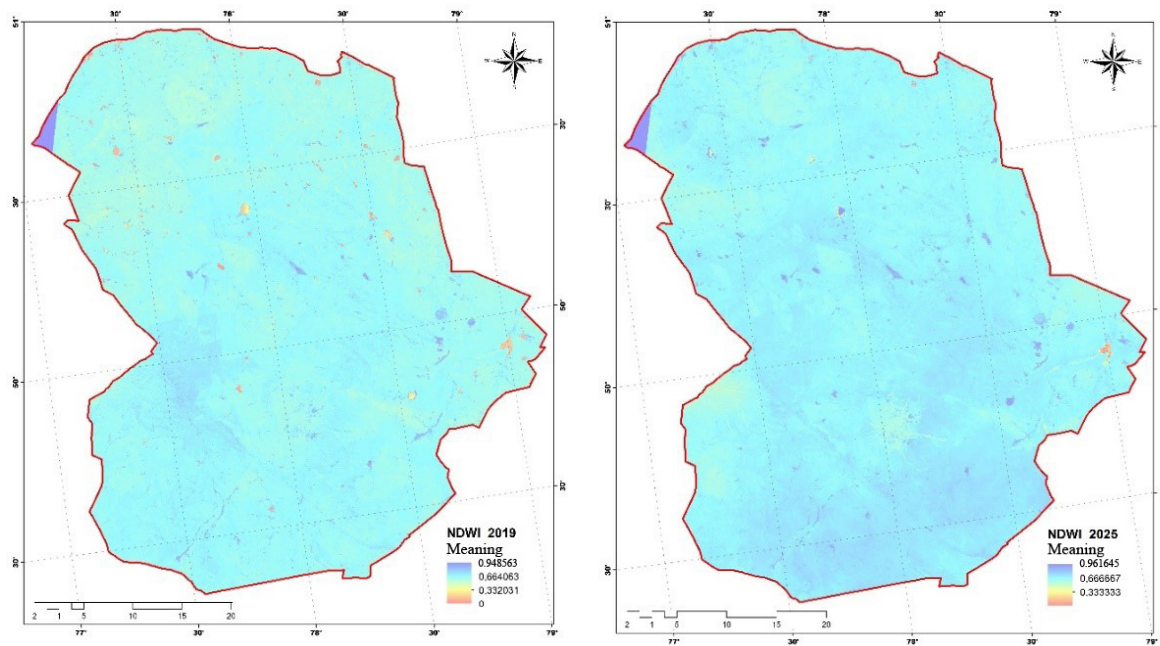


Figure 2 – NDWI (source: own study)

Table 3 – Statistical summary of mean index values

Spectral Index	Mean (2019)	Mean (2025)	Δ Change (2025 – 2019)	Environmental trend
SWIR (12–8A–4)	0.46	0.39	–0.07	Decrease of surface dryness
NDWI	0.12	0.27	+0.15	Increase in soil and vegetation moisture
NDVI	0.32	0.48	+0.16	Expansion of vegetated areas
MSI	1.23	1.05	–0.18	Lower vegetation water stress

Spatial distribution of landscape changes. Spatial differentiation analysis revealed distinct regional patterns (Figure 3):

- Northern zone – notable increase in NDVI and NDWI (up to +0.2 – 0.3), associated with vegetation recovery in depressions and along seasonal water-courses.

- Central zone – heterogeneous pattern with dominant moderate increases in NDVI and NDWI and a visible reduction of high-MSI areas; this zone represents the most active phase of natural renaturation.

- Southern zone – minor positive trends with remaining arid patches (high SWIR and MSI), indicating slower recovery due to poor soil structure and limited hydrological recharge.

Overall, approximately 65 % of the territory exhibited improvement in vegetation and moisture indices, around 25 % remained relatively stable,

and about 10 % still shows clear signs of degradation.

The use of Sentinel-2 (L2A) data and spectral indices (SWIR, NDVI, NDWI, MSI) for the period 2019-2025 showed a clear trend towards an increase in humidity and bio-productivity in most of the landfill area (Gorelick, N., et al., 2017). Positive changes are especially noticeable in the central and northeastern parts, where there is a decrease in the MSI (Moisture Stress Index) and an increase in NDVI and NDWI, indicating a gradual restoration of ecosystems and stabilization of the microclimate.

The combined index analysis suggests that eco-hydrological restoration processes are actively progressing across the Semipalatinsk Test Site.

The decrease in SWIR and MSI reflects the gradual reduction of soil aridity and water stress, while the increase in NDVI and NDWI indicates enhanced vegetation productivity and moisture retention.

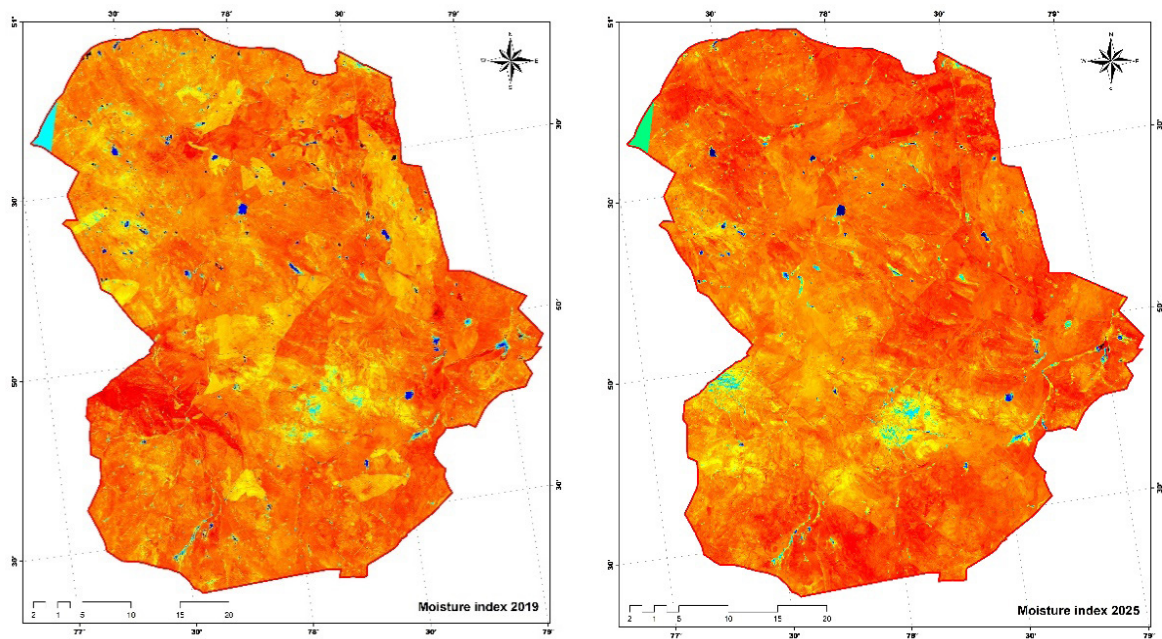


Figure 3 – MSI (source: own study)

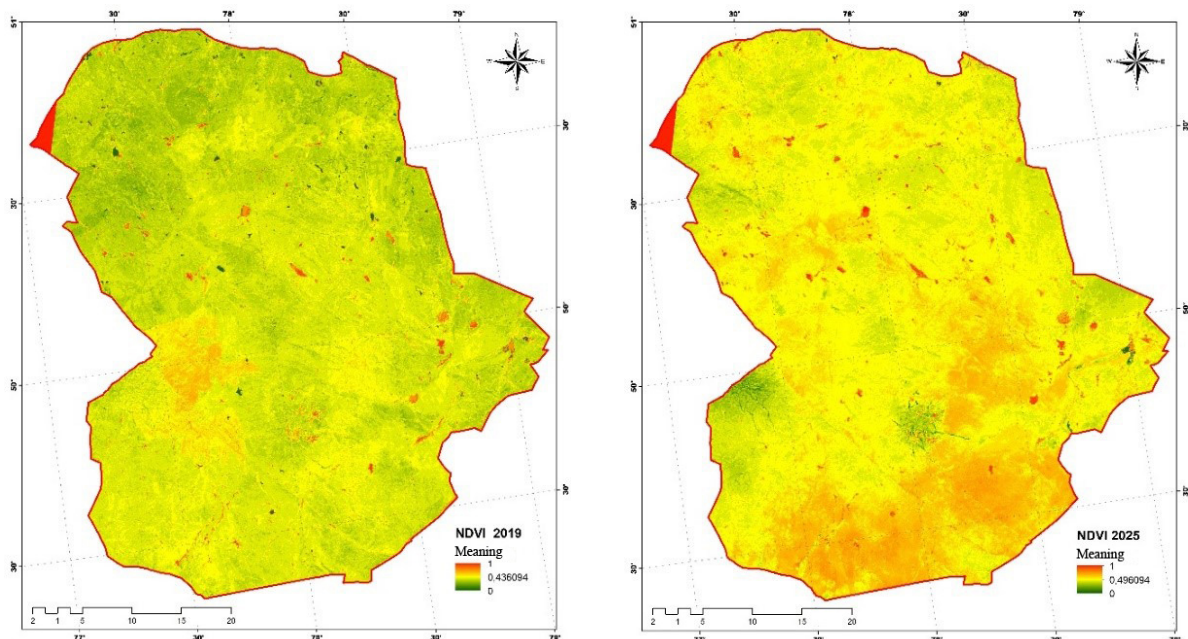


Figure 4 – NDVI (source: own study)

Meteorological observations from regional stations in eastern Kazakhstan and recent climatological assessments indicate a statistically significant increase in mean and maximum air temperatures in the region, while precipitation shows weak but generally positive trends over the last decades (Салников В. и др., 2015; Салников В. и др., 2023; Makhambeto-

va et al., 2024; РГП «Казгидромет», 2024). These tendencies are consistent with the satellite-based results obtained in this study: higher NDWI and NDVI values together with reduced SWIR reflectance and MSI indicate more favourable hydrothermal conditions for vegetation growth and a gradual reduction in drought stress.

Thus, gradual climate moderation appears to enhance natural renaturation processes and contributes to the eco-hydrological stabilization of the Semipalatinsk landscape, while index-based monitoring clearly reflects the close relationship between climate dynamics and the state of the soil and vegetation cover.

These results confirm that the post-nuclear landscape is undergoing slow but steady ecological rehabilitation, particularly within the northern and central physiographic units.

The findings also highlight the potential of using integrated Sentinel-2 spectral indices as effective indicators for monitoring land-degradation reversal and natural recovery in post-technogenic environments.

Discussion

The present study assessed land degradation and moisture dynamics within the Semipalatinsk Nuclear Test Site between 2019 and 2025 using Sentinel-2 Level-2A data and a set of spectral indices (SWIR composites, NDVI, NDWI, MSI). The integrated remote sensing and GIS-based approach provided a spatially explicit characterization of eco-hydrological changes in a large post-nuclear landscape under arid climatic conditions.

The results indicate a consistent improvement of environmental conditions over the six-year period. Mean NDVI and NDWI values increased, while MSI and SWIR reflectance decreased, reflecting enhanced soil moisture, higher vegetation productivity and reduced surface dryness. Quantitatively, the area of moist and vegetated lands expanded, whereas the proportion of strongly arid and degraded surfaces declined, with the most pronounced positive changes observed in the central and northern parts of the test site.

The study confirms that Sentinel-2 multispectral monitoring, combined with index-based classification and GIS analysis, is an effective and cost-efficient tool for tracking ecological rehabilitation in post-technogenic territories of Kazakhstan. The proposed methodology can be applied for regular monitoring of remote and radiation-hazardous areas, informing environmental planning and sustainable land management in arid and semi-arid regions.

Future research should focus on integrating satellite-derived indices with climatic and hydrological data, as well as on exploiting longer time series and machine-learning methods to better predict degradation and recovery trajectories. The inclusion of

radar observations (for example, Sentinel-1) would further improve the robustness of soil moisture and vegetation assessments under cloudy conditions and support the development of national systems for environmental monitoring and land-resource protection in Kazakhstan.

The purpose of the study was to assess the processes of land degradation and the dynamics of moisture availability within the Semipalatinsk Nuclear Test Site (NSNR) using Sentinel-2 multi-time remote sensing data. To achieve this goal, the spectral indices SWIR, NDWI, NDVI and MSI were used, which made it possible to comprehensively characterize changes in the state of the soil and vegetation cover for the period 2019 – 2025.

The technique used included atmospheric correction of Sentinel-2 Level-2A data, cloud masking, and calculation of spectral indices reflecting the degree of degradation, humidity, and plant restoration. A comparative analysis showed a clear trend towards an improvement in the ecological condition of the territory: an increase in NDVI and NDWI values, a decrease in MSI and SWIR brightness indicate an increase in humidity, bio-productivity and ecosystem stability.

The quantitative assessment showed that the area of moistened and vegetating lands increased by about 20 – 25%, while the proportion of arid and degraded areas decreased by 10 – 15%. These changes indicate a gradual restoration of natural processes and ecosystem stability in the post-nuclear territory. It is noted that the greatest positive transformations are taking place in the central and northeastern zones of the landfill, where active renaturation and restoration of vegetation cover are observed.

The results obtained confirm that the integration of Sentinel-2 multispectral data and the calculation of key indices (SWIR, NDWI, NDVI, MSI) is an effective and economically justified tool for monitoring environmental rehabilitation of post-technological territories of Kazakhstan.

The practical significance of the work lies in the fact that the developed methodology can be used for:

- regular monitoring of land degradation and vegetation restoration in remote and radiation-hazardous areas;
- environmental planning and environmental management aimed at land restoration in arid zones of Kazakhstan;
- building a national remote environmental monitoring system based on open satellite data.

The prospects for further research are related to the integration of satellite and climate data (precipi-

tation, temperature, humidity), as well as the use of machine learning and Sentinel-2 time series analysis to predict the dynamics of degradation processes and assess the rate of ecosystem restoration.

Thus, the work carried out not only confirms the effectiveness of remote sensing methods for studying post-nuclear landscapes, but also makes a significant contribution to the development of geoinformation monitoring of the environmental sustainability of the territories of Kazakhstan.

The conducted research has contributed to the development of scientific ideas about the mechanisms of restoration of post-nuclear landscapes and the improvement of approaches to their remote assessment. The integration of the SWIR, NDWI, NDVI, and MSI indexes has made it possible to create a reproducible methodology for eco-hydrological monitoring of disturbed territories, which can be used in other arid and semi-arid regions of Central Asia, where field research is limited.

A comparison with similar studies conducted in radioactive contamination zones such as Fukushima (Japan) and the Nevada Test Site (USA) shows similar recovery trends – gradual vegetation growth and increased soil moisture. However, unlike these regions, the landscapes of Kazakhstan are characterized by a more pronounced climatic dependence and spatial heterogeneity of restoration, which requires long-term and detailed monitoring.

A number of limitations of the study should be noted, related to seasonal variability, sensor differences, and insufficient validation by field observations. In the future, it is advisable to integrate satellite and climate data (precipitation, temperature, humidity) and use machine learning and Sentinel-2 time series analysis methods to predict the dynamics of degradation and the rate of ecosystem restoration.

The additional inclusion of Sentinel-1 radar survey data will improve the accuracy of soil moisture and vegetation assessment in cloudy conditions.

Thus, the conducted research has shown that remote sensing technologies and geoinformation analysis are indispensable tools for long-term environmental monitoring of territories exposed to anthropogenic and radiation effects.

The experience gained from studying the Semipalatinsk test site can serve as a model for building national environmental monitoring systems, as well as for improving the policy of sustainable environmental management and protection of Kazakhstan's land resources.

Acknowledgement

The authors express their sincere gratitude to Al-Farabi Kazakh National University (KazNU) for providing scientific and technical support during the research, as well as for creating favorable conditions for conducting scientific work within the framework of the Department of Cartography and Geoinformatics.

Special thanks are also extended to the staff of the State Institute for Agricultural Aerial Surveying (GISHAGI) for their assistance in data processing and for providing access to geospatial materials used in this study.

Conflict of interest

There is no conflict of interest.

Funding

This research was funded under program-targeted funding by the Committee on Science of the Ministry of Science and Higher Education of the Republic of Kazakhstan (Grant No. AP19579264 «Territorial analysis of the territories of the Semipalatinsk test site for the creation of an adaptive-landscape system of agriculture»).

References

- Бобровский М. В., Нечаев В. П. Мониторинг деградации земель на основе спутниковых данных Sentinel-2 // Геоинформатика. – 2022. – № 3. – С. 47–56.
- Есиркеев А. М., Алимбекова Г. Ж. Геоинформационный анализ состояния земельных ресурсов Восточного Казахстана // Вестник ГГТУ. – 2021. – № 2. – С. 90–101.
- Горшков И. А. Использование индексов NDVI и NDWI для оценки динамики растительного покрова степных ландшафтов Казахстана // Вестник КазНУ. Серия географическая. – 2023. – № 1(58). – С. 32–41.
- Сагидулина Д. Б., Омаров Р. Е. Мониторинг состояния растительного покрова на территории Семипалатинского полигона // Геоэкология. – 2023. – № 2. – С. 55–67.
- Шевченко И. С. Природное восстановление посттехногенных ландшафтов Казахстана // Вестник экологии и устойчивого развития. – 2021. – № 4. – С. 22–31.

Зайцева Н. Н., Морозов Е. А. Применение многовременных данных Sentinel для оценки деградации почв в условиях аридного климата // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. – 2020. – Т. 17, № 4. – С. 197–210.

Асылбекова А., Мукалиев Ж., Азимханов Б. Радиоэкологическая ситуация загрязнения Семипалатинского испытательного полигона // Вопросы географии и геоэкологии. – 2021. – № 1. – С. 56–61.

Bai, Z. G., & Dent, D. L. (2009). Global assessment of land degradation and improvement. Wageningen: ISRIC – World Soil Information.

Carlsen, T. M., Groves, R. A., et al. (2001). Radionuclide contamination at Kazakhstan's Semipalatinsk Test Site: Implications on human and ecological health. Human and Ecological Risk Assessment, 7(5), 1369–1386.

Мукалиев Ж. К. Семей сынақ полигонының аумағында картографиялауда ГАЖ қолдану // X Жандаевские чтения: Географическая наука Казахстана в современном мире. – 2020. – С. 29–32.

European Space Agency (ESA). (2024). Sentinel-2 User Handbook. Paris: ESA.

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.

Grosche, B., et al. (2015). Studies of health effects from nuclear testing near the Semipalatinsk Test Site. International Journal of Epidemiology, 44(3), 801–816.

International Atomic Energy Agency (IAEA). (1998). Radiological conditions at the Semipalatinsk Test Site, Kazakhstan: Preliminary assessment. Vienna: IAEA.

Li, J., Roy, D. P., Zhang, H. K., & Yan, L. (2020). Monitoring vegetation and moisture dynamics in arid regions using Sentinel-2 time series. Journal of Arid Environments, 182, 104238.

Pettorelli, N., Vik, J. O., Mysterud, A., Gaillard, J.-M., Tucker, C. J., & Stenseth, N. C. (2005). Using the satellite-derived NDVI to assess ecological responses to environmental change. Trends in Ecology & Evolution, 20(9), 503–510.

Phiri, D., Simwanda, M., Salekin, S., Nyirenda, V. R., Murayama, Y., & Ranagalage, M. (2020). Sentinel-2 data for land cover/use mapping: A review. Remote Sensing, 12(14), 2291.

Roy, D. P., Kovalsky, V., Zhang, H. K., & Vermote, E. (2016). Characterization of Sentinel-2A surface reflectance over land. Remote Sensing of Environment, 200, 311–326.

Tucker, C. J. (1979). Red and photographic infrared linear combinations for monitoring vegetation. Remote Sensing of Environment, 8(2), 127–150.

Wessels, K. J., Prince, S. D., Malherbe, J., Small, J., Frost, P. E., & Van Zyl, D. (2007). Can human-induced land degradation be distinguished from the effects of rainfall variability. Ecological Applications, 17(2), 572–583.

Salnikov, V., Turulina, G., Polyakova, S., Petrova, E., & Skakova, A. (2015). Climate change in Kazakhstan during the past 70 years. Quaternary International, 358, 77–82.

Salnikov, V., Talanov, Y., Polyakova, S., Assylbekova, A., Kauazov, A., Bultekov, N., Musralinova, G., Kissebayev, D., & Beldeubayev, Y. (2023). An assessment of the present trends in temperature and precipitation extremes in Kazakhstan. Climate, 11(2), 33. <https://doi.org/10.3390/cli11020033>

Makhambetova, M. M., Satir, O., & Nyssanbaeva, A. S. (2024). Present trends in air temperature in the east of Kazakhstan. Hydrometeorology and Ecology, 115(4), 39–49.

РГП «Казгидромет». Ежегодный бюллетень мониторинга состояния и изменения климата Казахстана за 2023 год. – Астана: Казгидромет, 2024.

Information about authors:

Zhandos Mukaliyev – PhD Student, Senior Lecturer at the Department of Cartography and Geoinformatics, Faculty of Geography and Environmental Sciences, Al-Farabi Kazakh National University; Chief Specialist at the RSE «State Institute for Agricultural Aerial Surveying (GISHAGI)» (Almaty, Kazakhstan, e-mail: zh.mukaliyev@kaznu.kz);

Zhazira Zhumatayeva (corresponding author) – PhD Student, Department of Geography, Land Management and Cadastre, Faculty of Geography and Environmental Sciences, Al-Farabi Kazakh National University (Almaty, Kazakhstan, e-mail: zhumatayeva.zhazira@kaznu.kz);

Aizhan Assylbekova – PhD, Associate Professor, Head of the Department of Cartography and Geoinformatics, Al-Farabi Kazakh National University (Almaty, Kazakhstan, e-mail: Aizhan.Assylbekova@kaznu.edu.kz);

Bekkuliye Akybek – Senior Lecturer at the Department of Geography, Land Management and Cadastre, Faculty of Geography and Environmental Sciences, Al-Farabi Kazakh National University; Head of the Department of Cartography, Information Systems and Technical Support at the RSE «State Institute for Agricultural Aerial Surveying (GISHAGI)» (Almaty, Kazakhstan, e-mail: a.bekkuliye@kishagi.kz);

Onalbayeva Dariga – PhD Student, Kazakh National Agrarian Research University (Almaty, Kazakhstan, e-mail: aslai@mail.ru);

Rafikov Timur – PhD Student, Kazakh National Agrarian Research University (Almaty, Kazakhstan, e-mail: rafikoff_timyr@mail.ru).

Авторлар туралы мәлімет:

Мукалиев Жандос Кайратович – әл-Фараби атындағы ҚазҰУ география және табиғатты пайдалану факультетінің картография және геоинформатика кафедрасының аға оқытушысы; РМК «Ауыл шаруашылығы аэрофотогеодезиялық іздестіру мемлекеттік институты (АШАИМИ)» бас маманы (Алматы, Қазақстан, e-mail: zh.mukaliyev@kaznu.kz);

Жұматаева Жазира Манарбекқызы (корреспондент автор) – әл-Фараби атындағы ҚазҰУ география және табиғатты пайдалану факультетінің география, жерге орналастыру және кадастр кафедрасының PhD-докторанты (Алматы, Қазақстан, e-mail: zhumatayeva.zhazira@kaznu.kz);

Асылбекова Айжан Асылбекқызы – PhD, доцент, әл-Фараби атындағы ҚазҰУ география және табиғатты пайдалану факультетінің картография және геоинформатика кафедрасының меңгерушісі (Алматы, Қазақстан, e-mail: Aizhan.Asylbekova@kaznu.edu.kz);

Бекқұлиев Ақылбек Әділханұлы – әл-Фараби атындағы ҚазҰУ география және табиғатты пайдалану факультетінің география, жерге орналастыру және кадастр кафедрасының аға оқытушысы; РМК «Ауыл шаруашылығы аэрофотогеодезиялық іздестіру мемлекеттік институты (АШАИМИ)» картография, ақпараттық жүйелер және техникалық қолдау департаменті басшысы (Алматы, Қазақстан, e-mail: a.bekkuliev@gishagi.kz);

Оналбаева Дарига Саятбековна – Қазақ ұлттық аграрлық зерттеу университетінің PhD-докторанты (Алматы, Қазақстан, e-mail: aslai@mail.ru);

Рафиков Тимур Кутыевич – Қазақ ұлттық аграрлық зерттеу университетінің PhD-докторанты (Алматы, Қазақстан, e-mail: rafikoff_timyr@mail.ru).

Сведения об авторах:

Мукалиев Жандос Кайратович – старший преподаватель кафедры геоинформатики и картографии факультета географии и природопользования КазНУ им. аль-Фараби; главный специалист в РГП «Государственный институт сельскохозяйственных аэрофотогеодезических изысканий (ГИСХАГИ)» (Алматы, Казахстан, e-mail: zh.mukaliyev@kaznu.kz);

Жуматаева Жазира Манарбекқызы (корреспондент-автор) – PhD-докторант кафедры географии, землеустройства и кадастра факультета географии и природопользования КазНУ им. аль-Фараби (Алматы, Казахстан, e-mail: zhumatayeva.zhazira@kaznu.kz);

Асылбекова Айжан Асылбековна – PhD, доцент, заведующая кафедрой картографии и геоинформатики КазНУ им. аль-Фараби (Алматы, Казахстан, e-mail: Aizhan.Asylbekova@kaznu.edu.kz);

Бекқұлиев Ақылбек Әділханұлы – старший преподаватель кафедры географии, землеустройства и кадастра факультета географии и природопользования КазНУ им. аль-Фараби; руководитель департамента картографии, информационных систем и технической поддержки в РГП «Государственный институт сельскохозяйственных аэрофотогеодезических изысканий (ГИСХАГИ)» (Алматы, Казахстан, e-mail: a.bekkuliev@gishagi.kz);

Оналбаева Дарига Саятбековна – PhD-докторант, Казахский национальный аграрный исследовательский университет (Алматы, Казахстан, e-mail: aslai@mail.ru);

Рафиков Тимур Кутыевич – PhD-докторант, Казахский национальный аграрный исследовательский университет (Алматы, Казахстан, e-mail: rafikoff_timyr@mail.ru).

Ж.Т. Омиржанова^{1*}, **К.Т. Картбаева¹**, **Д.С. Бекболат²**

¹Халықаралық білім беру корпорациясы, Алматы, Қазақстан

²РММ «Ауыл шаруашылығы министрлігінің Жер ресурстарын басқару жөніндегі Алматы облысының Жер ресурстарын басқару департаменті», Қонаев, Қазақстан

*e-mail: zh.omirzhanova@kazgasa.kz

ҚАШЫҚТАН ЗОНДАУ ДЕРЕКТЕРІ БОЙЫНША ҚОСТАНАЙ ОБЛЫСЫНЫҢ ТАБИҒИ РЕСУРСТЫҚ ӘЛЕУЕТІН МОНИТОРИНГТЕУ

Бұл мақалада қашықтан зондау деректері негізінде Қостанай облысының ландшафт компоненттерінің кеңістіктік-уақыттық өзгерістері талданды. Зерттеуде MODIS, Landsat және Sentinel-2 спутниктік деректері пайдаланылып, жер беті температурасы (LST), вегетациялық (NDVI), су (NDWI), ылғалдылық (NDMI) және жану (NBR) индекстері есептелді. MODIS деректері өңірлік деңгейдегі ұзақ мерзімді үрдістерді анықтау үшін, ал Landsat және Sentinel-2 деректері Аманқарағай орман алқабындағы өртке дейінгі және өрттен кейінгі өзгерістерді егжей-тегжейлі талдау үшін қолданылды.

Қостанай облысы бойынша LST, NDVI, NDWI талдауы бойынша LST мен NDVI және NDWI арасында теріс корреляция байқалды, яғни температураның жоғарылауы өсімдік жамылғысының бірқатар төмендеуімен қатар су индексінің төмендеуін көрсетті.

Аманқарағай орманының аумағына NDVI, NDMI, NDWI және SWIR нәтижелерін талдау орман экожүйелерінің биомассасы мен ылғалдылығы арасындағы тығыз байланысты көрсетті. NDVI, NDMI және NDWI мәндерінің жоғарылауы SWIR төмендеуімен бірге жүреді, бұл өсімдік жамылғысының біртіндеп қалпына келуін және су режимінің жақсаруын көрсетеді. 2022–2025 жылдар кезеңінде, әсіресе 2024–2025 жылдары, орман экожүйенің тұрақты қалпына келуі мен тұрақтануының белгілерін көрсеткен кезде оң динамика байқалады.

Қостанай облысының аумағына температураның, өсімдіктердің, судың есептелген нормаланған айырымдық индекстерін талдау 2014–2023 жылдары температураның айтарлықтай жоғарылауы және өсімдік деңгейінің төмендеуі байқалғанын көрсетті. Жер үсті суларының ауданы да азайды. Өсімдік жамылғысы мен жер үсті суларының өзгеруі Жер бетіндегі температураның өзгеруімен жақсы байланысты.

Зерттеу нәтижелері климаттық өзгерістер мен өрттердің ландшафт компоненттеріне әсерін бағалауға мүмкіндік беріп, өңірдің тұрақты дамуын жоспарлауда қолданбалы маңызға ие.

Түйін сөздер: қашықтан зондау, LST, NDVI, NDWI, NDMI, NBR, Қостанай облысы, орман өрті, ландшафттық өзгерістер.

Zh.T. Omirzhanova^{1*}, K.T. Kartbaeva¹, D.S. Bekbolat²

¹International Educational Corporation, Almaty, Kazakhstan

²Republican State Institution «Department of Land Resources Management of the Almaty Region for Land Resources Management of the Ministry of Agriculture», Konaev, Kazakhstan

*e-mail: zh.omirzhanova@kazgasa.kz

Assessment of spatial and temporal changes in landscape components of Kostanay region using remote sensing data

This article analyzes the spatio-temporal changes of landscape components in the Kostanay region using remote sensing data. MODIS, Landsat, and Sentinel-2 satellite data were used to calculate land surface temperature (LST), vegetation (NDVI), water (NDWI), moisture (NDMI), and burn severity (NBR) indices. MODIS data were applied to identify long-term regional trends, while Landsat and Sentinel-2 data were used for detailed assessment of pre- and post-fire dynamics in the Amankaragay forest area.

In the analysis of LST, NDVI, and NDWI for the Kostanay region, a negative correlation was observed between LST and NDVI as well as NDWI, meaning that an increase in temperature was accompanied by a decrease in vegetation cover and a reduction in the water index.

The analysis of the NDVI, NDMI, NDWI, and SWIR indices for the Amankaragay forest area revealed a close relationship between the biomass and moisture content of the forest ecosystems. An increase in the values of NDVI, NDMI, and NDWI is accompanied by a decrease in SWIR, which reflects the gradual restoration of vegetation cover and the improvement of water conditions. In the period from

2022 to 2025, there has been a pronounced positive trend, especially in 2024 and 2025, when the forest showed signs of sustainable recovery and ecosystem stabilization. The analysis of the calculated normalized difference indices of temperature, vegetation, and water in the Kostanay region showed that there was a significant increase in temperature and a decrease in vegetation levels from 2014 to 2023. The area of surface water has also decreased. The changes in vegetation and surface water areas are well correlated with changes in the Earth's surface temperature.

The results provide insights into the impacts of climate change and wildfires on regional landscape components.

Keywords: LST, NDVI, NDWI, NDMI, NBR, Kostanay region, wildfire, landscape changes.

Ж.Т. Омиржанова^{1*}, К.Т. Картбаева¹, Д.С. Бекболат²

¹Международная образовательная корпорация, Алматы, Казахстан

²РГУ «Департамент управления земельными ресурсами Министерства сельского хозяйства Республики Казахстан по управлению земельными ресурсами Алматинской области», Конаев, Казахстан

*e-mail: zh.omirzhanova@kazgasa.kz

Оценка пространственных и временных изменений ландшафтных компонентов Костанайской области с использованием данных дистанционного зондирования

В статье проведен анализ пространственно-временных изменений ландшафтных компонентов Костанайской области на основе данных дистанционного зондирования. В исследовании использованы спутниковые данные MODIS, Landsat и Sentinel-2 с расчетом индексов температуры поверхности земли (LST), растительности (NDVI), водных объектов (NDWI), влажности (NDMI) и гарей (NBR). Данные MODIS применялись для анализа региональных долгосрочных тенденций, а данные Landsat и Sentinel-2 – для детального изучения изменений до и после пожара в Аманкарагайском лесном массиве.

При анализе LST, NDVI и NDWI по Костанайской области была выявлена отрицательная корреляция между LST, NDVI и NDWI, то есть повышение температуры сопровождалось снижением растительного покрова и уменьшением водного индекса.

Анализ индексов NDVI, NDMI, NDWI и SWIR на территорию Аманкарагайского лесного массива показал тесную взаимосвязь между биомассой и влажностью лесных экосистем. Повышение значений NDVI, NDMI и NDWI сопровождается снижением SWIR, что отражает постепенное восстановление растительного покрова и улучшение водного режима. В период 2022–2025 годов наблюдается выраженная положительная динамика, особенно в 2024–2025 годах, когда лес демонстрирует признаки устойчивого восстановления и стабилизации экосистемы. Анализ вычисленных нормализованных разностных индексов температуры, растительности, воды на территорию Костанайской области показал, что за 2014–2023 годы наблюдалось значительное повышение температуры и снижение уровня растительности. Площадь поверхностных вод также сократилась. Изменения в площадях растительности и поверхностных вод хорошо коррелируются с изменениями температуры земной поверхности.

Полученные результаты позволяют оценить влияние климатических изменений и пожаров на ландшафтные компоненты региона.

Ключевые слова: дистанционное зондирование, LST, NDVI, NDWI, NDMI, NBR, Костанайская область, лесной пожар, ландшафтные изменения.

Кіріспе

Қазақстанның солтүстік бөлігінде орналасқан Қостанай облысы табиғи жағдайлары мен экожүйелерінің әртүрлілігімен ерекшеленетін өңірлердің бірі болып табылады. Алайда соңғы онжылдықта климаттың өзгеруі, ауа температурасының тұрақты жоғарылауы, құрғақшылықтың күшеюі және орман өрттерінің жиілеуі өңірдің экожүйелік тепе-теңдігіне елеулі ықпал етті. Бұл үдерістер өсімдік жамылғысының деградациясына, жер үсті суларының азаюына және ландшафт құрылымының өзгеруіне алып келуде.

Қазіргі уақытта қашықтан зондтау технологиялары табиғи жүйелердің кеңістіктік және уақыттық динамикасын зерттеудің ең тиімді құралдарының бірі ретінде кеңінен қолданылады. Көптеген халықаралық зерттеулер NDVI, NDWI, NDMI, NBR және LST сияқты спектралдық индекстердің экожүйелердің жай-күйін, олардың өзгеру қарқынын және деградация деңгейін бағалауда жоғары тиімділігін көрсетеді. Бұл индекстер спутниктік кескіндердің әртүрлі спектралдық арналары негізінде есептеліп, өсімдік жамылғысы, су ресурстары, ылғалдылық және температуралық режимдегі өзгерістерді сандық түрғыдан сипаттауға мүмкіндік береді.

LST (Land Surface Temperature) жер бетінің температуралық режимін және климаттық қысымның кеңістіктік көрінісін сипаттайтын маңызды көрсеткіш болып табылады. NDVI (Normalized Difference Vegetation Index) өсімдік жамылғысының тығыздығы мен жағдайын, NDWI (Normalized Difference Water Index) жер үсті суларының таралуын, NBR (Normalized Burn Ratio) өрттен кейінгі зақымдану деңгейін, ал NDMI (Normalized Difference Moisture Index) өсімдік пен топырақ ылғалдылығын бағалауға мүмкіндік береді. Сонымен қатар SWIR (Short-Wave Infrared) спектралдық диапазоны түгін әсеріне сезімталдығы төмен болғандықтан, өрт ошақтарын және күйген аумақтарды анықтауда кеңінен қолданылады.

Өсімдік жамылғысының ұзақ мерзімді динамикасын үздіксіз бақылау үшін жоғары уақыттық қайталану жиілігімен сипатталатын MODIS спутниктік деректерін пайдалану тиімді болып табылады (Sodnomov et al., 2017; Palacios-Orueta et al., 2024). MODIS деректері негізінде жер беті температурасын есептеу кезінде, әдетте, спутниктің екі термалды инфрақызыл арнасының жарықтық температураларын пайдаланатын Split-Window әдісі қолданылады (Selcuk, 2025).

Landsat 7 және Landsat 8 спутниктері негізінде NDVI, NDBI және NDWI индекстерін есептеу әдістері, сондай-ақ спектралдық арналары мен олардың кеңістіктік ажыратымдылығы бір-қатар еңбектерде егжей-тегжейлі сипатталған (Tek, 2018). Landsat-8 және Sentinel-2 деректерін пайдалану арқылы өсімдік жамылғысының өзгерістерін бағалау отандық және шетелдік зерттеулерде кеңінен қарастырылған (Максутбеков және т.б., 2020; Brown et al., 2020; Ozgedinova et al., 2024).

Ғарыштық түсірілімдер негізінде спектралдық индекстер мен жер беті температурасының өзгерістерін талдау орман аумақтарының өрт қауіптілігін бағалауда маңызды рөл атқарады. Зерттеулерге сәйкес, әртүрлі табиғи-географиялық жағдайларда LST пен NDVI арасында айқын теріс корреляция байқалады, яғни температураның жоғарылауы өсімдік жамылғысының төмендеуімен қатар жүреді (Kumar & Singh, 2023; Rahimi et al., 2025). Сонымен қатар өрттердің пайда болу жиілігі мен ылғалдылық жағдайлары арасындағы байланыс NDMI сияқты индекстер арқылы тиімді анықталады (Сычев және т.б., 2020).

Жер үсті суларының кеңістіктік таралуын анықтауда NDWI және оның түрлендірілген

нұсқалары (MNDWI, AWEI) кеңінен қолданылады. Әдеби деректерге сәйкес, су нысандарын анықтауда MNDWI индексі қолдану жоғары дәлдікке қол жеткізуге мүмкіндік береді, кей зерттеулерде бұл көрсеткіш 88,2–98,7% аралығында бағаланған (Sawetwong & Reungsang, 2021; Ibka et al., 2024).

Осы зерттеуде Қостанай облысы аумағында ландшафт компоненттерінің кеңістіктік-уақыттық өзгерістерін бағалау мақсатында әртүрлі кеңістіктік және уақыттық ажыратымдылықтағы спутниктік деректерді біріктіріп қолдану тәсілі пайдаланылды. Өңірлік деңгейдегі ұзақ мерзімді үрдістерді талдау үшін MODIS деректері (LST – 1 км, NDVI – 250 м) қолданылды, ал ұсақ масштабтағы өзгерістерді, соның ішінде Аманқарағай орман алқабындағы өртке дейінгі және өрттен кейінгі экожүйелік динамиканы егжей-тегжейлі бағалау үшін USGS дерекқорынан алынған Landsat (30 м) және Copernicus платформасынан алынған Sentinel-2 L2A (10–20 м) деректері пайдаланылды. Мұндай кешенді тәсіл климаттың өзгеруі мен антропогендік факторлардың ландшафт компоненттеріне әсерін неғұрлым дәл бағалауға мүмкіндік береді (Ghaderpour et al., 2024; He et al., 2024).

Зерттеу материалдары және әдістері

Зерттеу аймағы және дереккөздер

Зерттеу нысаны ретінде Қазақстанның солтүстік бөлігінде орналасқан Қостанай облысы және оның аумағындағы Аманқарағай орман алқабы таңдалды. Өңірдің кең аумағы мен табиғи-географиялық ерекшеліктерін ескере отырып, зерттеуде әртүрлі кеңістіктік және уақыттық ажыратымдылықтағы спутниктік деректер пайдаланылды.

Деректерді алу үшін ресми ашық платформалар қолданылды: NASA Earth Observing System Data and Information System (NASA EOSDIS), АҚШ Геологиялық қызметінің EarthExplorer платформасы (USGS) және Copernicus деректер қоры. Аталған дереккөздерден MODIS, Landsat және Sentinel-2 спутниктік жүйелерінен алынған көпжылдық және көпспектралды деректер жүктелді.

Спутниктік кескіндерді іріктеу кезінде түсіру сәтіндегі бұлттылық деңгейі (3%-дан аспауы), зерттеу кезеңіне сәйкестігі, кеңістіктік ажыратымдылығы және зерттеу аумағын толық қамтуы негізгі критерийлер ретінде қарастырылды. Деректерді жинау және өңдеу кезеңде-

рінің әрқайсысында сапаны бақылау жүргізіліп, географиялық координаттардың сәйкестігі, радиометриялық дәлдігі және алынған нәтижелердің сенімділігі климаттық статистикалық деректермен салыстыру арқылы тексерілді.

Спутниктік деректерді қолдану логикасы

MODIS спутниктік деректерінің кеңістіктік ажыратымдылығы салыстырмалы түрде төмен болғандықтан ($LST - 1 \text{ км}$, $NDVI - 250 \text{ м}$), олар Қостанай облысы аумағында өңірлік деңгейдегі ұзақ мерзімді өзгерістерді талдау үшін пайдаланылды. Бұл деректер жер беті температурасының және өсімдік жамылғысының көпжылдық үрдістерін анықтауға мүмкіндік берді.

Ал Аманқарағай орман алқабындағы өртке дейінгі және өрттен кейінгі жағдайды егжей-тегжейлі бағалау мақсатында жоғары кеңістіктік ажыратымдылықтағы Landsat (30 м) және Sentinel-2 L2A (10–20 м) спутниктік деректері қолданылды. Бұл тәсіл шағын аумақтардағы экожүйелік өзгерістерді, өсімдік жамылғысының деградациясы мен қалпына келу үдерістерін нақты бейнелеуге мүмкіндік берді. Осыған сәйкес уақыттық қатарлар зерттеу мақсатына және қолданылған деректердің ерекшеліктеріне қарай бейімделіп қалыптастырылды.

Зерттеу әдістері

Жер беті температурасы (LST) индексін есептеу

Қостанай облысының жер беті температурасының кеңістіктік-уақыттық өзгерістерін талдау үшін MODIS спутниктік деректері пайдаланылды. LST деректерін алу MODIS Reprojection Tool (MRT) бағдарламалық құралы арқылы жүзеге асырылды. Зерттеу барысында MODIS сенсорының 31 және 32 термалды инфрақызыл арналары (кеңістіктік ажыратымдылығы 1 км) қолданылды.

Жер беті температурасы Split-Window әдісі негізінде есептелді. Бұл әдіс атмосфералық әсерді азайту мақсатында екі термалды инфрақызыл арнаның жарықтық температураларын бірлесе пайдалануға мүмкіндік береді. LST индексі келесі формула бойынша есептелді:

$$LST = T_{31} + \alpha(T_{31} - T_{32}) + b(T_{31} - T_{32})^2 + c + dW(T_{31} - T_{32})(1 - \epsilon) + e\Delta\epsilon \quad (1)$$

мұндағы:

T_{31} және T_{32} – MODIS сенсорының 31 және 32 арналары бойынша жарықтық температуралар (K);

a, b, c, d, e – атмосфералық және жер беті жағдайларына тәуелді эмпирикалық коэффициенттер;

W – атмосферадағы су буының мөлшері;

ϵ – орташа беткі эмиссивтілік;

$\Delta\epsilon$ – екі арна арасындағы эмиссивтілік айырмасы.

Деректерді өңдеу ArcGIS бағдарламасында Raster Calculator құралы көмегімен жүргізілді. Алынған нәтижелер әртүрлі уақыт кезеңдері бойынша салыстырмалы талдаудан өтті.

Өрт әсерін бағалау үшін NBR индексін есептеу

Өсімдік жамылғысының өрттен кейінгі зақымдану дәрежесін бағалау мақсатында нормаланған жану индексі (Normalized Burn Ratio, NBR) қолданылды. Бұл индекс жақын инфрақызыл (NIR) және қысқа толқынды инфрақызыл (SWIR) диапазондардың спектралдық қасиеттеріне негізделді.

NBR индексі келесі формула бойынша есептелді:

$$NBR = (B_{NIR} - B_{SWIR}) / (B_{NIR} + B_{SWIR}) \quad (2)$$

мұндағы:

B_{NIR} – жақын инфрақызыл диапазондағы шағылу қабілеті;

B_{SWIR} – қысқа толқынды инфрақызыл диапазондағы шағылу қабілеті.

Бұл индекс өртенген, зақымданған және қалпына келу кезеңіндегі аумақтарды айқындауға мүмкіндік берді.

Өсімдік жамылғысын талдау ($NDVI$ және $NDMI$)

Өсімдік жамылғысының күйін және оның динамикасын бағалау үшін нормаланған айырмалық вегетациялық индекс ($NDVI$) және ылғалдылық индексі ($NDMI$) есептелді. $NDVI$ деректері MODIS Vegetation Index Toolkit (MOD13Q1) өнімдері негізінде алынды.

$NDVI$ индексі ArcGIS бағдарламасында Raster Calculator құралы арқылы келесі формула бойынша есептелді:

$$NDVI = (NIR - Red) / (NIR + Red) \quad (3)$$

$$NDWI = (Green - NIR) / (Green + NIR) \quad (4)$$

мұндағы:

NIR – жақын инфрақызыл диапазон;
Red – қызыл диапазон.

NDMI индексі өсімдік пен топырақ ылғалдылығын бағалау үшін қолданылып, өрт қаупі мен құрғақшылық жағдайларын талдауда пайдаланылды. Уақыттық қатарларды талдау арқылы өсімдік жамылғысының деградация және қалпына келу үрдістері анықталды.

Жер үсті суларының динамикасын талдау (NDWI)

Қостанай облысы аумағындағы жер үсті суларының өзгерісін бағалау үшін нормалданған айырмалық су индексі (NDWI) есептелді. Ол үшін USGS дерекқорынан алынған Landsat 8–9 OLI/TIRS C2 Level 2 SR өнімдері пайдаланылды (барлығы 184 сцена, 3 және 5 арналары).

NDWI индексі ArcGIS бағдарламасында Raster Calculator көмегімен келесі формула бойынша есептелді:

мұндағы:

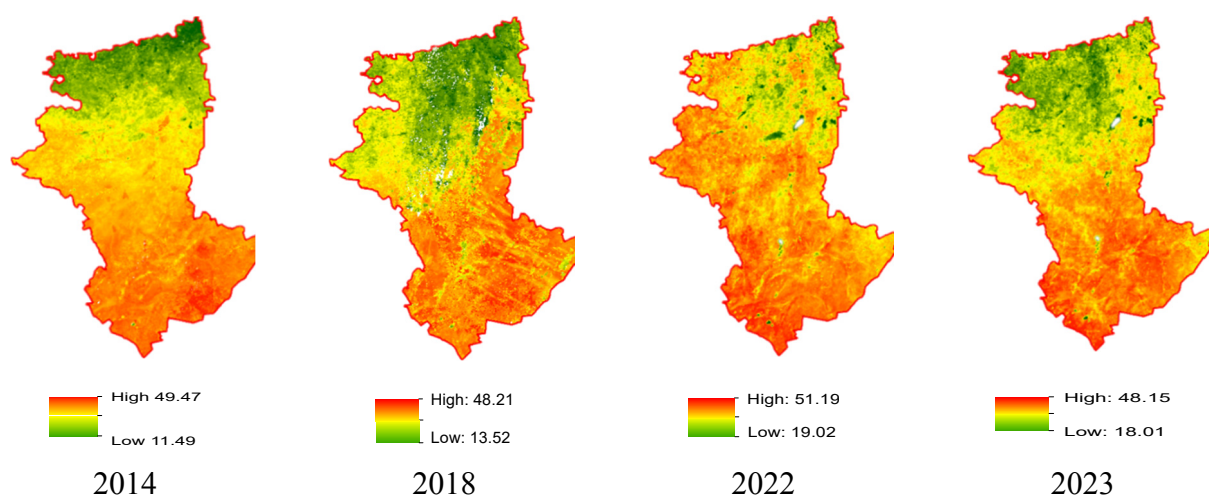
Green – жасыл спектрлік диапазон;
NIR – жақын инфрақызыл диапазон.

Атмосфералық түзетуден өткен деректерді пайдалану есептеулердің дәлдігін арттырып, жер үсті суларының кеңістіктік таралуын сенімді бағалауға мүмкіндік берді.

Зерттеу нәтижелері және талқылау

Алдымен MODIS спутниктік деректері негізінде Қостанай облысының жер температурасының (LST) карталары жасалды. LST карталары жасыл, сары және қызғылт сары және қызыл түстерге жіктелді (сур. 1).

Жасыл түспен температура салыстырмалы түрде қолайлы аймақтар, сары және қызғылт сары түстермен қоңыржай температуралық аймақтар, ал қызыл түспен ең жоғары температура байқалатын аймақтар көрсетілді.



1-сурет – Қостанай облысының 2014–2023 ж. жер температурасы LST картасы

2014, 2018, 2022 және 2023 жылдың тамыз айындағы есептелген LST мәндері Қостанай облысы аумағында температураның жалпы жоғарылау үрдісін көрсетті, бұл жаһандық климаттың жылыну тенденцияларымен сәйкес келеді. Температураның ең жоғары мәндері 2022 жылы тіркелді. Ал 2023 жылы жалпы жылыну үрдісі сақталғанмен, температураның салыстырмалы түрде біршама төмендеуі байқалды. Бұл құбы-

лыс өңірдегі температурлық режимнің уақытша тұрақтануын немесе бәсеңдеуін көрсетуі мүмкін.

Аталған ауытқулар әртүрлі факторлардың әсерімен түсіндіріледі. Біріншіден, атмосфералық циркуляция ерекшеліктері мен ауа массаларының қозғалысы жылу ағынының уақытша өзгеруіне ықпал етуі мүмкін. Екіншіден, жерді пайдалану құрылымындағы өзгерістер және өңірдің географиялық ерекшеліктері жергілікті

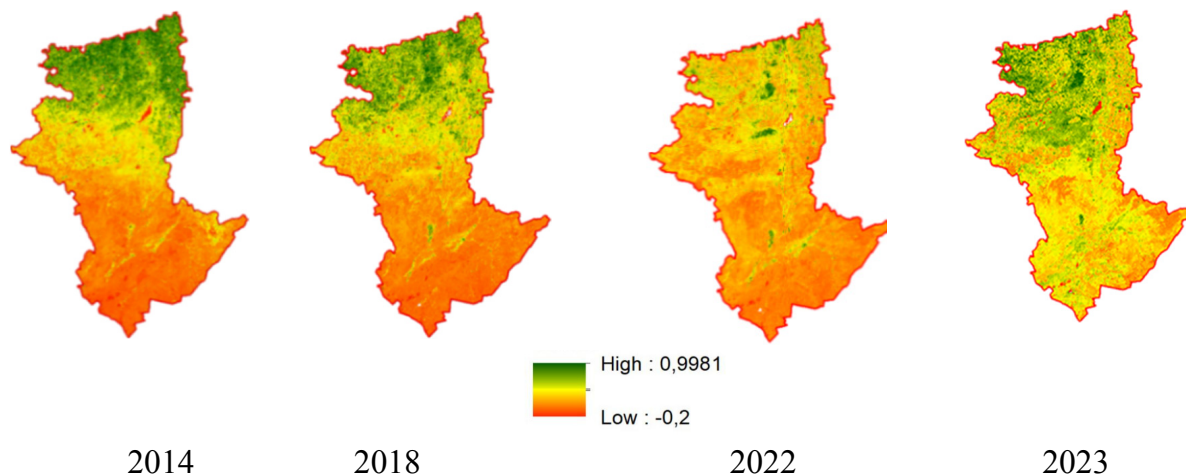
температуралық айырмашылықтардың қалыптасуына әсер етеді. Бұл үдерістерді түсіну климаттық өзгерістердің өңірлік экожүйелерге, ауыл шаруашылығына және су ресурстарына ықпалын бағалау үшін маңызды.

Қостанай облысының өсімдік жамылғысы топырақ жағдайлары мен географиялық ерекшеліктерге байланысты әркелкі таралған. Өсімдіктердің спектралдық қасиеттері олардың күйін бағалауда негізгі көрсеткіш болып табылады. Сау өсімдіктер жақын инфрақызыл диапазонда (0,7–1,3 мкм) жоғары шағылыстыру қабілетіне ие, бұл өсімдік жапырақтарының ішкі құрылымымен байланысты. Осыған байланысты инфрақызыл диапазонда жоғары шағылысу және қызыл спектрде жоғары сіңіру қасиеттері NDVI индексін есептеудің негізі болып табылады.

Бұл зерттеуде 2014–2023 жылдар аралығында есептелген NDVI индекстері негізінде Қостанай облысындағы өсімдік жамылғысының кеңістіктік-уақыттық өзгерістері талданды (сурет 2). Талдау нәтижелері жылдық маусымдық циклды ескере отырып салыстырмалы түрде жүргізілді.

NDVI индексінің мәндері -1 мен $+1$ аралығында өзгереді. Жоғары NDVI мәндері жақын инфрақызыл сәулеленудің қарқынды шағылуын, яғни тығыз өсімдік жамылғысын сипаттайды. Ал теріс немесе нөлге жуық мәндер су объектілері мен өсімдік жамылғысы жоқ аумақтарды көрсетеді. Әдеби деректерге сәйкес (Тек, 2018), NDVI мәндері келесі түрде интерпретацияланады:

- 1–0 аралығы – су объектілері;
 - 0,1–0,1 аралығы – құнарсыз жыныстар, құм немесе жалаңаш жер беті;
 - 0,2–0,5 аралығы – бұталар, шабындықтар немесе өсіп келе жатқан дақылдар;
 - 0,6–1,0 аралығы – тығыз өсімдік жамылғысы.
- Қостанай облысы бойынша зерттеуде NDVI мәндері төмендегі диапазондар бойынша жіктелді:
- 0,01–0,1 – бос жерлер, тастар, құм және қар жамылғысы;
 - 0,2–0,5 – бұталар, шабындықтар және ауыл шаруашылығы дақылдары;
 - 0,6-дан 1-ге дейін – тығыз өсімдіктер.



2-сурет – Қостанай облысының 2014–2023 ж. NDVI картасы

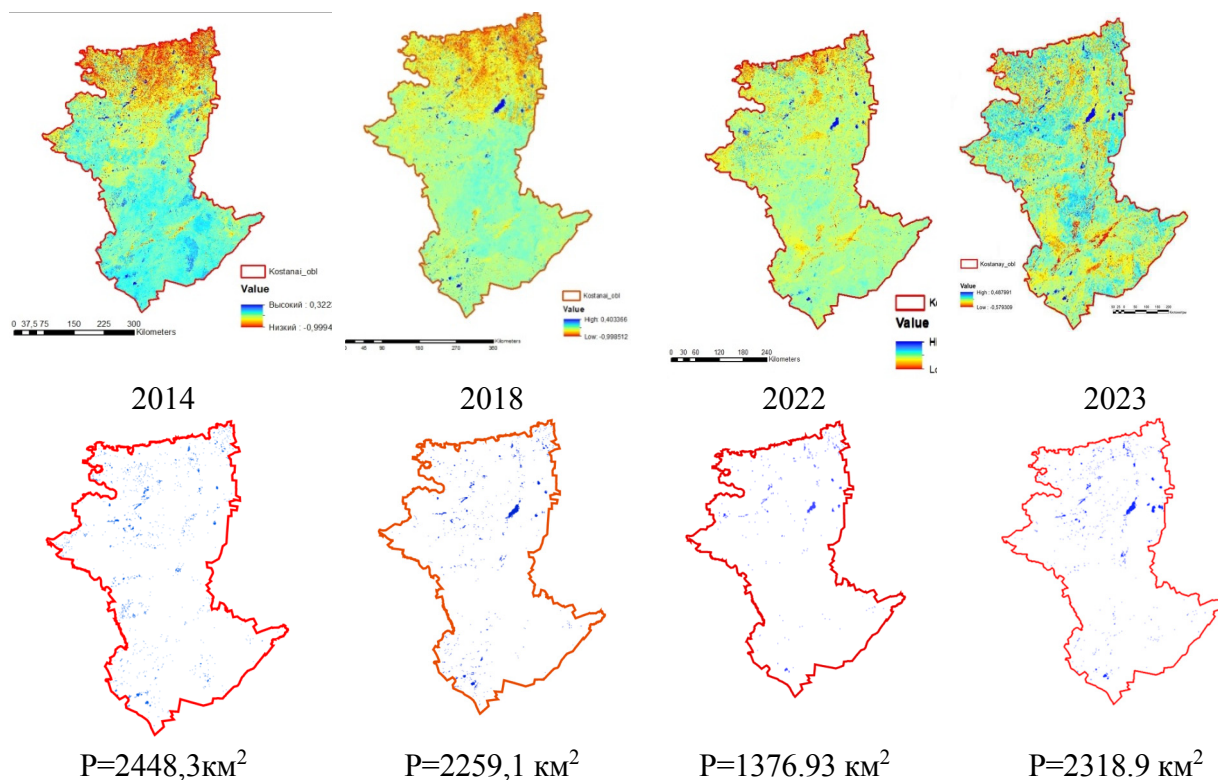
Талдау нәтижесі өсімдіктердің айтарлықтай төмендеуін көрсетті (кесте 1). Бұл төмендеуді әртүрлі факторлармен, соның ішінде климаттың өзгеруімен, адамның іс-әрекетімен және табиғи процестермен түсіндіруге болады.

Өсімдік жамылғысының динамикасына температуралық режимнен бөлек, жерүсті суларының жағдайы да әсер етеді.

Қостанай облысы аумағында су объектілерін бейнелеу үшін нормаланған айырмалық су индексі (NDWI) таңдалды, мұнда жасыл спектр 3-каналға, жақын инфрақызыл диапазон 5-каналға сәйкес келеді. NDWI мәндерінің әртүрлі жіктеулері кездеседі, соның ішінде біз (EOS Data Analytics, <https://eos.com/ru/make-an-analysis/ndwi/>) ұсынған келесі диапазондарды таңдадық:

0,2–1 – су беті;
0–0,2 – су басу, ылғалдылық;
0,3–0,0 – орташа құрғақшылық, су емес нысандар;

–1– –0,3 – құрғақшылық, су емес беттер.
NDWI есептелгеннен кейін мозаикалау жасалып, Қостанай облысының NDWI карталары құрастырылды (3-сурет).



3-сурет – Қостанай облысы 2014–2023 ж. бойынша NDWI картасы

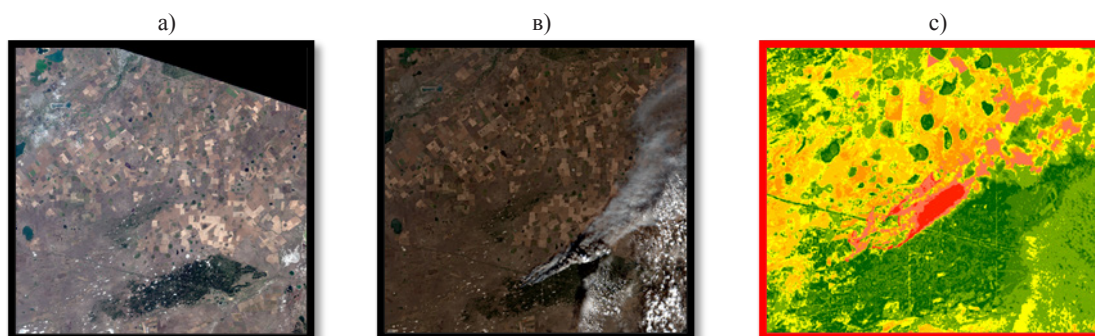
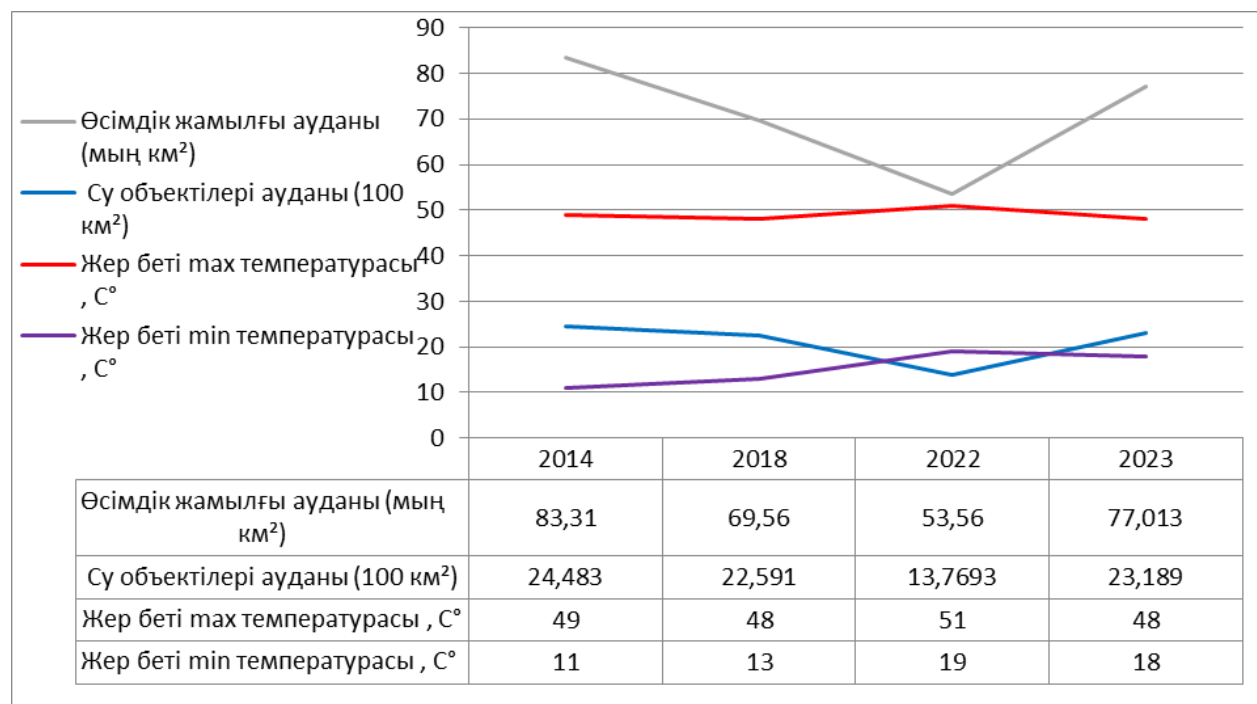
Ары қарай талдау үшін растр қайта жіктеліп, [0–ден +1–ге дейін] аралығындағы мәндері бар учаскелер – беткі су нысандары ретінде анықталып, олардың аудандары есептелді (кесте 1). Кестеде көрсетілгендей, Қостанай облысы аумағында 2014 жылдан 2022 жылға дейін су нысандарының ауданының төмендеуі байқалды, ал 2023 жылы керісінше біршама өсуі тіркелді.

Қостанай облысында 2022 жылғы 2 қыркүйекте Әуликөл ауданының орман шаруашылығы аумағында өрт болды. Өрттің пайда болу кезіндегі жалпы ауданы 43 мың гектарды құрады, бұл ғарыштық суреттерде айқын көрінеді (4 сурет).

Қазақстан Республикасы ТЖМ есебіне сәйкес, орман өртінің таралу алаңы 9 400 гектардан асты (Әуликөл ауданындағы орман алқаптарының жалпы ауданы 40 000 гектар болған кезде), тек жеті өлшемді орман шаруашылығында орманмен жабылған зардап шеккен алаң 24 919,8 гектарды құрады (Tengrinews.kz, 2022).

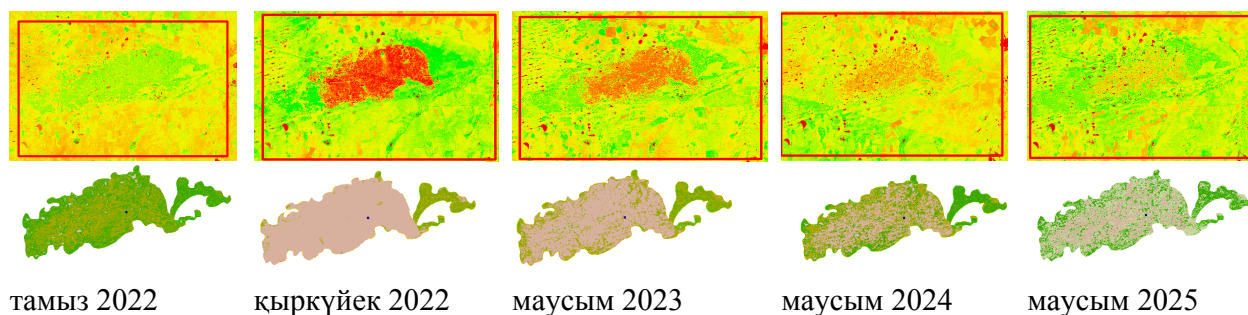
Өртеніп кеткен орман алқаптары мәселесі соңғы жылдары өте ыстық және құрғақ климатқа байланысты өзекті болды (Кузнецова, Казбек, 2021), бұл көптеген орман өрттеріне және орман ресурстарына айтарлықтай шығын әкелді. Өрттің салдары экологиялық ортадағы елеулі өзгерістер ғана емес, сонымен қатар биоөртүрлілік пен экожүйелердің тұрақтылығын бұзатын топырақ сапасының нашарлауы, өсімдік жамылғысының төмендеуі болып табылады. Авторлардың (Токарева, Алшаиби, Пасько, 2021) деректері бойынша тамыз айында топырақтың кебуі NDVI мәндерінің төмендеуімен қатар, көбінесе, ағаштардың өртенуіне әкеледі.

Әуликөл ауданындағы өрт кезінде есептелген NBR индексі арқылы орман алқаптарының өртенген учаскесін анық көруге (сур. 4с) және зақымдалған аймақтың ауданын анықтауға болады.

1-кесте – LST, NDVI, NDWI көрсеткіштерінің өзгеру динамикасы**4-сурет** – а) өртке дейін; в) өрт кезіндегі суреттер; с) NBR индексі

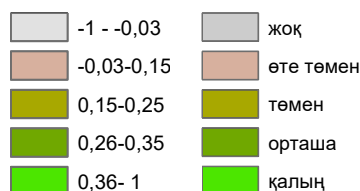
2023 жылы өрттен бір жыл өткен соң өсімдік жамылғысының жақсаруы байқалады. Бұл өсім өрттен кейінгі өсімдіктердің қалпына келуіне, қалпына келтіру шараларын жүргізуге, сондай-ақ қолайлы метеорологиялық жағдайларға байланысты болуы мүмкін. Негізі, өрттен кейін аумақты қалпына келтіру әдетте ұзақ уақытты қажет етеді. Сол үшін Әулікөл ауданының Аманқарағай орман алқабының аумағына

Landsat 8 суреттері бойынша NDVI есептелді. Бұл жолы өртке дейінгі күндер, өрттен кейін бір ай, бір, екі және үш жыл таңдалды. 5-суретте (жоғарғы бөлігі) өртенген аумақ пен оның баяу қалпына келу процесі айқын көрінеді. Осылайша, 2023 жылы Қостанай облысында өсімдік жамылғысының өсуіне бұл аумақтың аумағы әсер етпеді және ол регенерациямен байланысты емес деп айтуға болады.



5-сурет – Аманқарағай орманының өзгеру динамикасы

Әрі қарай, талдау және зардап шеккен аумақтың дәрежесін анықтау үшін шкала жасалды (сур. 6). NDVI визуализациясы үшін растрлық қайта жіктеу жүргізілді (сурет 5), өсімдіктердің әр класының ауданы есептелді (кесте 2).



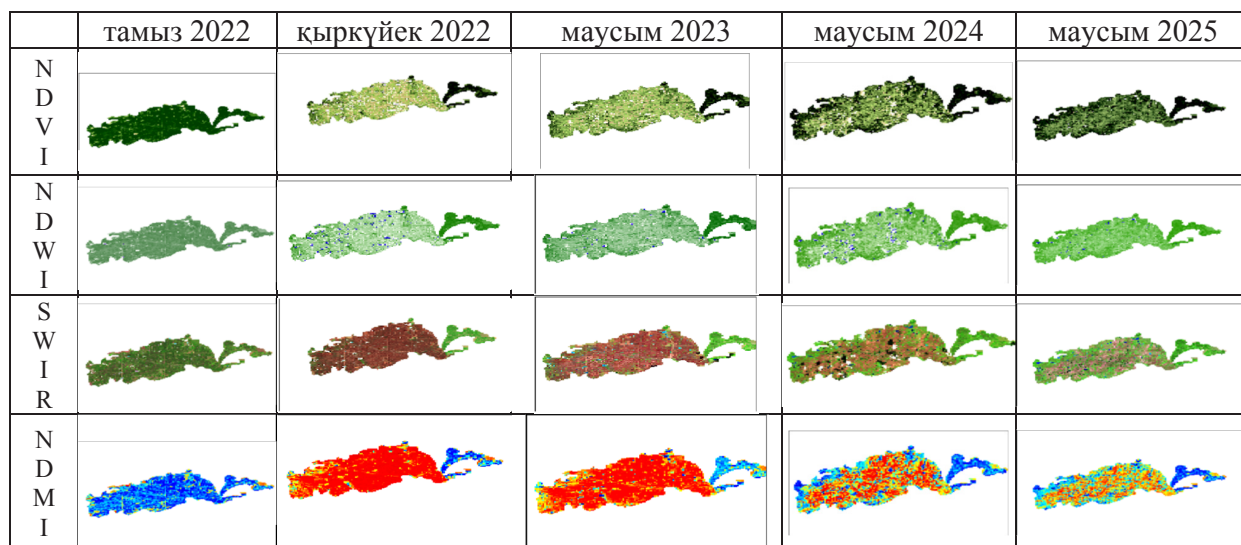
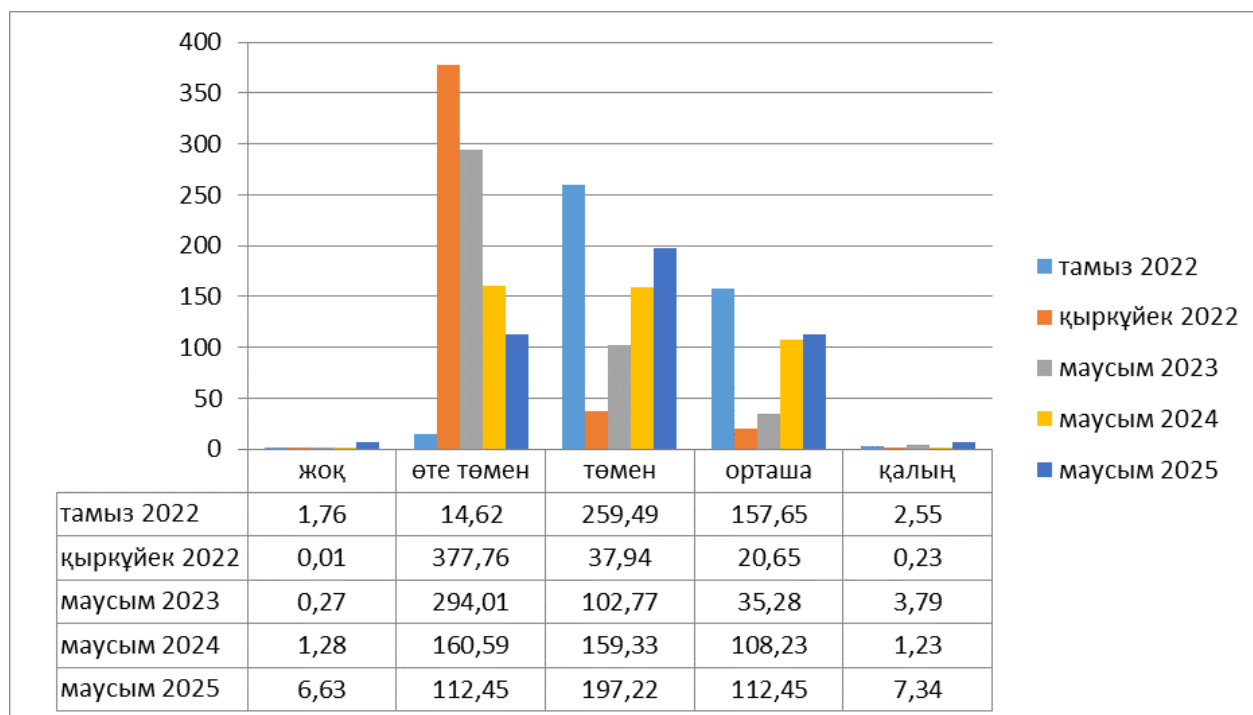
6-сурет – NDVI бойынша өсімдіктер жамылғысын жіктеу

Landsat спутниктік суреттері бойынша 2022–2025 жж. аралығындағы NDVI динамикасын талдау Аманқарағай орманындағы өрттен кейінгі өсімдік жамылғысының тозу және қалпына келу фазаларының айқын тізбегін көрсетті. 2022 жылдың тамыз айында, өртке дейін, орташа (157,7 мың га) және төмен (259,5 мың га) өсімдікті аумақтар басым болды. Ал 2022 жылдың қыркүйегінде өрттің салдарынан өте төмен NDVI көрсеткіштері бар аймақтардың аумағы 25 еседен астам өсіп, 377,6 мың гектарға жетті, бұл өсімдік жамылғысының дерлік толық жанып кеткенін білдіреді. 2023 жылдың маусымында күйген аумақтардың (294 мың га дейін) азаюы және төмен әрі орташа өсімдіктің үлесінің артуы байқалады, бұл шөптер және бұталы өсімдіктердің табиғи қалпына келе бастағанын көрсетеді. 2024 жылға қарай регенерация процесі күшейіп, орташа NDVI тығыздығы бар аумақтар 108 мың гектарға жетті, ал өте төмен мәндер екі есеге жуық азайды. 2025 жылы тығыз өсімдіктің 7,34 мың гектарға дейін артуы тіркелді, бұл жас ағаш өскіндерінің қалпына келіп жатқанын және эко-

жүйе жағдайының жақсарғанын білдіреді (кесте 2). Осылайша, 2025 жылы 2022 жылмен салыстырғанда орташа өсімдігі бар аумақтардың көлемі 5,5 есеге (81%) артқан, бұл табиғи регенерация заңдылықтарын немесе өңірде қалпына келтіру шараларының жүргізілгенін дәлелдейді.

2022 жылғы өрттен кейін өсімдік жамылғысының қалпына келуін бағалау үшін Sentinel-2 L2a спутниктік деректері бойынша NDVI, NDMI, NDWI және SWIR индекстері 2022 жылдың тамыз және қыркүйек, 2024, 2025 және 2023 жылдардың маусым айлары (7-сурет) үшін есептелді. Бұл көрсеткіштер Аманқарағай орман алқабының аумағындағы өсімдіктердің кеңістіктік-уақыттық динамикасын, ылғалдылығын және бетінің тозу дәрежесін байқауға мүмкіндік берді. SWIR диапазонындағы кескін өсімдіктер мен топырақта қанша су бар екенін көрсетеді, өйткені су SWIR толқындарын сіңіреді. Бұл композициялық суретте өсімдік жамылғысы – жасыл, топырақ және құрылыс салынған аумақтар – қоңырдың әртүрлі реңктерінде, ал су қара болып көрінеді. Жақында өртенген жер жолақтарда қатты шағылысады, бұл оларды өрттің зақымдану карталарын жасау үшін құнды етеді. SWIR өсімдіктердің әртүрлі түрлерінің арасында жақсы контрастты ұсынады, 12, 8а, 4 арналарына өсімдіктерді жасыл, өрттен пайда болған тыртықтарды қызыл түспен бейнелейді (Сычев, Р.С., Базарова, А.С., Базаров, А.В., 2020).

Ылғалдылық индексі- NDMI өсімдіктердің ылғалдылығын анықтау және құрғақшылықты бақылау үшін қолданылады. NDMI мәндерінің диапазоны -1-ден 1-ге дейін. Теріс NDMI мәндері (-1-ге жақын мәндер) құнарсыз топыраққа сәйкес келеді. Нөлге жақын мәндер (-0,2-ден 0,4-ке дейін) әдетте су тапшылығына сәйкес келеді. Жоғары, оң мәндер су тапшылығы жоқ жоғары ылғалдылықты көрсетеді (шамамен 0,4-тен 1-ге дейін).

2-кеснт – Өрттен кейін орман шаруашылығындағы өсімдіктің өзгеру динамикасы

7-сурет – Sentinel-2 L2A бойынша NDVI, NDWI, SWIR, NDMI есептеу

2022 жылдың тамызында өртке дейінгі жағдай (7-суретте көрсетілгендей) аумақтың жоғары NDVI мәндерімен сипатталды, бұл тығыз орман жамылғысын білдіреді. NDMI мен NDWI көрсеткіштері де біршама жоғары болып, өсімдіктер мен топырақтың жақсы ылғалданғанын көрсетті. SWIR мәндерінің төмен болуы қуаң-

шылық белгілерінің жоқтығын дәлелдейді. Жалпы, экожүйе тұрақты, теңгерімді жағдайда болып, су режимі оңтайлы деңгейде сақталды.

2022 жылдың қыркүйегінде өрттен кейін NDVI, NDMI және NDWI көрсеткіштерінің күрт төмендеуі байқалды: қалың өсімдік жамылғысы дерлік жойылды. Сонымен қатар SWIR айтар-

лықтай артты, бұл күйген және құрғаған аумақтарға тән құбылыс. Өрттен бір жыл өткен соң NDVI мәндері қайта өсе бастады – өсімдіктің сирек және орташа тығыздықтағы жаңа учаскелері пайда болды. NDMI мен NDWI де көтеріліп, ылғалдың жиналуын және өсімдік қабатының қалпына келе бастауын көрсетті. SWIR төмендегенімен, құрғақтық белгілері әлі де сақталды. Бұл экожүйенің бастапқы қалпына келу фазасына өтіп, гидрологиялық циклдің жандана бастағанын білдіреді.

2024 жылы қалпына келу процесі айқынырақ көрінді: NDVI айтарлықтай өсіп, әсіресе орман массивінің орталық және солтүстік бөліктерінде жоғарылады. NDMI мен NDWI өсімдіктер мен топырақтың ылғалдылығының артқанын көрсетті, ал SWIR төмендеуін жалғастырып, құрғақ және күйген аумақтардың азайғанын байқатты. Жалпы алғанда, аумақта жас орман жамылғысы қалыптасып, микроклиматтық жағдайлар тұрақтана бастады.

2025 жылға қарай NDVI, NDMI және NDWI мәндері өрттен кейінгі бүкіл кезеңдегі ең жоғары көрсеткіштерге жетті, ал SWIR ең төменгі деңгейге дейін төмендеді. Бұл биомассаның қалпына келуін, су балансын жақсартуды және қалыпты ылғалмен қамтамасыз етілуінің қайта орнағанын білдіреді. Қалың өсімдік жамылғысының ауданы 2023 жылмен салыстырғанда үш еседен астам артты, бұл аумақтың тұрақты қалпына келу фазасына өткенін көрсетеді.

Қорытынды

Алынған деректерге сәйкес, Қостанай облысында 2014–2023 жылдар аралығында жер беті температурасының (LST) жалпы үрдісі тұрақты өсу бағытында екені анықталды. Осы кезеңде өсімдік жамылғысы мен жер үсті суларының аудандары, керісінше, қысқару үрдісін көрсетеді. Облыстың жалпы аумағы 196 мың км² болса, 2023 жылы өсімдіктермен жабылған аумақ 77 мың км²-ді құрап, облыс аумағының шамамен 40%-ын ғана қамтыды. Бұл Қостанай облысының едәуір бөлігі төмен өсімдікті немесе мүлдем өсімдіксіз аумақтардан тұратынын көрсетеді. Жер үсті су нысандарының ауданы облыс аумағының бар болғаны 2%-ын ғана құрайды.

Өсімдік жамылғысы мен су айдындары аудандарының өзгеруі жер беті температурасының өзгеруімен тығыз байланыста екені анықталды. Бұл байланыс өңір экожүйелерінің температуралық ауытқуларға жоғары сезімтал екенін

көрсетеді (сурет 9). LST пен NDVI арасындағы $-0,65$ корреляция коэффициентімен сипатталатын теріс байланыс байқалды, ол $y = -0,24x + 42$ теңдеуімен өрнектеледі және бұл заңдылық Іbka (2024) еңбегінде де расталған. Аталған нәтиже жер беті температурасының жоғарылауы өсімдік жамылғысының азаюымен тікелей байланысты екенін көрсетеді.

Аманқарағай орман алқабының жалпы ауданы 436,62 км² құрайды және оның едәуір бөлігін өте төмен және төмен өсімдіктері бар аумақтар алып жатыр. NDVI, NDMI, NDWI және SWIR негізінде жүргізілген талдау өсімдік биомассасы мен ылғалдылық жағдайларының өзара тығыз байланысын көрсетті. NDVI, NDMI және NDWI мәндерінің артуы SWIR көрсеткіштерінің төмендеуімен қатар жүріп, өсімдік жамылғысының біртіндеп қалпына келуін және су режимінің жақсарғанын көрсетеді. 2022–2025 жылдар аралығында, әсіресе 2024–2025 жылдары, орман экожүйесінің қалпына келуінде айқын оң динамика байқалды.

Өсімдік жамылғысының өзгеруі өңірдің су балансын бұзатыны белгілі: орман алқаптарының қысқаруы ағынды судың күшеюіне, топырақ эрозиясының артуына және топырақтың су ұстау қабілетінің төмендеуіне әкеледі. Өз кезегінде гидрологиялық режимнің өзгеруі өсімдіктердің өсуіне қолайсыз жағдай қалыптастырады. Сонымен қатар ауа температурасының жоғарылауы булану қарқынын арттырып, экожүйелердегі ылғал тапшылығын күшейтеді.

Жер беті температурасының тұрақты өсуі табиғи ресурстарды қорғау және ұтымды пайдалану бойынша тиімді шаралар қабылданбаған жағдайда, болашақта экожүйелер үшін күрделі салдарға әкелуі мүмкін. Осы зерттеуде есептелген спектралдық индекстер негізінде жүргізілген талдау климаттық өзгерістердің, антропогендік әсерлердің және өрт сияқты табиғи апаттардың өзара күрделі байланыста екенін көрсетеді.

Қашықтан зондтау деректерін қолдану Қостанай облысының табиғи ортасындағы өзгерістер динамикасын тереңірек түсінуге мүмкіндік берді. Бұл тәсіл өсімдік жамылғысы мен су ресурстарының жай-күйін бағалаумен қатар, ықтимал экологиялық және техногендік қауіптерді анықтауға, тұрақты мониторинг жүргізуге, аумақты жоспарлауға және табиғи ресурстарды ұтымды басқаруға негіз болады. Зерттеу нәтижелері Қостанай облысының тұрақты дамуына бағытталған ғылыми негізделген шешімдер қабылдау үшін маңызды ақпараттық база болып табылады.

Әдебиеттер

- Brown, J. F., et al. (2020). Lessons Learned Implementing an Operational Continuous United States National Land Change Monitoring Capability: The Land Change Monitoring, Assessment, and Projection (LCMAP) Approach. *Remote Sens. Environ*, 238, 113-125. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2019.11135>
- Ibka, M. S., Rahal D. D., Benharats, F., Sifodil, D. (2024). Spatiotemporal Impact of Urbanization on Urban Heat Island Using Landsat Imagery in Oran, Algeria: 1984–2024. <https://www.researchgate.net/publication/390254230>.
- Кузнецова И.А., Казбек С.К. (2021). «Семей орманы» қорығында орман өртін талдау: Google Earth қозғалтқышында машиналық оқытуды қолдану. *StudNent* 5(21). <https://cyberleninka.ru/article/n/analiz-lesnyh-pozharov-v-rezervate-semey-ormany-primenenie-mashinnogo-obucheniya-v-google-earth-engine/viewer>
- Ghaderpour, E., Mazzanti, P., Bozzano, F., & Scarascia Mugnozza, G. (2024). Trend Analysis of MODIS Land Surface Temperature and Land Cover in Central Italy. *Land*, 13(6), 796. <https://doi.org/10.3390/land13060796>
- He, X., Wang, D., Gao, S., Li, X., Chang, G., Jia, X., & Chen, Q. (2024). The anisotropy of MODIS LST in urban areas: A perspective from different time scales using model simulations. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 209, 448-460.
- Максутбеков А., Керімбай Б., Әбдіхалық Н., Керімбай Б. (2020). Landsat-8 және Sentinel 2 спутниктерінің спутниктік суреттері негізінде NDVI индекстерін есептеу. *pio-2020-1_p048-053.pdf*
- Ozgedinova Z., Zhanguzhina A., Mukaev Z., Bektemirova, A., Korytny L., & Ospan G. (2024). Spatial structure of nature management conflicts in Kostanay region. *Journal of Geography and Environmental Management*, 72(1), 131–142. <https://doi.org/10.26577/JGEM.2024.v72.i1.010>
- Kumar, R. and Singh, S. (2023). Analysis of the relationship between land surface temperature (LST), land use land cover (LULC) and normalized difference vegetation index (NDVI) with topographic features in the Lower Himalayan region. *Remote Sensing Applications: Society and Environment*, 31, 100982. [doi.org](https://doi.org/10.1016/j.rse.2023.100982)
- Қостанай облысындағы өрт. (2022). Жаңалықтар *Tengrinews.kz* от 04 қыркүйек 2022. <https://tengrinews.kz>
- Palacios-orueta, A., Litago, J., & Ustin, S. (2024). Assessment of NDVI and NDWI spectral indices using MODIS time series analysis and development of a new spectral index based on MODIS shortwave infrared bands. <https://doi.org/10.13140/2.1.1305.4400>
- Содномов Б.В., Аюржанаев А.А., Цыдыпов Б.З., Гармаев Е.Ж. (2018). MODIS NDVI ұзақ мерзімді вариацияларын бағалау алгоритмі. Сібір федералды университетінің журналы. Техника және технология. №11(1). 61-68 Б. DOI: 10.17516/1999-494X-0009.
- Сычев, Р.С., Базарова, А.С., Базаров, А.В.. (2020). Sentinel 2 спутниктік түсірілімі негізінде орман өрт қаупін бағалауға арналған спектрлік индекстер. DOI 10.31554/978-5-7925-0592-6-2020-46-57
- Rahimi, E., Dong, P., & Jung, C. (2025). Global NDVI-LST Correlation: Temporal and Spatial Patterns from 2000 to 2024. *Environments*, 12(2), 67. <https://doi.org/10.3390/environments12020067>
- Sawetwong, C., & Reungsang, P. (2021). Comparison of NDWI, MNDWI1 and MNDWI2 Indices from Sentinel-2 Satellite Images for Extracting Urban Surface Water Bodies in Khon Kaen. *Journal of Applied Informatics and Technology*, 4(1), 1–12. <https://doi.org/10.14456/jait.2022.1>
- Selcuk, A. (2025). Determination of Land Surface Temperature (LST) with Landsat 8: Application of Tekirdag -Sarkoy Region. *The Journal of Scientific and Engineering Research*, 12 (2), 15-24. [JSAER2025-12-2-15-24.pdf](https://www.jsaer.com/2025-12-2-15-24.pdf)
- Tek B.R. (2018). NDVI, NDBI & NDWI Calculation Using Landsat 7, 8. https://www.researchgate.net/publication/327971920_NDVI_NDBI_NDWI_Calculation_Using_Landsat_7_8.
- Токарева, О.С., Алшаиби, А.Д., Пасько, О.А. (2021). Landsat спутниктік деректерін пайдалана отырып, орман өртенген аумақтардағы өсімдік жамылғысының қалпына келтіру динамикасын бағалау. *Томск политехникалық университетінің жаңалықтары. Георесурстар инженериясы*, 332(7), 191–199. <https://cyberleninka.ru/article/n/otsenka-vosstanovitelnoy-dinamiki-rastitelnogo-pokrova-lesnyh-garey-s-ispolzovaniem-dannyh-so-sputnikov-landsat/viewer>

References

- Brown, J. F., et al. (2020). Lessons Learned Implementing an Operational Continuous United States National Land Change Monitoring Capability: The Land Change Monitoring, Assessment, and Projection (LCMAP) Approach. *Remote Sens. Environ*, 238, 113-125. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2019.11135>
- Ibka, M. S., Rahal D. D., Benharats, F., Sifodil, D. (2024). Spatiotemporal Impact of Urbanization on Urban Heat Island Using Landsat Imagery in Oran, Algeria: 1984–2024. <https://www.researchgate.net/publication/390254230>.
- Kuzneczova, I.A., Kazbek, S.K. (2021). Analiz lesny'x pozharov v rezervate «Semej ormany»: prienie mashinnogo obucheniya v GOOGLE EARTH ENGINE. [Analysis of forest fires in the Semey Ormany Reserve: application of machine learning in GOOGLE EARTH ENGINE]. *StudNent* 5(21). <https://cyberleninka.ru/article/n/analiz-lesnyh-pozharov-v-rezervate-semey-ormany-primenenie-mashinnogo-obucheniya-v-google-earth-engine/viewer>
- EOS Data Analytics, <https://eos.com/ru/make-an-analysis/ndwi/>
- Ghaderpour, E., Mazzanti, P., Bozzano, F., & Scarascia Mugnozza, G. (2024). Trend Analysis of MODIS Land Surface Temperature and Land Cover in Central Italy. *Land*, 13(6), 796. <https://doi.org/10.3390/land13060796>
- He, X., Wang, D., Gao, S., Li, X., Chang, G., Jia, X., & Chen, Q. (2024). The anisotropy of MODIS LST in urban areas: A perspective from different time scales using model simulations. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 209, 448-460.

Maksutbekov A., Kerimbaj B., Əbdihalyk N., Kerimbaj B. (2020). Raschet indeksov NDVI na osnove kosmicheskikh snimkov so sputnikov Landsat-8 i Sentinel 2. nio-2020-1_p048-053.pdf.

Ozgedinova Z., Zhanguzhina A., Mukaev Z., Bektemirova, A., Korytny L., & Ospan G. (2024). Spatial structure of nature management conflicts in Kostanay region. *Journal of Geography and Environmental Management*, 72(1), 131–142. <https://doi.org/10.26577/JGEM.2024.v72.i1.010>

Kumar, R. and Singh, S. (2023). Analysis of the relationship between land surface temperature (LST), land use land cover (LULC) and normalized difference vegetation index (NDVI) with topographic features in the Lower Himalayan region. *Remote Sensing Applications: Society and Environment*, 31, 100982. doi.org

Pozhar v Kostanaiskoi oblasti. (2022). [Fire in Kostanay region]. *Novosti na Tengrinews.kz ot 04 sentiabria 2022*. <https://tengrinews.kz>

Palacios-orueta, A., Litago, J., & Ustin, S. (2024). Assessment of NDVI and NDWI spectral indices using MODIS time series analysis and development of a new spectral index based on MODIS shortwave infrared bands. <https://doi.org/10.13140/2.1.1305.4400>

Sodnomov B.V. Ayurzhanayev A.A., Cydypov B.Z., Garmaev E.Zh., (2018). Algoritm ocenki dolgovremennykh variacij MODIS NDVI [Algorithm of assessment of the MODIS NDVI long-term variations], *Zhurnal Sibirskogo federal'nogo universiteta. Tekhnika i tekhnologiya. [J. Sib. Fed. Univ., Eng. technol.]* 11(1). 61-68. DOI: 10.17516/1999-494X-0009

Sychev, R.S., Bazarova, A.S., Bazarov, A.V. (2020). Spektralnye indeksy dlya ocenki pozharnoj opasnosti lesov po materialam semki sputnika Sentinel 2 [Spectral indices for assessing forest fire danger based on Sentinel 2 satellite imagery]. DOI 10.31554/978-5-7925-0592-6-2020-46-57

Rahimi, E., Dong, P., & Jung, C. (2025). Global NDVI-LST Correlation: Temporal and Spatial Patterns from 2000 to 2024. *Environments*, 12(2), 67. <https://doi.org/10.3390/environments12020067>

Sawetwong, C., & Reungsang, P. (2021). Comparison of NDWI, MNDWI1 and MNDWI2 Indices from Sentinel-2 Satellite Images for Extracting Urban Surface Water Bodies in Khon Kaen. *Journal of Applied Informatics and Technology*, 4(1), 1–12. <https://doi.org/10.14456/jait.2022.1>

Selcuk, A. (2025). Determination of Land Surface Temperature (LST) with Landsat 8: Application of Tekirdag -Sarkoy Region. *The Journal of Scientific and Engineering Research*, 12 (2), 15-24. JSAER2025-12-2-15-24.pdf

Tek B.R. (2018). NDVI, NDBI & NDWI Calculation Using Landsat 7, 8. https://www.researchgate.net/publication/327971920_NDVI_NDBI_NDWI_Calculation_Using_Landsat_7_8.

Tokareva O.S., Alshaibi A.D., Pas'ko O.A. (2021). Ocenka vosstanovitel'noj dinamiki rastitel'nogo pokrova lesnyh garej s ispol'zovaniem dannyh so sputnikov Landsat [Assessment of the regenerative dynamics of vegetation cover of forest harems using data from Landsat satellites], *Izvestiya Tomskogo politekhnicheskogo universiteta [The News of Tomsk Polytechnic University]. Inzhiniring georesursov [Georesource engineering]*. 332(7), 191-199 pp. <https://cyberleninka.ru/article/n/otsenka-vosstanovitelnoy-dinamiki-rastitelnogo-pokrova-lesnyh-garej-s-ispolzovaniem-dannyh-so-sputnikov-landsat/viewer>

Авторлар туралы мәлімет:

Ж.Т. Омиржанова – т. г. к., геодезия және картография, кадастр кафедрасының ассоц. проф., Халықаралық білім беру корпорациясы (Алматы, Қазақстан, e-mail: zh.omirzhanova@kazgasa.kz);

К.Т. Картбаева – PhD, геодезия және картография, кадастр кафедрасының ассоц. проф., Халықаралық білім беру корпорациясы (Алматы, Қазақстан, e-mail: k.kartbayeva@kazgasa.kz);

Д.С. Бекболат – бас маман, РММ «Ауыл шаруашылығы министрлігінің Жер ресурстарын басқару жөніндегі Алматы облысының Жер ресурстарын басқару департаменті» (Қонаев, Қазақстан, e-mail: dvm1ra3@gmail.com).

Information about authors:

Zh.T. Omirzhanova – k. t. s., Associate Professor of the Department of Geodesy and Cartography, Cadastre, International Educational Corporation (Almaty, Kazakhstan, e-mail: zh.omirzhanova@kazgasa.kz);

K.T. Kartbayeva – PhD, Associate Professor of the Department of Geodesy and Cartography, Cadastre, International Educational Corporation (Almaty, Kazakhstan, e-mail: k.kartbayeva@kazgasa.kz);

D.S. Bekbolat – Main Expert, RSU «Department of Land Resources Management of the Almaty Region for Land Resources Management of the Ministry of Agriculture» (Konaev, Kazakhstan, e-mail: dvm1ra3@gmail.com).

Сведения об авторах:

Ж.Т. Омиржанова – к. т. н., ассоц. проф. кафедры геодезии и картографии, кадастра, Международная образовательная корпорация (Алматы, Казахстан, e-mail: zh.omirzhanova@kazgasa.kz);

К.Т. Картбаева – PhD, ассоц. проф. кафедры геодезии и картографии, кадастра, Международная образовательная корпорация (Алматы, Казахстан, e-mail: k.kartbayeva@kazgasa.kz);

Д.С. Бекболат – гл. специалист, РГУ «Департамент по управлению земельными ресурсами Алматинской области по управлению земельными ресурсами Министерства сельского хозяйства» (Конаев, Казахстан, e-mail: dvm1ra3@gmail.com).

Келіп түсті: 25 қыркүйек 2025 жыл
Қабылданды: 14 желтоқсан 2025 жыл

3-бөлім
**МЕТЕОРОЛОГИЯ
ЖӘНЕ ГИДРОЛОГИЯ**

Section 3
**METEOROLOGY
AND HYDROLOGY**

Раздел 3
**МЕТЕОРОЛОГИЯ
И ГИДРОЛОГИЯ**

А.А. Медеу¹ , Ж.М. Биримбаев^{1, 2*} ¹АО «Институт географии и водной безопасности», Алматы, Казахстан²Казахский национальный университет имени аль-Фараби, Алматы, Казахстан

*e-mail: bzm1987@mail.ru

ОЦЕНКА УЩЕРБА ОТ НАВОДНЕНИЙ И УПРАВЛЕНИЕ РИСКАМИ ИХ ВОЗНИКНОВЕНИЯ В РЕСПУБЛИКЕ КАЗАХСТАН

В данной работе подробно анализируются ключевые проблемы оценки и управления рисками наводнений в Республике Казахстан, где водные чрезвычайные ситуации остаются одними из наиболее актуальных природных угроз. Особое внимание уделено специфике весеннего периода, когда таяние снежного покрова, образование заторов на реках и резкие колебания температур создают предпосылки для масштабных паводков. Рассмотрены основные причины возникновения наводнений, включая проливные дожди, особенности рельефа, антропогенные факторы, а также аварии на гидротехнических сооружениях, усугубляющие уязвимость территорий. В исследовании представлены современные подходы к оценке риска: гидрологическое моделирование, анализ многолетних наблюдений, методы картографирования зон возможного затопления. Подчеркивается необходимость комплексного подхода, сочетающего инженерные решения, природоохранные меры, совершенствование систем мониторинга и раннего оповещения, а также повышение готовности и информированности населения. Кроме того, работа акцентирует внимание на вызовах, связанных с климатическими изменениями, ухудшением состояния гидротехнической инфраструктуры и сложностями межрегионального и трансграничного управления водными ресурсами. Результаты исследования демонстрируют важность интеграции научных методов в практику управления водными рисками для повышения устойчивости регионов и минимизации возможного ущерба.

Ключевые слова: наводнения, управление рисками, гидрологическое моделирование, уязвимость территорий, социально-экономический ущерб.

A.A. Medeu¹, Zh.M. Birimbayev^{1, 2*}¹JSC «Institute of Geography and Water Security», Almaty, Kazakhstan²Al-Farabi Kazakh National University, Almaty, Kazakhstan

*e-mail: bzm1987@mail.ru

Assessment of flood damage and management of flood risk occurrence in the Republic of Kazakhstan

This paper provides a detailed analysis of key issues in flood risk assessment and management in the Republic of Kazakhstan, where water-related emergencies remain one of the most pressing natural hazards. Particular attention is paid to the specifics of the spring period, when snowmelt, river blockages and sharp temperature fluctuations create the conditions for large-scale flooding. The main causes of flooding are considered, including heavy rains, terrain features, anthropogenic factors, and accidents at hydraulic structures that exacerbate the vulnerability of territories. The study presents modern approaches to risk assessment: hydrological modelling, analysis of long-term observations, and methods for mapping areas of potential flooding. It emphasizes the need for a comprehensive approach that combines engineering solutions, environmental protection measures, improvement of monitoring and early warning systems, and increased preparedness and awareness among the population. In addition, the study highlights the challenges associated with climate change, the deterioration of hydraulic infrastructure, and the complexities of interregional and transboundary water management. The results of the study demonstrate the importance of integrating scientific methods into water risk management practices to increase regional resilience and minimize potential damage.

Keywords: floods, risk management, hydrological modeling, territorial vulnerability, socio-economic damage.

А.А. Медеу¹, Ж.М. Биримбаев^{1, 2*}

¹«География және су қауіпсіздігі институты» АҚ, Алматы, Қазақстан

²Әл-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университеті, Алматы, Қазақстан

*e-mail: bzm1987@mail.ru

Су тасқындарынан келтірілетін залалды бағалау және олардың Қазақстан Республикасында туындау тәуекелдерін басқару

Бұл жұмыста судан пайда болатын төтенше жағдайлар аса өзекті табиғи қауіптердің бірі болып табылатын Қазақстан Республикасындағы су тасқыны тәуекелдерін бағалау мен басқарудың түйінді мәселелері егжей-тегжейлі талданады. Көктемгі кезеңнің ерекшелігіне ерекше назар аударылады, онда қар жамылғысының еруі, өзендерде кептелістердің пайда болуы және температураның күрт өзгеруі су тасқындары қалыптасуының алғышарттары болып табылады. Су тасқынының негізгі себептері, соның ішінде қатты жаңбыр, жер бедерінің ерекшеліктері, антропогендік факторлар, сондай-ақ аумақтардың осалдығын күшейтетін гидротехникалық құрылыстардағы апаттар қарастырылады. Зерттеуде гидрологиялық модельдеу, көпжылдық бақылауларды талдау, ықтимал су басу аймақтарын картаға түсіру әдістері сияқты тәуекелді бағалаудың заманауи тәсілдері ұсынылады. Инженерлік шешімдерді, табиғатты қорғау шараларын, мониторинг және ерте хабарлау жүйелерін жетілдіруді, сондай-ақ халықтың дайындығы мен хабардарлығын арттыруды біріктіретін кешенді тәсілдің қажеттілігі атап өтіледі. Сонымен қатар, жұмыс климаттың өзгеруіне, гидротехникалық инфрақұрылымның нашарлауына және су ресурстарын өңіраралық және трансшекаралық басқарудың күрделілігіне байланысты сын-қатерлерге назар аударады. Зерттеу нәтижелері аймақтардың тұрақтылығын арттыру және ықтимал зиянды азайту үшін су тәуекелдерін басқару тәжірибесіне ғылыми әдістерді біріктірудің маңыздылығын көрсетеді.

Түйін сөздер: су тасқыны, тәуекелдерді басқару, гидрологиялық модельдеу, аумақтардың осалдығы, әлеуметтік-экономикалық залал.

Введение

Чрезвычайные ситуации, вызванные паводками в последние годы, обостряют вопрос о достаточности и эффективности превентивных мер защиты территорий. Современные условия требуют смещения акцента с ликвидации последствий на комплексную работу по снижению риска и устранению причин ущерба. Безопасность населения, инфраструктуры и природной среды является важнейшим условием устойчивого развития, однако даже экономики развитых стран не способны бесконечно финансировать ликвидацию последствий стихийных бедствий. Поэтому государственная политика все больше ориентируется на предупреждение и снижение рисков, что соответствует глобальным вызовам XXI века, связанным с устойчивостью и безопасностью.

Международные инициативы ООН, включая Июкогамскую стратегию (1994) (ООН. Обзор, 2005), Хиогскую рамочную программу (2005-2015 гг.) и Сендайскую рамочную программу (2015-2030 гг.), заложили основу для формирования мировой системы снижения рисков бедствий (ООН. Сендайская, 2015). Эти документы подчеркнули необходимость инте-

грации мер по предотвращению и смягчению последствий катастроф в национальные планы развития. Казахстан, в рамках инициатив ПРООН и после Международного десятилетия по уменьшению воздействия стихийных бедствий (1990-1999 гг.), начал формировать собственную политику в области предупреждения ЧС, включая оценку подверженности территорий и разработку планов реагирования. Опыт последних десятилетий подтверждает: превентивные меры эффективнее и экономичнее, чем исключительно реагирование на чрезвычайные ситуации.

Наводнения в мире (масштабы и ущерб). Наводнения являются наиболее распространенными стихийными бедствиями, составляя, согласно данным базы EM-DAT, за период 1900-2024 гг. 35 % всех природных катастроф мира (База данных EM-DAT) (рисунок 1), преимущественно в Азии. По данным ЮНЕСКО, за последнее столетие они унесли жизни около 9 млн. человек (Вдовина, 2017). По оценкам Swiss Re Institute (Swiss Re, 2023), ежегодный глобальный экономический ущерб от наводнений и сопутствующих явлений достигает 200 млрд. долларов США, а к середине века при текущем потеплении потери могут возрасти до 7-10 % мирового ВВП (Swiss Re, 2021).

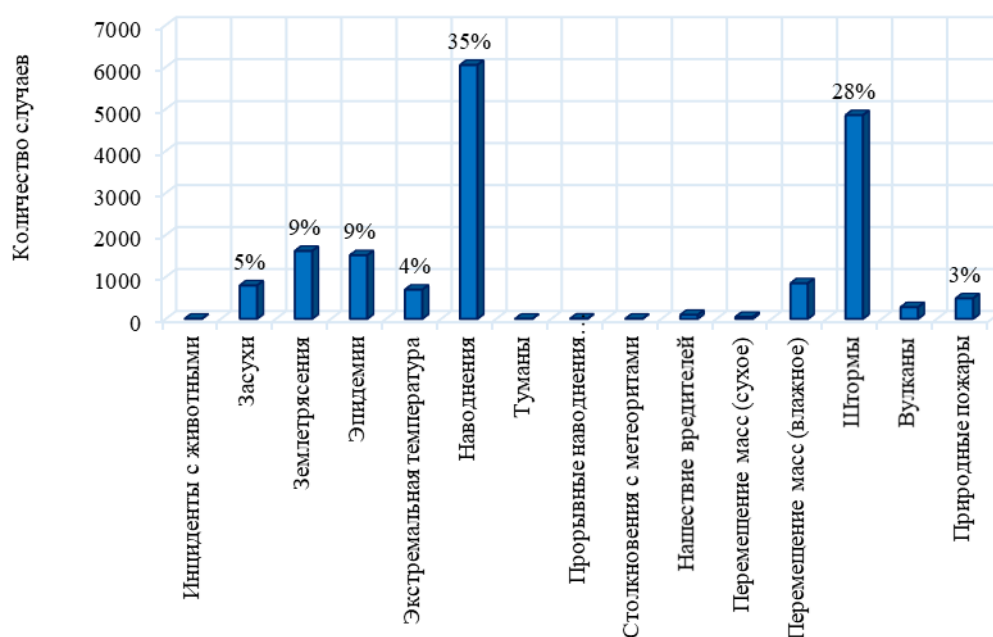


Рисунок 1 – Распределение природных катастроф по типам
Примечание – составлено авторами на основе базы данных EM-DAT

Наибольшие разрушительные последствия наблюдаются в Азии, где ущерб от наводнений за последние десятилетия увеличился более чем в два раза; только в 2021 г. они составили 80 % всех природных катастроф в регионе, с ущербом 35.6 млрд долларов США (State, 2022). В Европе за 1980-2022 гг. совокупный ущерб от экстремальных погодных явлений превысил 650 млрд. евро, из которых более 45 % составили наводнения. Наиболее разрушительными были паводки 2021 г. в Германии, Бельгии и Нидерландах (44 млрд. евро) и наводнение 2023 г. в Словении (почти 10 млрд. евро) (European, 2024). В 2024 г. новые катастрофические наводнения в Центральной Европе и Испании нанесли ущерб в десятки млрд. евро и привели к сотням жертв (Munich Re, 2025; Gobierno de España, 2024).

Россия и Казахстан также находятся в зоне высокого риска. Среднегодовой ущерб от наводнений в России превышает 120 млрд. рублей (≈ 1.6 млрд. долларов США), что составляет 0.1-0.13 % ВВП (Бирюков, 2024). Крупные события последних лет включают наводнения в Алтае (2014 г.), Краснодарском крае (2012 г.), Иркутской области (2019 г.), Крыму (2024 г.), а также катастрофическое наводнение в Орске в 2024 г. (21 млрд. рублей ущерба) (Порфирьев, 2015; Ущерб от паводка, 2024). В Казахстане средне-

годовые потери оцениваются в 419 млн. долларов США (CAREC, 2022), а человеческие жертвы достигают 390 смертей ежегодно. Масштабные паводки 2008, 2017 и 2024 гг. показали сочетание климатических факторов и недостаточной инфраструктурной готовности, подтверждая необходимость систем раннего предупреждения и устойчивого управления водными ресурсами (О мерах, 2008; Более \$624 тысяч, 2024).

Цель исследования – комплексный анализ современных методов экономической оценки рисков и ущерба от наводнений в условиях изменения климата, выявление их сильных и слабых сторон, а также обоснование подходов к формированию эффективной системы управления паводковыми рисками, ориентированной на снижение прямого и косвенного ущерба, повышение устойчивости социально-экономической инфраструктуры и развитие страховых и финансовых механизмов защиты.

Особенности наводнений в Казахстане. В Казахстане наводнения занимают одно из ведущих мест среди опасных природных явлений, наносящих значительный ущерб. В республике насчитывается около 800 рек протяженностью свыше 50 км, более 570 водохранилищ и около 3 тыс. крупных озер, с которыми связана высокая вероятность затоплений. За последние десятиле-

тия частота наводнений увеличилась, что во многом связано с антропогенными факторами – неэффективным регулированием стока, освоением паводкоопасных территорий и конфликтами интересов водопользователей (Достай, 2015а). По статистике за последние 20 лет зарегистрировано более 300 наводнений, из которых 70 % вызваны весенним половодьем, 30 % дождями и 10 % другими причинами (Достай, 2015б; Атлас, 2010). Территория Казахстана отличается высокой неравномерностью распределения речного стока, коэффициент вариации которого является одним из наибольших в Евразии: максимальные расходы воды отдельных рек могут различаться в сотни и тысячи раз (Plekhanov, 2019; Терехов, 2024).

Наводнения в Казахстане имеют как природные, так и антропогенные причины. Основными природными факторами являются весеннее

снеготаяние, заторы, ливни и нагонные явления. Опасные ситуации чаще всего возникают при быстром таянии мощного снежного покрова, сопровождающегося дождями, когда талая и дождевая вода стекает по мерзлой почве, вызывая катастрофические половодья. Наибольший ущерб приносят половодья в бассейнах рек Жайык, Ертис, Сырдария, Есиль и их притоках. Ярким примером стала паводковая ситуация весной 2024 г. в бассейне р. Жайык (Медеу, 2024; Турсунова, 2024). Раннее снеготаяние в сочетании с высокими осадками привело к масштабному наводнению, охватившему приграничные территории России и западные регионы Казахстана. По данным Министерства чрезвычайных ситуаций (МЧС) Республики Казахстан за последние 20 лет наибольшие убытки от ЧС пришлись именно на 2024 г. за счет аномальных весенних паводков (рисунок 2).

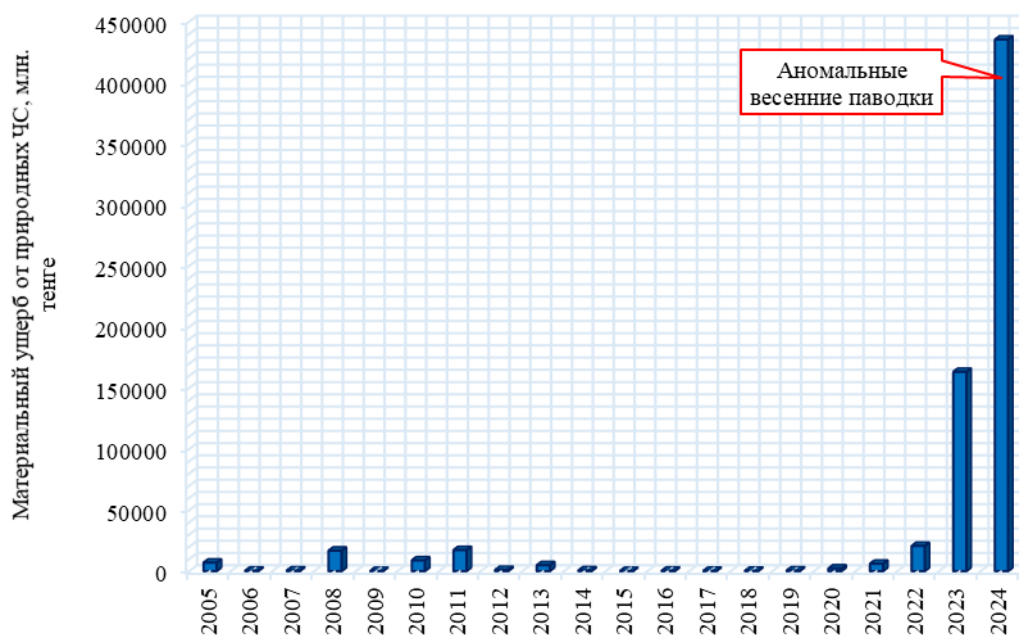


Рисунок 2 – Материальный ущерб от природных ЧС за период 2005–2024 гг.
Примечание – составлено авторами на основе базы данных EM-DAT

антропогенные причины связаны с урбанизацией, распашкой земель, аварийными сбросами из водохранилищ и разрушением гидротехнических сооружений (Авакян, 2013). В условиях изменения климата риск наводнений будет усиливаться, что требует перехода от локальных инженерных решений к комплексным

стратегиям управления рисками и экономической оценки ущерба. В Законе Республики Казахстан «О гражданской защите» приоритетными задачами названы прогнозирование, оценка социально-экономических последствий и научные исследования в области предупреждения ЧС (Национальный, 2015; План, 2015).

Методология

В исследовании использованы источники за последние 30 лет, включая научные публикации, отчеты международных и национальных организаций (МГЭИК, ВМО, ПРООН, РЭЦЦА, Росгидромет, РАН, МЧС, АО Институт географии и водной безопасности), а также статистические и аналитические материалы по климатическим изменениям, гидрологическим рискам и социально-экономическим последствиям наводнений. Дополнительно привлекались данные международных банков, страховых компаний, национальных статистических служб и сообщения СМИ для оценки ущерба и иллюстрации экстремальных событий.

Методы оценки рисков наводнений. Анализ паводков в различных регионах Казахстана показывает необходимость пересмотра принципов противопаводковых мероприятий, поскольку современные гидрологические расчеты и методы математического моделирования позволяют заблаговременно прогнозировать масштабы затоплений (Шаликовский, 2024). Эффективная система защиты должна базироваться на управлении рисками, включающем инженерные меры и социально-экономические подходы, однако её внедрение сопряжено с серьёзными вызовами. Наводнения рассматриваются как многофакторный процесс, где опасность определяется совокупностью гидрологических и антропогенных условий, а ущерб связан с воздействием на хозяйственную деятельность и население. Для корректной оценки необходимо учитывать как гидрологические показатели (максимальные уровни и расходы воды, зоны затопления), так и социально-экономические параметры (потери имущества, уязвимость населения). При этом анализ осложняется неоднородностью многолетних рядов наблюдений, влиянием водохранилищ, изменением русловых процессов и пропускной способности рек, что требует применения расширенных статистических методов, включая усеченные распределения (Свод, 2003), а также комплексного моделирования зон затопления с использованием геоинформационных систем и дистанционного зондирования.

Методика моделирования зон затопления основана на сочетании космических снимков высокого пространственного разрешения и данных об уровнях воды на гидрологических постах. Она включает формирование базы снимков и анализ динамики половодья, обработку изображений в специализированных программах, создание геоинформационной базы и построение карт затопления территории при разных уровнях обеспеченности. Для интеграции пространственных данных применяются ГИС, позволяющие объединять цифровые топографические карты с тематическими слоями: гидропосты, осадки, температура воздуха, ледовые заторы, гидротехнические сооружения, зоны риска затопления и др. В отличие от классических гидрологических расчетов, методы ГИС и дистанционного зондирования Земли позволяют отобразить в пространственном соотношении динамику процессов, выявить ширину зон затопления и проследить характер прохождения половодья вдоль рек. Использование спутниковых данных обеспечивает регулярность наблюдений, высокую оперативность получения информации и возможность интеграции в модели развития половодья. Однако оперативные снимки высокого разрешения требуют значительных финансовых затрат и планирования заказов, поэтому в практике дополнительно используются архивные материалы. В современных исследованиях и практике применяются разнообразные методы оценки рисков наводнений: гидрологическое моделирование (HEC-RAS, MIKE FLOOD), картографирование зон затопления на основе ГИС и дистанционного зондирования, а также анализ исторических данных, позволяющий учесть частоту и масштаб прошлых событий, несмотря на ограничения временных рядов.

Оценка риска наводнений основывается на двух взаимосвязанных элементах – опасности и уязвимости (рисунок 3). Опасность отражает вероятность и интенсивность проявления экстремального события в определенное время и месте, формируемую природными и антропогенными условиями, а уязвимость выражает способность общества и инфраструктуры противостоять риску, включая социальные, экономические и политические факторы.

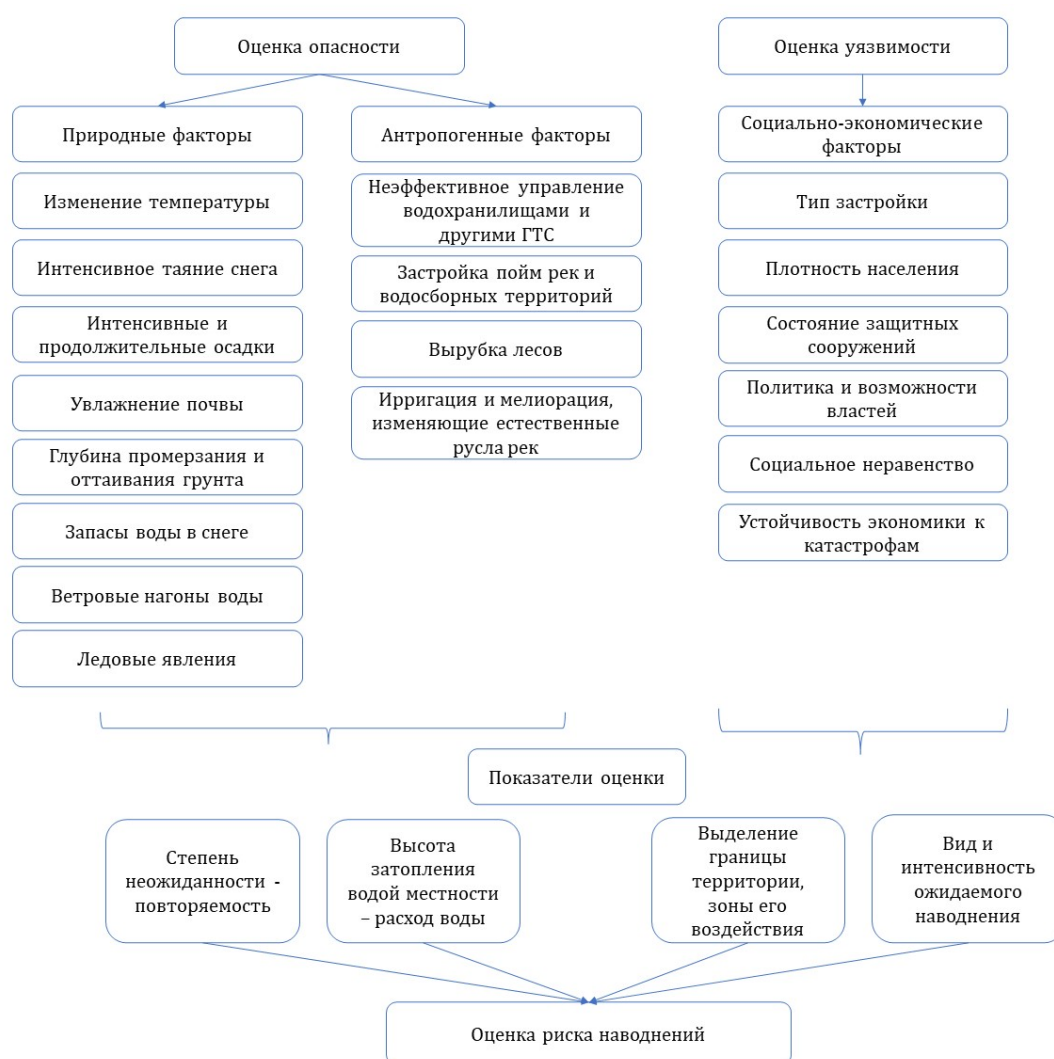


Рисунок 3 – Блок-схема оценки риска наводнений

По определению В.А. Бузина (Бузин, 2008), уязвимость рассматривается как возможность общества адаптироваться к рискам и реагировать на последствия, что придает особое значение социальному измерению проблемы. Риск наводнений представляет собой ожидаемые потери – человеческие жизни, разрушение имущества, нарушение хозяйственной деятельности – и зависит от сочетания опасности и уязвимости (Гладкевич, 2011). Эффективное управление требует не только количественной оценки гидрологических параметров, но и анализа социально-экономических характеристик территорий. Интеграция современных технологий – гидрологических моделей, ГИС и данных дистанционного зондирования – позволяет повысить точность прогнозов и обоснованность

решений, а также выделить наиболее уязвимые зоны. Это способствует формированию приоритетов для практических мер: развитие инфраструктуры, создание систем раннего предупреждения, повышение осведомлённости населения и снижение уязвимости территорий. Таким образом, комплексный подход к оценке риска наводнений обеспечивает основу для выработки стратегий адаптации и минимизации ущерба в условиях изменения климата и нарастающей частоты экстремальных гидрологических явлений.

Оценка уязвимости и экономического ущерба. Моделирование затопления территории в периоды половодий позволяет оценить инженерно-гидрологические особенности, планировать рациональное использование приусадебных земель и обеспечивать их устойчивое развитие.

По данным МГЭИК (IPCC, 2023), наводнения относятся к наиболее частым и разрушительным стихийным бедствиям, ущерб от которых растет во всем мире. Для их оценки применяется широкий спектр методик, включая комплексные многофакторные подходы с использованием непараметрических методов многомерного анализа и ГИС-технологий (Гладкевич, 2011). Важным условием является учет природной опасности и социально-экономической уязвимости, которые выступают равноценными элементами оценки риска. Однако расчет риска остается сложной задачей из-за необходимости в достоверных данных об экономических последствиях, которые зависят от плотности населения, характера землепользования и стоимости объектов на затопляемых территориях.

Прогнозирование последствий наводнений и предварительная оценка ущерба являются актуальными направлениями гидрологических исследований. На практике ущерб часто оценивается по заявительному принципу, что снижает полноту и объективность данных. Целесообразно выделять четыре этапа оценки и возмещения ущерба: выявление, документирование, экономическая оценка и возмещение (Никольский, 2009). Для этого система мониторинга опасных гидрологических процессов должна фиксировать уровень и площадь затопления, а хозяйственное освоение территорий определяться по топографическим картам и планам землепользования. Согласно Методическим указаниям по разработке генеральной схемы комплексного использования и охраны водных ресурсов (Постановление Правительства РК №200 от 08.04.2016), обязательным является составление карт периодически затопляемых территорий, карт водных рисков и карт зонирования по степени паводковой опасности. Эти меры реализуются, в частности, Институтом географии и водной безопасности в рамках проекта «Атлас природных и техногенных опасностей и рисков чрезвычайных ситуаций» (Атлас, 2010).

К официальным данным об экономическом ущербе от наводнений следует относиться с осторожностью, так как в Казахстане чаще учитываются только прямые потери – разрушение зданий, инфраструктуры, сельхозугодий, имущества и затраты на ликвидацию последствий (РДС РК 2.01-02-2014, 2015). Косвенный ущерб, связанный со спадом производства, нарушением хозяйственных связей и долгосрочными соци-

ально-экономическими последствиями, оценивается значительно реже, что делает официальные цифры заниженными. При этом риск ущерба зависит не только от вероятности затопления, но и от плотности населения и уровня инфраструктурного освоения территории: в незаселенных районах он минимален, в густонаселенных – высок даже при малой вероятности затопления.

Методика оценки ущерба от ЧС в РК основывается на принципах учета и регистрации по единым экономическим показателям, категоризации объектов по степени риска и анализа эффективности мероприятий. В рамках оценки риска применяется зависимость

$$R=f(P, V, D), \quad (1)$$

где P – вероятность затопления территории, V – уровень уязвимости, а D – стоимостная характеристика объекта. Такой подход позволяет рассматривать ущерб от паводка как интегральный риск, включающий прямые, косвенные, социальные и экологические последствия, что обеспечивает более полное представление о масштабах потерь.

Страховое возмещение ущерба. Страховое возмещение при наводнениях выплачивается в пределах фактического ущерба, но не выше страховой суммы: при полном уничтожении имущества учитывается его действительная стоимость с учетом износа, при частичном повреждении – затраты на восстановление. В исследовании Бойковой К.Г. (Бойкова, 2004) были определены страховые ставки в зависимости от вероятности затопления (P):

- 0.03 до 0.2 % – зона низкого риска ($1 > P > 0.1$);
- 0.3 до 2 % – зона среднего риска ($10 > P > 1$);
- 0.9 до 6.5 % – зона высокого риска ($25 > P > 10$).

Имущество, находящееся в зонах, где вероятность затопления превышает 25 % (чаще 1 раза в 4 года), страхованию не подлежит ввиду высокой убыточности, а такие территории предлагается относить к водоохранным. Развитию системы страхования мешает недостаток информации о рисках затопления, что препятствует корректному определению ставок; поэтому необходимо прогнозирование социально-экономических последствий паводков. При этом ущерб зависит как от гидрологических характеристик (высоты и длительности стояния опасных уровней, площади затопления), так и от особенностей хозяйственного освоения территории, что

требует комплексного учёта факторов опасности и уязвимости.

Результаты и обсуждение

Проведенный анализ показал, что наводнения в Республике Казахстан остаются одним из наиболее разрушительных природных явлений, ежегодно вызывая значительный социально-экономический ущерб. За последние десятилетия отмечается рост частоты и интенсивности паводков, особенно в бассейнах рек Жайык, Есиль, Тобыл, Сырдария и Иртыш. Существенную роль играют антропогенные факторы: урбанизация пойм, износ инженерной инфраструктуры и неэффективное регулирование стока.

Современные научные исследования дополняют практику следующими результатами. Моделирование паводков в бассейне р. Жабай показало адаптацию последних гидрологических моделей к текущим климатическим изменениям (Nurbatsina, 2025). Знаковым стал региональный анализ оценки паводкового риска в условиях нехватки данных, проведенный в рамках Центрально-азиатского проекта SFRARR: ожидаемые годовые потери на территории Казахстана превышают 6 % от стоимости всех объектов, которые могут пострадать, максимальный рост риска прогнозируется в Мангыстауском регионе (Ceresa, 2025). Также важное значение имеет картографирование риска затоплений для бассейна р. Иртыш с использованием космических данных Научный журнал Астана IT Университета (Рахымбек, 2025). Наконец, недавние экстремальные паводки весны 2024 г. (Медеу, 2024; Турсунова, 2024; Терехов, 2024) – одни из самых разрушительных за десятилетия – стали подтверждением серьезности угрозы: более 100 000 человек эвакуированы, в том числе сотни жителей затопленных городов Казахстана.

Полученные результаты подчеркивают, что комплексная оценка рисков наводнений и их социально-экономических последствий является необходимым условием для выработки адаптационных стратегий в условиях климатических изменений и усиления экстремальных гидрологических явлений.

Анализ опыта последних лет показал необходимость перехода от ликвидации последствий к системному управлению рисками, включающему инженерные, природоохранные, организационные и социальные меры. К числу наиболее эффективных подходов относятся укрепление

дамб, восстановление пойменных экосистем, развитие систем раннего оповещения и страхование имущества от затоплений. Вместе с тем остаются нерешенными проблемы недооценки косвенного ущерба, недостаточной информированности населения и слабой интеграции научных разработок в практику водного управления.

Управление рисками наводнений представляет собой комплексную задачу, требующую интеграции инженерных, экологических, организационных и социальных подходов. Современные стратегии направлены не только на предотвращение наводнений, но и на снижение их последствий для общества и окружающей среды.

Мониторинг и прогнозирование. Эффективное управление рисками наводнений начинается с надежного мониторинга гидрологических условий и точного прогнозирования возможных паводков. Развитие сети гидрологических постов и внедрение систем раннего оповещения позволяют своевременно информировать население и службы реагирования о надвигающейся угрозе. Внедрение адаптивного управления рисками наводнений требует постоянного измерения и анализа эволюции рисков.

Инженерные меры. Традиционные инженерные решения, такие как строительство и укрепление дамб, водохранилищ и каналов, остаются важными инструментами защиты от наводнений. Однако современные подходы требуют интеграции этих мер с экологическими и социальными аспектами.

Природоохранные меры. Восстановление природных экосистем, таких как поймы рек и водосборные территории, способствует снижению риска наводнений. Природоохранные меры включают в себя восстановление естественных русел рек, защиту водосборов и внедрение зелёной инфраструктуры. Исследования показывают, что интеграция социальной уязвимости в управление рисками наводнений способствует предотвращению превращения наводнений в катастрофы.

Организационные меры. Разработка и реализация национальных и региональных стратегий по снижению рисков наводнений являются ключевыми аспектами эффективного управления. Это включает в себя создание нормативно-правовой базы, координацию между различными уровнями власти и обеспечение финансирования мероприятий по снижению рисков.

Образование и участие общественности. Повышение осведомлённости населения о ри-

сках наводнений и обучение действиям в чрезвычайных ситуациях являются важными компонентами управления рисками. Образовательные программы и тренировки способствуют формированию культуры безопасности и повышают готовность общества к возможным наводнениям.

Эффективное управление рисками наводнений требует комплексного подхода, сочетающего технические, экологические, организационные и социальные меры. Интеграция различных стратегий и активное участие всех заинтересованных сторон позволяют значительно снизить последствия наводнений и повысить устойчивость общества к этим природным явлениям.

Заключение

Наводнения представляют собой сложное многокомпонентное природно-социальное явление, последствия которого напрямую связаны с уровнем уязвимости территорий и социально-экономических систем. Эффективное управление рисками возможно только при комплексном подходе, включающем интеграцию оценки природной опасности, уязвимости населения и хозяйственной инфраструктуры, а также эко-

номического ущерба. Проведенный анализ показывает необходимость адаптации международных методик оценки ущерба и управления рисками к условиям Казахстана, где специфика гидрологического режима и уровень социально-экономического развития требуют применения гибридных подходов. Перспективным направлением становится переход от преимущественной ориентации на ликвидацию последствий чрезвычайных ситуаций к системе управления рисками, основанной на мониторинге, прогнозировании, профилактике и страховой защите. Такой подход позволит не только снизить прямые и косвенные потери, но и повысить устойчивость территорий и общества к наводнениям.

Финансирование

Данное исследование было профинансировано Комитетом науки Министерства науки и высшего образования Республики Казахстан (программно-целевое финансирование по научным, научно-техническим программам № BR28713279) «Научно-прикладные основы управления рисками наводнений на равнинной и мелкосопочной территории Казахстана в условиях современных климатических изменений».

Литература

- Авакян А.Б., Истомина М.Н. Природные и антропогенные причины наводнений // Стратегия гражданской защиты: проблемы и исследования. – 2013. – Т. 3. – №. 1. – С. 269-281.
- Атлас природных и техногенных опасностей и рисков чрезвычайных ситуаций Республики Казахстан. – Алматы, 2010. – 264 с.
- База данных EM-DAT. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.emdat.be/> – (дата обращения: 25.06.2025).
- Бирюков Е.С., Терентьев Н.Е. К оценке экономического ущерба от наводнений в России и потенциала адаптации // Теория и практика общественного развития: Экономика. – 2024. – Вып. 11. – С. 162-168. – DOI: 10.24158/tipor.2024.11.19.
- Бойкова К.Г., Барабаш В.А., Силукова С.Д. Страхование от наводнений в системе противопаводковых мероприятий в Приморском крае // География и природные ресурсы. – Новосибирск: Академическое издательство «Гео», 2004. – №1. – С. 129-138.
- Более \$624 тысяч потратили на ликвидацию последствий паводка в Казахстане // Sputnik. – 2024. – 24 сент. – URL: <https://ru.sputnik.kz/20240924/likvidatsiya-posledstviy-pavodka-47306726.html> – (дата обращения: 03.08.2025).
- Бужин В.А. Опасные гидрологические явления. Учебное пособие. – СПб.: изд. РГГМУ, 2008. – 228 с.
- Вдовина И.А. Опасные природные явления. Географические аспекты экологической безопасности и безопасности жизнедеятельности. – Нижний Новгород, 2017. – 146 с.
- CAREC (Программа регионального экономического сотрудничества в Центральной Азии). Профиль страновых рисков: Казахстан. TA-9878 REG: Развитие механизма передачи риска стихийных бедствий в регионе Центральноазиатского регионального экономического сотрудничества. – 2022. – URL: https://www.carecprogram.org/uploads/Country_Risk_Profiles_Kazakhstan_RU.pdf. (дата обращения: 24.04.2025).
- Ceresa, P., Bussi, G., Denaro, S., Coccia, G., Bazzurro, P., Martina, M., Fagà, E., Avelar, C., Ordaz, M., Huerta, B., Garay, O., Raimbekova, Z., Abdrakhmatov, K., Mirzokhonova, S., Ismailov, V., Belikov, V. Large-scale flood risk assessment in data-scarce areas: an application to Central Asia // Nat. Hazards Earth Syst. Sci. – 2025. – Vol. 25. – P. 403–428. – DOI: 10.5194/nhess-25-403-2025.
- Гладкевич Г.И., Терский П.Н., Фролова Н.Л. Комплексная многофакторная оценка опасности наводнений в России // Ресурсы и качество вод суши: оценка, прогноз и управление: сборник трудов первой открытой конференции Научно-образовательного центра. – М., 2011. – С. 21-36.

- Gobierno de España. (2024) Actualización de datos Gobierno de España. – La Moncloa. – URL: <https://www.lamoncloa.gob.es/info-dana/Paginas/2024/261124-datos-seguimiento-actuaciones-gobierno.aspx> (accessed: 10.09.2025)
- а. Достай Ж.Д., Турсунова А.А., Достоева А.Ж. Экстремальные гидрологические явления в Казахстане // Роль географии в изучении и предупреждении природно-антропогенных стихийных явлений на территории СНГ и Грузии: материалы Междунар. науч. конф. – М., 2015. – С. 160–169.
- б. Достай Ж.Д., Турсунова А.А., Загидулина А.Р. Проблема наводнений в Казахстане // Гидрология и инновационные технологии в водном хозяйстве: материалы Междунар. науч.-практ. конф. – Астана, 2015. – С. 121–127.
- European Environment Agency. (2024) European Climate Risk Assessment (EEA Report; No. 01/2024). – Luxembourg: Publications Office of the European Union. – URL: <https://www.eea.europa.eu/en/analysis/publications/european-climate-risk-assessment> (accessed: 10.08.2025).
- IPCC. (2023) Summary for Policymakers // Climate Change 2023: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change / Core Writing Team, H. Lee and J. Romero (eds.). – Geneva, Switzerland: IPCC. – 34 p. – DOI: 10.59327/IPCC/AR6-9789291691647.001
- Медеу А., Махмудова Л., Мырзахметов А., Загидулина А., Канай М. Паводковая ситуация на реке Жайык (Урал) в 2024 году // География и водные ресурсы. – Алматы: АО «Институт географии и водной безопасности», 2024. – №4. – С. 14–23. <https://doi.org/10.55764/2957-9856/2024-4-14-23.35>
- Munich Re. (2025) Natural Disaster Figures 2024 [Electronic resource]. – URL: <https://www.munichre.com/en/company/media-relations/media-information-and-corporate-news/media-information/2025/natural-disaster-figures-2024.html> (accessed: 25.04.2025)
- Национальный ситуационный анализ безопасности территории Республики Казахстан от природных и техногенных бедствий (методические основы). – МВД (КЧС) РК – ПРООН-Казахстан. – Астана, 2015. – 92 с.
- Никольский Е.К., Тарарин А.М. К вопросу об оценке ущерба от весенних половодий // Вестник Воронежского государственного университета. Серия: География. Геоэкология. – 2009. – №. 1. – С. 31–35.
- Nurbatsina A., Salavatova Z., Tursunova A., Didovets I., Huthoff F., Rodrigo-Clavero M.-E., Rodrigo-Illari J. (2025) Flood Modelling of the Zhabay River Basin Under Climate Change Conditions // Hydrology. – Vol. 12, № 2. – P. 35. – DOI: <https://doi.org/10.3390/hydrology12020035>
- О мерах по ликвидации последствий наводнения и восстановлению объектов социального назначения и жилых домов в Южно-Казахстанской области. Постановление Правительства Республики Казахстан от 21 марта 2008 г. № 280. – 2008. – 21 марта. – URL: <https://adilet.zan.kz/rus/docs/P080000280>. (дата обращения: 24.04.2025).
- ООН. Обзор Июкогамской стратегии и Плана действий по обеспечению более безопасного мира: Всемирная конференция по снижению риска бедствий. A/CONF.206/L.1. – Женева: ООН, 2005. – 22 с.
- ООН. Сендайская рамочная программа по снижению риска бедствий на 2015–2030 гг. UNISDR/GE/2015. – Женева: ООН, 2015. – 32 с.
- План подготовленности Республики Казахстан к чрезвычайным ситуациям природного характера. – МВД (КЧС) РК – ПРООН-Казахстан. – Астана, 2015. – 304 с.
- Plekhanov P. A., Medeu N. N. (2019) Extreme Hydrological Phenomena in the Esil River Basin: Genesis, General Patterns of Manifestation // Journal of Ecological Engineering. – Vol. 20, Issue 7. – P. 187–195.
- Plekhanov P. A., Medeu N. N. (2019) Hydrological risks and their prevention in Kazakhstan // Int J Hydro. – № 3(1). – P. 3–4. – DOI: 10.15406/ijh.2019.03.00154
- Порфирьев Б.Н. Экономические последствия катастрофического наводнения на Дальнем Востоке в 2013 г. // Регион: экономика и социология. – 2015. – № 3 (87). – С. 257–272. – DOI: 10.15372/REG20150911
- Рахымбек К., Жомарткан Н., Нурекинов Д., Жантасова З. Картирование риска наводнений в бассейне реки Иртыш с использованием спутниковых данных // Научный журнал Университета информационных технологий Астаны. – 2024. – Т. 19. – С. 140–149. – DOI: 10.37943/19LRYW4856.
- РДС РК 2.01-02-2014. Оценка ущерба от последствий катастрофических событий природного и техногенного характера. – Алматы: АО КазНИИСА, 2015. – 43 с.
- Свод правил по проектированию и строительству. Определение основных расчетных гидрологических характеристик. СП 33-101-2003. – М: Госстрой России, 2004. – 74 с.
- Терехов А.Г., Саиров С.Б., Абаев Н.Н., Сагатдинова Г.Н., Амиргалиев Е.Н. О возможных причинах исключительно больших весенних паводков 2024 года в Казахстане // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. – 2024. – Т. 21. – № 3. – С. 331–338. URL: <https://doi.org/0.21046/2070-7401-2024-21-3-331-338>
- Турсунова А.А., Мырзахметов А., Баспакова Г., Сайлаубек А., Салаватова Ж. Историческая справка о гидрологических характеристиках наводнений на реке Жайык // География и водные ресурсы. – 2024. – № 2. – С. 40–51. <https://doi.org/10.55764/2957-9856/2024-2-40-51.111-250>.
- Ущерб от паводка в Оренбуржье составит порядка 21 млрд руб. // Interfax. – 2024. – 7 апр. – URL: <https://www.interfax-russia.ru/volga/news/ushcherb-ot-pavodka-v-orenburzhe-sostavit-poryadka-21-mlrd-rub>. (дата обращения: 14.05.2025).
- Шаликовский А.В., Болгов М.В., Лепихин А.П. К проблеме планирования и реализации противопаводковых мероприятий // Водное хозяйство России: проблемы, технологии, управление. – 2024. – № 4. – С. 25–42. doi:10.35567/19994508-2024-4-25-42.
- State of the Climate in Asia 2021 / WMO-No. 1303. (2022) – Geneva: WMO. – 40 p. – URL: <https://library.wmo.int/idurl/4/58229> (accessed: 30.08.2025).

Swiss Re Institute. (2023) Natural catastrophes in 2022: a perfect storm. – Switzerland. – 32 p. – URL: https://www.swissre.com/dam/jcr%3A1d793484-9b96-4e54-91c3-09f8fc841bde/sigma-1-2023.pdf?utm_source=chatgpt.com (accessed: 25.08.2025).

Swiss Re Institute. (2021) The economics of climate change: no action not an option. – Switzerland. – 30 p. – URL: <https://www.swissre.com/dam/jcr:e73ee7c3-7f83-4c17-a2b8-8ef23a8d3312/swiss-re-institute-expertise-publication-economics-of-climate-change.pdf> (accessed: 02.08.2025).

References

Atlas prirodnikh i tekhnogennykh opasnostei i riskov chrezvychaynykh situatsii Respubliki Kazakhstan [Atlas of natural and man-made hazards and risks of emergencies in the Republic of Kazakhstan]. – Almaty, 2010. – 264 p. (In Russian)

Avakyan A. B., Istomina M. N. (2013) Prirodnye i antropogennye prichiny navodnenii [Natural and anthropogenic causes of floods] // Strategiya grazhdanskoi zashchity: problemy i issledovaniya. – Vol. 3, № 1. – P. 269–281. (In Russian)

Birukov E. S., Terentyev N. E. (2024) K otsenke ekonomicheskogo ushcherba ot navodnenii v Rossii i potentsiala adaptatsii [Assessment of economic damage from floods in Russia and adaptation potential] // Teoriya i praktika obshchestvennogo razvitiya: Ekonomika. – No. 11. – P. 162–168. – DOI: 10.24158/tipor.2024.11.19

Boikova K. G., Barabash V. A., Silukova S. D. (2004) Strakhovanie ot navodnenii v sisteme protivopavodkovykh meropriyatii v Primorskom krae [Flood insurance in the system of flood protection measures in Primorsky Krai] // Geografiya i prirodnye resursy. – Novosibirsk, № 1. – P. 129–138. (In Russian)

Bolee \$624 tysiach potratili na likvidatsiiu posledstviy pavodka v Kazakhstane [More than \$624 thousand spent on eliminating the consequences of flooding in Kazakhstan]. (2024, September 24) // Sputnik. – URL: <https://ru.sputnik.kz/20240924/likvidatsiya-posledstviy-pavodka-47306726.html> (accessed: 10.09.2025)

Buzin V. A. (2008) Opasnye gidrologicheskie yavleniya [Hazardous hydrological phenomena]. – SPb.: RGGMIU. – 228 p. (In Russian)

CAREC (Programma regional'nogo ekonomicheskogo sotrudnichestva v Tsentral'noi Azii). (2022) Profil' stranovykh riskov: Kazakhstan [Country risk profile: Kazakhstan]. TA-9878 REG: Razvitie mekhanizma peredachi riska stikhiynykh bedstviy v regione Tsentral'noaziatskogo regional'nogo ekonomicheskogo sotrudnichestva. – URL: https://www.carecprogram.org/uploads/Country_Risk_Profiles_Kazakhstan_RU.pdf (accessed: 24.04.2025)

Ceresa, P., Bussi, G., Denaro, S., Coccia, G., Bazzurro, P., Martina, M., Fagà, E., Avelar, C., Ordaz, M., Huerta, B., Garay, O., Raimbekova, Z., Abdrakhmatov, K., Mirzokhonova, S., Ismailov, V., Belikov, V. Large-scale flood risk assessment in data-scarce areas: an application to Central Asia // Nat. Hazards Earth Syst. Sci. – 2025. – Vol. 25. – P. 403–428. – DOI: 10.5194/nhess-25-403-2025.

Dostai Zh. D., Tursunova A. A., Dostaeva A. Zh. (2015) Ekstremal'nye gidrologicheskie yavleniya v Kazakhstane [Extreme hydrological phenomena in Kazakhstan] // Rol' geografii v izuchenii i preduprezhdenii prirodno-antropogennykh stikhiynykh yavlenii na territorii SNG i Gruzii. – Moscow. – P. 160–169. (In Russian)

Dostai Zh. D., Tursunova A. A., Zagidulina A. R. (2015) Problema navodnenii v Kazakhstane [The problem of floods in Kazakhstan] // Mezhdunarodnaya nauchno-prakticheskaya konferentsiya «Gidrologiya i innovatsionnye tekhnologii v vodnom khozyaystve». – Astana. – P. 121–127. (In Russian)

EM-DAT. Baza dannykh [Database] [Electronic resource]. – URL: <https://www.emdat.be/> (accessed: 25.06.2025).

European Environment Agency. (2024) European Climate Risk Assessment (EEA Report; No. 01/2024). – Luxembourg: Publications Office of the European Union. – URL: <https://www.eea.europa.eu/en/analysis/publications/european-climate-risk-assessment> (accessed: 10.08.2025).

Gladkevich G. I., Terskii P. N., Frolova N. L. (2011) Kompleksnaya mnogofaktornaya otsenka opasnosti navodnenii v Rossii [Comprehensive multifactorial assessment of flood hazard in Russia] // Resursy i kachestvo vod sushi: otsenka, prognoz i upravlenie: sbornik trudov pervoi otkrytoi konferentsii Nauchnogo obrazovatel'nogo tsentra. – Moscow. – P. 21–36. (In Russian)

Gobierno de España. (2024) Actualización de datos Gobierno de España. – La Moncloa. – URL: <https://www.lamoncloa.gob.es/info-dana/Paginas/2024/261124-datos-seguimiento-actuaciones-gobierno.aspx> (accessed: 10.09.2025)

IPCC. (2023) Summary for Policymakers // Climate Change 2023: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change / Core Writing Team, H. Lee and J. Romero (eds.). – Geneva, Switzerland: IPCC. – 34 p. – DOI: 10.59327/IPCC/AR6-9789291691647.001

Medeu A., Makhmudova L., Myrzakhmetov A., Zagidullina A., Kanai M. (2024) Pavodkovaya situatsiya na reke Zhayyk (Ural) v 2024 godu [Flood situation on the Zhayyk (Ural) River in 2024] // Geografiya i vodnye resursy. – Almaty: AO «Institut geografii i vodnoi bezopasnosti». № 4. – P. 14–23. – DOI: <https://doi.org/10.55764/2957-9856/2024-4-14-23.35> (In Russian)

Munich Re. (2025) Natural Disaster Figures 2024 [Electronic resource]. – URL: <https://www.munichre.com/en/company/media-relations/media-information-and-corporate-news/media-information/2025/natural-disaster-figures-2024.html> (accessed: 25.04.2025)

Natsional'nyi situatsionnyi analiz bezopasnosti territorii Respubliki Kazakhstan ot prirodnikh i tekhnogennykh bedstviy (metodicheskie osnovy) [National situational analysis of territorial safety of the Republic of Kazakhstan from natural and man-made disasters]. – Astana, 2015. – 92 p. (In Russian)

Nikolskii E. K., Tararin A. M. (2009) K voprosu ob otsenke ushcherba ot vesennykh polovodii [On the assessment of damage from spring floods] // Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Geografiya. Geoekologiya. – № 1. – P. 31–35. (In Russian)

Nurbatsina A., Salavatova Z., Tursunova A., Didovets I., Huthoff F., Rodrigo-Clavero M.-E., Rodrigo-Illarri J. (2025) Flood Modelling of the Zhabay River Basin Under Climate Change Conditions // *Hydrology*. – Vol. 12, № 2. – P. 35. – DOI: <https://doi.org/10.3390/hydrology12020035>

O merakh po likvidatsii posledstviy navodneniya i vosstanovleniyu ob'ektov sotsial'nogo naznacheniya i zhilykh domov v Yuzhno-Kazakhstanskoi oblasti [On measures for eliminating the consequences of the flood and restoring social and residential facilities in South Kazakhstan region]. (2008) Postanovlenie Pravitel'stva Respubliki Kazakhstan ot 21 marta 2008 g. No. 280. – 21 Mar. – URL: <https://adilet.zan.kz/rus/docs/P080000280> (accessed: 24.04.2025)

OON. (2005) Obzor Iokogamskoi strategii i Plana deistvii po obespecheniyu bolee bezopasnogo mira: Vsemirnaya konferentsiya po snizheniyu riska bedstviy [Review of the Yokohama Strategy and Plan of Action for a Safer World: World Conference on Disaster Reduction] // UN. – Geneva. – 22 p. (In Russian).

OON. (2015) Sendajskaya ramochnaya programma po snizheniyu riska bedstviy na 2015–2030 gg. [UNISDR. Sendai Framework for Disaster Risk Reduction 2015–2030]. UNISDR/GE/2015. – Zheneva: OON. – 32 p. (In Russian).

Plan podgotovlennosti Respubliki Kazakhstan k chrezvychaynym situatsiyam prirodnogo kharaktera [Preparedness plan of the Republic of Kazakhstan for natural emergencies]. – Astana, 2015. – 304 p. (In Russian)

Plekhanov P. A., Medeu N. N. (2019) Extreme Hydrological Phenomena in the Esil River Basin: Genesis, General Patterns of Manifestation // *Journal of Ecological Engineering*. – Vol. 20, Issue 7. – P. 187–195.

Plekhanov P. A., Medeu N. N. (2019) Hydrological risks and their prevention in Kazakhstan // *Int J Hydro*. – № 3(1). – P. 3–4. – DOI: 10.15406/ijh.2019.03.00154

Porfiriev B. N. (2015) Ekonomicheskie posledstviya katastroficheskogo navodneniya na Dal'nem Vostoke v 2013 g. [Economic consequences of the catastrophic flood in the Russian Far East in 2013] // *Region: ekonomika i sotsiologiya*. – No. 3 (87). – P. 257–272. – DOI: 10.15372/REG20150911

Rakhymbek K., Zhomartkan N., Nurekenov D., Zhantasova Z. (2024) Kartirovanie riska navodneniy v basseine reki Irtysh s ispol'zovaniem sputnikovykh dannykh [Flood risk mapping in the Irtysh River basin using satellite data] // *Nauchnyi zhurnal Universiteta informatsionnykh tekhnologii Astany*. – Vol. 19. – P. 140–149. – DOI: <https://doi.org/10.37943/19LRYW4856> (In Russian)

RDS RK 2.01-02-2014. Otsenka ushcherba ot posledstviy katastroficheskikh sobytii prirodnogo i tekhnogennogo kharaktera [Assessment of damage from catastrophic events of natural and man-made nature]. – 2014. (In Russian)

Shalikovskii A. V., Bolgov M. V., Lepikhin A. P. (2024) K probleme planirovaniya i realizatsii protivopavodkovykh meropriyatiy [On the problem of planning and implementing flood control measures] // *Vodnoe khozyaystvo Rossii: problemy, tekhnologii, upravlenie*. – № 4. – P. 25–42. – DOI: 10.35567/19994508-2024-4-25-42. (In Russian)

Svod pravil po proyektirovaniyu i stroitel'stvu. Opredelenie osnovnykh raschetnykh gidrologicheskikh kharakteristik. SP 33-101-2003 [Code of practice for design and construction. Definition of main calculated hydrological characteristics]. – Moscow: Gosstroy Rossii, 2004. – 74 p. (In Russian)

State of the Climate in Asia 2021 / WMO-No. 1303. (2022) – Geneva: WMO. – 40 p. – URL: <https://library.wmo.int/idurl/4/58229> (accessed: 30.08.2025).

Swiss Re Institute. (2023) Natural catastrophes in 2022: a perfect storm. – Switzerland. – 32 p. – URL: https://www.swissre.com/dam/jcr%3A1d793484-9b96-4e54-91c3-09f8fc841bde/sigma-1-2023.pdf?utm_source=chatgpt.com (accessed: 25.08.2025).

Swiss Re Institute. (2021) The economics of climate change: no action not an option. – Switzerland. – 30 p. – URL: <https://www.swissre.com/dam/jcr:e73ee7c3-7f83-4c17-a2b8-8ef23a8d3312/swiss-re-institute-expertise-publication-economics-of-climate-change.pdf> (accessed: 02.08.2025).

Terekhov A. G., Sairov S. B., Abaev N. N., Sagatdinova G. N., Amirgaliev E. N. (2024) O vozmozhnykh prichinakh iskluchitel'no bol'shikh vesenikh pavodkov 2024 goda v Kazakhstane [On possible causes of exceptionally large spring floods in Kazakhstan in 2024] // *Sovremennye problemy distantsionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa*. – Vol. 21, № 3. – P. 331–338. – DOI: <https://doi.org/0.21046/2070-7401-2024-21-3-331-338> (In Russian)

Tursunova A. A., Myrzakhmetov A., Baspakova G., Sailaubek A., Salavatova Zh. (2024) Istoricheskaya spravka o gidrologicheskikh kharakteristikakh navodnenii na reke Zhayyk [Historical reference on hydrological characteristics of floods on the Zhayyk River] // *Geografiya i vodnye resursy*. – № 2. – P. 40–51. – DOI: <https://doi.org/10.55764/2957-9856/2024-2-40-51.111-250> (In Russian)

Ushcherb ot pavodka v Orenburzhe sostavit poryadka 21 mlrd rub. [Flood damage in Orenburg region will amount to about 21 billion rubles] // *Interfax*. – 2024. – 7 Apr. – URL: <https://www.interfax-russia.ru/volga/news/ushcherb-ot-pavodka-v-orenburzhe-sostavit-poryadka-21-mlrd-rub> (accessed: 14.05.2025)

Vdovina I. A. (2017) Opasnye prirodnye yavleniya. Geograficheskie aspekty ekologicheskoy bezopasnosti i bezopasnosti zhiznedeyatel'nosti [Hazardous natural phenomena. Geographical aspects of environmental safety and life safety]. – Nizhnij Novgorod. – 146 p. (In Russian).

Сведения об авторах:

Биримбаев Жомарт Муратбекович (корреспондентный автор) – финансовый директор (член Правления), АО «Институт географии и водной безопасности»; докторант 2 курса кафедры экономики КазНУ им. аль-Фараби (Алматы, Казахстан, e-mail: bzm1987@mail.ru);

Медеу Али-Хан Ахметкалы – доктор географических наук, руководитель лаборатории геопространственной экономики, АО «Институт географии и водной безопасности» (Алматы, Казахстан, e-mail: shania258@gmail.com).

Information about authors:

Birimbayev Zhomart Muratbekovich (corresponding author) – Financial Director (Member of the Board) of the «Institute of Geography and Water Security» JSC; 2nd year doctoral student at the Department of Economics, Al-Farabi Kazakh National University (Almaty, Kazakhstan, e-mail: bzm1987@mail.ru);

Medeu Ali-Khan Akhmetkaluly – Doctor of Geographical Sciences, Head of the Geospatial Economy Laboratory, «Institute of Geography and Water Security» JSC (Almaty, Kazakhstan, e-mail: shania258@gmail.com).

Авторлар туралы мәлімет:

Бірімбаев Жомарт Муратбекович (корреспонденттік автор) – «География және су қауіпсіздігі институты» АҚ қаржы директоры (басқарма мүшесі); әл-Фараби атындағы ҚазҰУ экономика кафедрасының 2 курс докторанты (Алматы, Қазақстан, e-mail: bzm1987@mail.ru);

Медеу Али-Хан Ахметкалылы – география ғылымдарының докторы, «География және су қауіпсіздігі институты» АҚ геокеңістіктік экономика зертханасының жетекшісі (Алматы, Қазақстан, e-mail: shania258@gmail.com).

Поступила: 15 октября 2025 года

Принята: 10 декабря 2025 года

Л.К. Махмудова¹ , С.К. Алимкулов¹ , Э.К. Талипова^{1, 2*} ,
Л.М. Биримбаева^{1, 2*} , М.Е. Дауталиева^{1, 2*} 

¹«География және су қауіпсіздігі институты» АҚ, Алматы, Қазақстан

²Әл-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университеті, Алматы, Қазақстан

*e-mail: masimbaeva@mail.ru

ГИДРОЛОГИЯЛЫҚ ҚҰРҒАҚШЫЛЫҚ МӘСЕЛЕСІ БОЙЫНША ҒЫЛЫМИ ЗЕРТТЕУЛЕРДІҢ ЭВОЛЮЦИЯСЫ

Мақалада гидрологиялық құрғақшылық тақырыбы бойынша ғылыми жарияланымдардың даму эволюциясы талданды. Хронологиялық динамика мен жарияланымдардың құрылымына жасалған талдау бұл саладағы ғылыми қызығушылықтың артып келе жатқанын және халықаралық деңгейде ғылыми зерттеу бағыттарының едәуір кеңейгенін көрсетеді. Ғылыми мақаланы әзірлеудің әдістемелік негізі ретінде гидрологиялық құрғақшылық мәселесіне арналған әртүрлі ғылыми жарияланымдар пайдаланылып, библиометриялық талдау үшін Web of Science ғылыми-метриялық деректер қоры таңдалды.

Соңғы жиырма жылда зерттеулердің негізгі бағыттары құрғақшылық индекстерін жетілдіру, климаттық өзгерістердің құрғақшылыққа тигізетін әсерін бағалау, модельдеу және болжау әдістерін дамыту, спутниктік технологияларды қолдану, сондай-ақ антропогендік әсерлерді талдау сынды тақырыптар төңірегінде шоғырланған. Қазақстан жағдайында гидрологиялық құрғақшылық мәселесі су ресурстарының қолжетімділігі мен тұрақты пайдаланылуына тікелей әсер ететіндіктен, айрықша өзектілікке ие. Әлемдік ғылымдағы жарияланымдық белсенділіктің өсуі және жаңа әдістердің (қашықтықтан зондтау, климаттық модельдер, жасанды интеллект) интеграциясы су ресурстарын ұлттық деңгейде мониторингтеу мен болжау жүйелерін жетілдіруге жол ашады. Қазақстандық зерттеулерді халықаралық ғылыми кеңістікке енгізу елдің ғылыми дамуын арттырып қана қоймай, сонымен қатар климаттың өзгеруі мен табиғи тәуекелдердің артуы жағдайында бейімделу стратегияларын қалыптастыруға негіз болады.

Түйін сөздер: гидрологиялық құрғақшылық, су ресурстары, Web of Science, библиометриялық талдау, дәйеккөз.

L.K. Makhmudova¹, S.K. Alimkulov¹, E.K. Talipova^{1, 2},

L.M. Birimbayeva^{1, 2}, M.E. Dautaliyeva^{1, 2*}

¹JSC Institute of Geography and Water Security, Almaty, Kazakhstan

²Al-Farabi Kazakh National University, Almaty, Kazakhstan

*e-mail: masimbaeva@mail.ru

Evolution of scientific research on hydrological drought

The article analyzes the evolution of scientific publications on the topic of hydrological drought. The analysis of the chronological dynamics and structure of publications revealed a growing scientific interest in this field and a significant expansion of research directions at the international level. As the methodological basis for preparing the article, various scientific publications on hydrological drought were used, and the Web of Science scientometric database was selected for bibliometric analysis.

Over the past two decades, the main research directions have focused on improving drought indices, assessing the impacts of climate change, developing modeling and forecasting methods, applying satellite technologies, and analyzing anthropogenic influences. In the context of Kazakhstan, the issue of hydrological drought is of particular relevance, as it directly affects the availability and sustainable use of water resources. The increase in publication activity in global science and the integration of new methods (remote sensing, climate modeling, artificial intelligence) provide opportunities to improve water resource monitoring and forecasting systems at the national level. Integrating Kazakhstani research into the international scientific space not only enhances the country's scientific development but also forms a foundation for adaptation strategies under changing climate conditions and increasing natural risks.

Keywords: hydrological drought, water resources, Web of Science, bibliometric analysis, citation.

А.К. Махмудова¹, С.К. Алимкулов¹, Э.К. Талипова^{1,2},
А.М. Биримбаева^{1,2}, М.Е. Дауталиева^{1,2*}

¹АО «Институт географии и водной безопасности», Алматы, Казахстан

²Казахский национальный университет имени аль-Фараби, Алматы, Казахстан

*e-mail: masimbaeva@mail.ru

Эволюция научных исследований по проблеме гидрологической засухи

В статье проанализирована эволюция развития научных публикаций по теме гидрологической засухи. Анализ хронологической динамики и структуры публикаций показал рост научного интереса в данной области и значительное расширение направлений исследований на международном уровне. В качестве методологической основы для подготовки статьи были использованы различные научные публикации, посвящённые проблеме гидрологической засухи, а для библиометрического анализа была выбрана наукометрическая база данных Web of Science.

За последние два десятилетия основные направления исследований сосредоточились на совершенствовании индексов засушливости, оценке влияния климатических изменений на засуху, разработке методов моделирования и прогнозирования, применении спутниковых технологий, а также анализе антропогенных воздействий. В условиях Казахстана проблема гидрологической засухи имеет особую актуальность, так как напрямую влияет на доступность и устойчивое использование водных ресурсов. Рост публикационной активности в мировой науке и интеграция новых методов (дистанционное зондирование, климатическое моделирование, искусственный интеллект) открывают возможности для совершенствования систем мониторинга и прогнозирования водных ресурсов на национальном уровне. Включение казахстанских исследований в международное научное пространство способствует не только укреплению научного развития страны, но и формированию стратегий адаптации в условиях изменения климата и роста природных рисков.

Ключевые слова: гидрологическая засуха, водные ресурсы, Web of Science, библиометрический анализ, цитирование.

Кіріспе

Климат өзгерістеріне байланысты соңғы жылдары экстремалды гидрометеорологиялық құбылыстардың, атап айтқанда құрғақшылық, су тасқыны, сел сияқты төтенше оқиғалардың жиілігі арта түскен (Trenberth, 2013; Mukherjee, 2018; Ault, 2020). Құрғақшылық жиілігіне, үлкен аумақтарға тигізетін әсеріне және ұзақ уақытқа созылуына байланысты әлемдегі ең көп таралған және ауыр табиғи апаттардың бірі болып табылады. Құрғақшылық атмосферадан басталып, кейін топырақ пен гидрологиялық құрғақшылыққа ауысатындықтан, гидрологиялық құрғақшылық осы тізбектің соңғы буыны және су ресурстарының сарқылу көрсеткіші болып табылады (Wong, 2013).

Гидрологиялық құрғақшылық – бұл табиғи аномалиялардың ішіндегі ең маңызды түрлерінің бірі, ол су ресурстарына, экологиялық жүйелерге және өңірлердің әлеуметтік-экономикалық дамуына кешенді әсер етеді. Климаттың жаһандық өзгеруі және су жүйелеріне антропогендік жүктеменің артуы жағдайында бұл табиғи құбылысты зерделеу ғылыми және практикалық тұрғыдан ерекше өзектілікке ие болуда.

Гидрологиялық құрғақшылық гидрологиялық жүйеде судың жетіспеушілігінен туындайды, яғни өзендерде, көлдерде, су қоймаларында және жер асты суларында су қоры көпжылдық орташа деңгейден төмен болған кезде пайда болады. Қазақстан Республикасы үшін гидрологиялық құрғақшылықтың таралу ерекшеліктерін зерттеу – өзекті мәселе. Себебі күтілетін климаттың жылынуы орташа әлемдік көрсеткіштерден анағұрлым жоғары (IPCC, 2022) және де еліміздің құрғақшылыққа бейім аймақтары үшін тіпті қолайсыз, яғни шөлейттенудің күшеюіне алып келуі мүмкін. Ауа температурасының жылдам көтерілуі булану процестерінің жоғарылауы мен су теңдестігінің өзгеруіне себеп бола отырып, гидрологиялық құрғақшылық қаупін арттырады. Климаттың өзгеруіне бейімделу барысында гидрологиялық құрғақшылыққа мониторинг жасау, яғни оның басталу және аяқталу уақытын, оның түрлерін мен қарқындылығын анықтау және болжау су ресурстарын жоспарлау мен басқаруда үлкен маңызға ие. Құрғақшылыққа бейімделу шаралары бойынша ұсыныстар әзірлеу ауыл шаруашылығындағы теріс салдардың алдын алу және азық-түлік қауіпсіздігін қамтамасыз ету үшін қажет.

Гидрологиялық құрғақшылықты ғылыми тұрғыда зерттеу қазіргі уақытта қарқынды дамып келе жатқан ғылыми бағыттардың бірі. Бұл құбылыстың табиғатын, түрлерін және салдарын тереңірек түсіну және оны бағалау мен болжауда қолданылатын тәсілдерді саралауда ең алдымен әлемде жүргізіліп жатқан ғылыми ізденістерді талдап, жүйелік шолу жасау аса маңызды. Жүйелі шолу әдістемесін бірнеше қадамнан тұрады: зерттеу сұрағын тұжырымдау; зерттеу тақырыбына қатысты әртүрлі халықаралық маңызы бар ғылыми әдебиеттердің ғаламдық агрегаторлары (Scopus, Web of Science, Google Scholar, Reasearch Gate) базаларынан ең маңызды ғылыми зерттеулерді таңдау; мақалалардың өзектілігін бағалау; таңдалған мақалаларды жіктеу және сандық және сапалық талдауды орындау. Ғылымиметриялық дерекқорлар жоғары рейтингті халықаралық жарияланымдарды кеңінен қамтып, библиометриялық талдау жүргізуге мүмкіндік береді, яғни қазіргі ғылыми зерттеулерді жүйелеу мен бағалауға арналған тиімді құрал болып табылады.

Зерттеу материалдары мен әдістері

Ғылыми мақаланы жазуға әдістемелік негіз ретінде гидрологиялық құрғақшылық саласындағы әртүрлі ғылыми жарияланымдарда жарық көрген зерттеулері пайдаланылып, библиометриялық талдау үшін Web of Science ғылымиметриялық мәліметтер дерекқоры таңдалды. Web of Science – 12 000-нан астам ғылыми жарияланымды индекстеуші, ең көне мәліметтер дерекқоры. Бұл сервиске әртүрлі құрастырушысы мен архивтері бар бірнеше жеке дерекқорларды қамтиды. Платформаның негізгі құрастырушысы – Clarivate компаниясы, <https://www.webofscience.com/> ресми сайтында тіркелу арқылы қол жеткізуге болады. Web of Science базасының ерекшеліктері: өзекті ғылыми үрдістерді жеңіл іздеу мүмкіндігі, дәйексөз келтіру көрсеткіштерін қадағалау, 1900 жылдан бастап дерекқорға кіретін ғылыми басылымдарды талдау, басылымдардың өзара дәйексөз санын есепке алу, мақалалармен қатар кітаптар, монографиялар, конференция материалдары бойынша да іздеу жүргізу.

Библиометриялық талдау – бұл ғылыми жарияланымдар мен сілтемелерге статистикалық өңдеу жүргізуге негізделген ғылыми ақпаратты

сандық тұрғыда зерттейтін әдіс. Ол басылым белсенділігінің динамикасын, ғылыми орталықтардың географиясын, сондай-ақ, зерттелетін мәселелер бойынша ғылыми күн тәртібін қалыптастыратын негізгі авторлар мен журналдарды анықтауға мүмкіндік береді. Әдістің негізгі идеясы – жарияланым белсенділігі мен дәйексөзділік белгілі бір тақырыптың ғылыми маңыздылығы мен сұранысының көрінісі болып табылады (біздің жағдайда гидрологиялық құрғақшылықты зерттеу мәселелері).

Библиометриялық талдау аясында келесі көрсеткіштер қолданылады:

- белгілі бір кезең ішінде берілген тақырып бойынша жарияланған еңбектердің саны;
- жарияланымдық белсенділіктің өсу немесе төмендеу динамикасы;
- жарияланымдардың елдер, ұйымдар, авторлар және ғылыми журналдар бойынша бөлінуі;
- дәйексөз келтіру деңгейі мен Хирш индексі.

Библиометриялық талдау – ғылыми зерттеулердің қазіргі жағдайын және даму перспективаларын объективті түрде бағалауға, жетекші ғылыми мектептерді анықтауға, сондай-ақ болашақтағы ғылыми ізденістердің стратегиялық бағыттарын белгілеуге мүмкіндік беретін әмбебап құрал.

Ғылыми зерттеулердің нәтижелері

Зерттеудің алғашқы кезеңінде Web of Science мәліметтер дерекқорында индекстелген жарияланымдар бойынша «hydrological drought» («гидрологиялық құрғақшылық») сөзімен библиометриялық талдау жүргізілді. 2001-2025 жылдар аралығындағы алынған мәліметтер жиынтығына 909 ғылыми жарияланым енді. Бұл көрсеткіш зерттеу тақырыбына деген қызығушылықтың эволюциясын, сондай-ақ ғылыми белсенділіктің елдер, ұйымдар және авторлар бойынша қалай бөлінетінін бақылауға мүмкіндік береді. 1-кестеде библиометриялық талдаудың жалпы нәтижелері көрсетілген.

Ғылыми жарияланымдар құрылымын түрлері бойынша талдау негізінде жарияланымдық белсенділіктің сипатына баға берілді. Бұл тәсіл ғылыми нәтижелерді ұсырудың басым формаларын анықтауға мүмкіндік береді (2-кесте), сондай-ақ олардың ерекшеліктері мен халықаралық ғылыми кеңістікте таралу деңгейін айқындауға жол ашады.

1-кесте – Библиометриялық талдаудың жалпы мәліметтері

Мәліметтер дерекқоры	Web of Science
Іздеу кілт сөзі	Hydrological drought
Кезең	2001-2025 гг.
Ғылыми жарияланымдардың жалпы саны	909
Дәйексөз келтірген мақалалар	15803
Жалпы дәйексөз саны	25825
Өзіндік дәйексөздерді қоспағандағы дәйексөз саны	22375
Бір мақалаға шаққандағы орташа дәйексөз саны	28.4
H-Index	79

2-кесте – Құжат түрлері бойынша ғылыми жарияланымдар құрылымы

№	Құжат түрлері	Жарияланымдар саны	%
1	Мақала (Article)	804	88.4
2	Кітап тараулары (Book Chapters)	4	0.44
3	Ерте қолжетімді жарияланымдар (Early Access)	11	1.21
4	Редакциялық материалдар (Editorial Material)	8	0.88
5	Конференция материалдары (Proceeding Paper)	63	6.93
6	Шолу мақаласы (Review Article)	19	2.09

«Гидрологиялық құрғақшылық» тақырыбы бойынша алынған мәліметтер жиынтығында ғылыми мақалалар басым (804 жарияланым, 88,4 %), бұл ғылыми нәтижелерді таратудағы жетекші форма ретінде журналдық жарияланымдарға басымдық берілетінін көрсетеді. Екінші орында – халықаралық ғылыми-практикалық конференциялар материалдары (63 жұмыс, 6,93 %). Бұл көрсеткіш те елеулі үлеске ие, әрі зерттеушілердің ғылыми форумдарға белсенді қатысатынын және халықаралық конференциялар арқылы нәтижелермен алмасу үдерісінің маңызды екенін аңғартады. Шолу мақалалары 2 %-дан сәл астамын құрайды (19 жарияланым), бұл жинақталған білімді қорытуға және зерттеу бағыттарын жүйелеуге деген ұмтылысты білдіреді. Қалған ғылыми жарияланым түрлерінің үлесі төмен (ерте қолжетімді жарияланымдар – 11 мақала, редакциялық материалдар – 8 мақала, кітап тараулары – 4 жарияланым). Гидрологиялық құрғақшылықты зерттеудегі мәселелерге байланысты жарияланымдық қызметтің құрылымы халықаралық конференция мате-

риалдарының қосымша маңыздылығы және арнайы ғылыми жарияланым түрлерінің шектеулі үлесі байқалатын журналдық ғылыми мақалалардың басымдығын көрсететін классикалық үлгіні айқын бейнелейді.

3-кестеде «гидрологиялық құрғақшылық» сөзі бойынша 2001-2025 жылдар аралығындағы жарияланымдық белсенділігі мен дәйексөздің таралуы көрсетілген. Аталған кезең ішінде жалпы саны 909 ғылыми жарияланым тіркеліп, олар 25825 рет дәйексөз келтірілген.

Хронологиялық жиынтықтарға қатысты 3 кестені талдау:

- 2001-2005 жж., бастапқы кезең (20 ғылыми жарияланым, 34 дәйексөз), ол гидрологиялық құрғақшылық саласындағы ғылыми зерттеулердің одан әрі өсуі үшін ғылыми негіз қалыптастыратын төмен көрсеткіштермен сипатталады;

- 2006-2015 жж., біртіндеп өсу, қалыптасу кезеңі (127 ғылыми жарияланым, 1679 дәйексөз), гидрологиялық құрғақшылықты зерттеу саласындағы жарияланым белсенділігінің кеңеюі және сілтемелер санының артуы байқалады;

- 2016-2025 жж., белсенді кезең (762 басылым, 24112 дәйексөз), жарияланымдар санының күрт өсуі және дәйексөздің жоғары деңгейі байқалады, бұл зерттеу тақырыбының халықаралық ғылыми күн тәртібіне енгізілгенін және гидрологиялық құрғақшылық бойынша зерттеу жұмыстарының айтарлықтай артқанын көрсетеді.

ралық ғылыми күн тәртібіне енгізілгенін және гидрологиялық құрғақшылық бойынша зерттеу жұмыстарының айтарлықтай артқанын көрсетеді.

3-кесте – 2001–2025 жж. Web of Science базасы бойынша жарияланымдар мен дәйексөздер серпіні

Жыл	Жарияланымдар саны	Дәйексөздер саны	%	Графиктік интерпретация																						
2025	99	3931	10.9	Дәйексөздер саны <table><caption>Дәйексөздер саны (2016-2025)</caption><thead><tr><th>Жыл</th><th>Дәйексөздер саны</th></tr></thead><tbody><tr><td>2016</td><td>635</td></tr><tr><td>2017</td><td>655</td></tr><tr><td>2018</td><td>957</td></tr><tr><td>2019</td><td>1363</td></tr><tr><td>2020</td><td>1789</td></tr><tr><td>2021</td><td>2616</td></tr><tr><td>2022</td><td>3443</td></tr><tr><td>2023</td><td>3988</td></tr><tr><td>2024</td><td>4735</td></tr><tr><td>2025</td><td>3931</td></tr></tbody></table>	Жыл	Дәйексөздер саны	2016	635	2017	655	2018	957	2019	1363	2020	1789	2021	2616	2022	3443	2023	3988	2024	4735	2025	3931
Жыл	Дәйексөздер саны																									
2016	635																									
2017	655																									
2018	957																									
2019	1363																									
2020	1789																									
2021	2616																									
2022	3443																									
2023	3988																									
2024	4735																									
2025	3931																									
2024	119	4735	13.1																							
2023	108	3988	11.9																							
2022	119	3443	13.1																							
2021	90	2616	9.90																							
2020	78	1789	8.58																							
2019	51	1363	5.61																							
2018	43	957	4.73																							
2017	20	655	2.20																							
2016	35	635	3.85																							
Σ	762	24112	83.8																							
2015	22	526	2.42	Дәйексөздер саны <table><caption>Дәйексөздер саны (2006-2015)</caption><thead><tr><th>Жыл</th><th>Дәйексөздер саны</th></tr></thead><tbody><tr><td>2006</td><td>36</td></tr><tr><td>2007</td><td>39</td></tr><tr><td>2008</td><td>40</td></tr><tr><td>2009</td><td>60</td></tr><tr><td>2010</td><td>92</td></tr><tr><td>2011</td><td>137</td></tr><tr><td>2012</td><td>185</td></tr><tr><td>2013</td><td>269</td></tr><tr><td>2014</td><td>295</td></tr><tr><td>2015</td><td>526</td></tr></tbody></table>	Жыл	Дәйексөздер саны	2006	36	2007	39	2008	40	2009	60	2010	92	2011	137	2012	185	2013	269	2014	295	2015	526
Жыл	Дәйексөздер саны																									
2006	36																									
2007	39																									
2008	40																									
2009	60																									
2010	92																									
2011	137																									
2012	185																									
2013	269																									
2014	295																									
2015	526																									
2014	23	295	2.53																							
2013	21	269	2.31																							
2012	11	185	1.21																							
2011	12	137	1.32																							
2010	15	92	1.65																							
2009	2	60	0.22																							
2008	12	40	1.32																							
2007	7	39	0.77																							
2006	2	36	0.22																							
Σ	127	1679	14.0																							
2005	2	23	0.22	Дәйексөздер саны <table><caption>Дәйексөздер саны (2001-2005)</caption><thead><tr><th>Жыл</th><th>Дәйексөздер саны</th></tr></thead><tbody><tr><td>2001</td><td>0</td></tr><tr><td>2002</td><td>2</td></tr><tr><td>2003</td><td>1</td></tr><tr><td>2004</td><td>8</td></tr><tr><td>2005</td><td>23</td></tr></tbody></table>	Жыл	Дәйексөздер саны	2001	0	2002	2	2003	1	2004	8	2005	23										
Жыл	Дәйексөздер саны																									
2001	0																									
2002	2																									
2003	1																									
2004	8																									
2005	23																									
2004	6	8	0.66																							
2003	5	1	0.55																							
2002	4	2	0.44																							
2001	3	0	0.33																							
Σ	20	34	2.20																							

Гидрологиялық құрғақшылық мәселесі бойынша жарияланымдардың дәйексөз келтіру көрсеткіштерін талдау бұл саладағы негізгі бағыттарға, атап айтқанда құрғақшылықты бағалау мен мониторинг жүргізуге арналған индекстерді әзірлеу (Vicente-Serrano, 2012; Nalbantis, 2009), гидрологиялық құрғақшылықтың климаттық және алаптық детерминанттарын (не-

лау мен мониторинг жүргізуге арналған индекстерді әзірлеу (Vicente-Serrano, 2012; Nalbantis, 2009), гидрологиялық құрғақшылықтың климаттық және алаптық детерминанттарын (не-

гізгі факторларын) зерттеу (Van Loon, 2015), жаһандық жылындың салдарын талдау (Seager, 2010), сондай-ақ спутниктік мәліметтер мен климаттық модельдер негізінде мониторинг пен болжау жүргізу (Thomas, 2014; Hao, 2018) қызығушылық артқан. Зерттеулердің жоғары орташа жылдық дәйексөз келтіру деңгейі (Zhang, 2022) гидрологиялық құрғақшылықты зерттеудегі климаттық сценарийлерді, қашықтықтан зондтау әдістерін және жасанды интеллект технологияларын интеграциялау үрдісіне деген қызығушылықтың артып келе жатқанын көрсетеді.

Жарияланымдардың жоғары дәйексөзге ие болуы олардың тек тақырыбына ғана емес, авторлардың жетекші халықаралық ғылыми орталықтарға тиесілі болуына да байланысты. Негізгі еңбектердің көпшілігі Еуропа елдері (Испания, Ұлыбритания, Нидерланд), Қытай Халық Республикасы және АҚШ зерттеушілерімен дайындалған, бұл гидрологиялық құрғақшылық мәселесіне жаһандық қызығушылықтың бар екенін дәлелдейді. 4-кестеде дәйексөз саны бойынша көшбасшы ғылыми еңбектер келтірілген.

4-кесте – Гидрологиялық құрғақшылық бойынша ең көп дәйексөз келтірілген 10 ғылыми жұмыс

Жарияланым атауы	Авторлар (жылы)	Дәйексөз саны	Тақырыбы
Performance of Drought Indices for Ecological, Agricultural, and Hydrological Applications	Vicente-Serrano et al. (2012)	645	SPEI индексінің әмбебап индекс ретінде орнығуын қамтамасыз еткен зерттеу
Assessment of Hydrological Drought Revisited	Nalbantis & Tsakiris (2009)	633	Гидрологиялық қуаңшылықты бағалау әдістемесі
Hydrological drought severity explained by climate and catchment characteristics	Van Loon & Laaha (2015)	444	Климаттық факторлардың рөлін түсіндіруге елеулі үлес қосқан
Greenhouse warming and the 21st century hydroclimate of southwestern North America	Seager & Vecchi (2010)	432	Жаһандық жылындың құрғақ аймақтардағы гидроклиматына әсері
Seasonal Drought Prediction: Advances, Challenges, and Future Prospects	Hao, Singh & Xia (2018)	417	Құрғақшылықты болжау жөніндегі негізгі шолу жұмыстарының бірі
Accurate Computation of a Streamflow Drought Index	Vicente-Serrano et al. (2012)	407	Өзен ағындысының құрғақшылық индексі (SDI) есептеу әдістерінің дамуы
A GRACE-based water storage deficit approach for hydrological drought characterization	Thomas et al. (2014)	392	Жасанды жер серігі мәліметтерін қолданған алғашқы зерттеулердің бірі
The propagation from meteorological to hydrological drought	Huang et al. (2017)	383	Метеорологиялық құрғақшылықтың гидрологиялық құрғақшылыққа өтуін факторларын айқындаған
Remote sensing for drought monitoring & impact assessment	West, Quinn & Horswell (2019)	366	Қашықтықтан зондтауды алғашқылардың бірі болып қолданған зерттеу
Challenges for drought assessment in the Mediterranean region under future climate scenarios	Tramblay et al. (2020)	365	Болашақ климаттық сценарийлер мен аймақтық мәселелерге арналған шолу

Ең көп дәйексөз келтірілген ғылыми еңбектердің мазмұнын талдау нәтижесінде бұл жарияланымдардың бірнеше негізгі зерттеу бағыттары төңірегінде шоғырланғаны анықталды:

1. Құрғақшылықты бағалау индекстері мен әдістерін әзірлеу. Vicente-Serrano және авторлар тобының (2010, 2012) еңбектері Standardized Precipitation Evapotranspiration Index

(SPEI) – стандартталған жауын-шашын және булану индексіні ұсыну арқылы классикалық зерттеулер қатарына енді. Аталған әдіс қазіргі уақытта әлемдік тәжірибеде кеңінен қолданылып келеді. Бұл мақалалар ең көп дәйексөз келтірілген жұмыстардың қатарына жатады және қазіргі заманғы құрғақшылық мониторингінің теориялық және әдістемелік негізін қалыптастырды.

2. Құрғақшылықтың климаттық детерминанттары және өңірлік ерекшеліктері. Van Loon (2015) және Seager (2010) ғылыми зерттеулері құрғақшылық пен атмосфералық циркуляция өзгерістері және жаһандық климаттық үдерістер арасындағы өзара байланысқа бағытталған. Бұл еңбектер құрғақшылық құбылыстарының табиғи климаттық факторлармен байланысын және олардың аймақтық сипаттамаларын терең түсінуге мүмкіндік береді.

3. Құрғақшылықты модельдеу және болжау. Соңғы жылдары зерттеушілер климаттық сценарийлер мен су пайдалануға қатысты факторларды қамтитын гидрологиялық модельдерді құруға және жетілдіруге ерекше назар аударуда. Бұл бағыттағы маңызды зерттеулердің мысалы ретінде Нео (2018) және Zhang (2022) еңбектерін атап өтуге болады. Аталған зерттеулерде құрғақшылықтың келешектегі ықтималдығы мен салдарын бағалау үшін кешенді модельдер қолданылған.

4. Спутниктік технологиялар мен қашықтықтан зондтауды қолдану. Осы бағыттың дамуына Thomas (2014) және West (2019) зерттеулері маңызды үлес қосты.

5. Антропогендік факторлар және су ресурстарын басқару. Wada (2013) және басқа зерттеушілер Alimkulov (2024), Birimbayeva (2024) және Alimkulov (2025) еңбектері құрғақшылықты зерттеуде гидрологиялық құрғақшылықтың күшеюінің негізгі антропогендік факторлары ретінде су тұтыну, ирригация және жер пайдалану өзгерістері ескерудің маңыздылығын түсіндіреді.

Гидрологиялық құрғақшылық мәселесіне арналған ең көп дәйексөз келтірілген жарияланымдар ғылыми зерттеулердің қарапайым индекстерді әзірлеуден бастап, климаттық және антропогендік факторларды ескеретін кешенді зерттеулерге дейінгі эволюциясын айқын көрсетеді. Аталған еңбектердің жоғары дәйексөз саны олардың гидрология, су ресурстарын басқару және климатология салаларындағы фундаменталды маңыздылығын дәлелдейді.

Ғылыми зерттеулердің екінші кезеңінде Web of Science индексі сияқты тағы бір маңызды көрсеткіш талданды. Гидрологиялық құрғақшылық тақырыбы бойынша жарияланымдық белсенділікті талдау тек жұмыстың саны мен дәйексөз келтіру динамикасын ғана емес, сонымен қатар Web of Science мәліметтер базасындағы индекстер бойынша жарияланымдардың таралуын да ескеруді талап етеді. Себебі ғылыми мақаланың белгілі бір индекс құрамына енуі зерттеудің

мәртебесін және халықаралық деңгейде мойындалуын білдіреді. Web of Science – бұл бірқатар мамандандырылған көрсеткіштерді (дәйексөздер индекстерін) қамтитын халықаралық ғылымиметриялық платформа. Атап айтқанда, ол келесі индекстерді қамтиды:

1. Science Citation Index Expanded (SCIE) – жаратылыстану және техникалық ғылымдар саласындағы журналдарды қамтиды (физика, математика, химия, биология, гидрология, экология, инженерия, медицина). Бұл индекс – Web of Science жүйесінің негізгі ядросы болып табылады және жоғары халықаралық беделге ие.

2. Social Sciences Citation Index (SSCI) – әлеуметтік ғылымдар саласындағы журналдарды қамтиды (экономика, социология, басқару, құқық және т.б.). Бұл да негізгі ядроға жатады және әлеуметтік-гуманитарлық бағыттар үшін жоғары ғылыми салмаққа ие.

3. Arts & Humanities Citation Index (AHCI) – гуманитарлық ғылымдар саласындағы журналдарды қамтиды (тарих, философия, өнер және т.б.). SCIE мен SSCI индекстерінен айырмашылығы, AHCI индексіндегі журналдарда импакт-факторлар есептелмейді, алайда бұл индекс гуманитарлық ғылым саласындағы басылымдардың халықаралық деңгейде танылуы мен ғылыми сапасын айқындайды.

4. Emerging Sources Citation Index (ESCI) – географиялық және тақырыптық ауқымды кеңейту мақсатында Web of Science базасына енгізілген жаңа және перспективалы журналдарды қамтитын индекс. ESCI – «бастапқы деңгей» ретінде қызмет етеді және SCIE, SSCI және AHCI-ге енгізілгенге дейінгі өтпелі кезең болып саналады. Бұл аралық көрсеткіш ғылыми жарияланымдардың көрінуін арттырып, олардың халықаралық ғылыми кеңістікте таралуына ықпал етеді.

Гидрологиялық құрғақшылық мәселесі бойынша жүргізілген зерттеулердің ғылыми деңгейін бағалауда Web of Science индекстері бойынша жарияланымдардың таралуы маңызды көрсеткіш болып табылады (5-кесте). Мәліметтерді салыстыру гидрологиялық құрғақшылыққа қатысты зерттеулердің қай салаларда көбірек көрініс тапқанын және осы тақырыптағы жарияланымдардың халықаралық ғылымиметриялық жүйедегі салмағын анықтауға мүмкіндік береді.

Web of Science индекстері бойынша жарияланымдардың таралуын талдау келесі нәтижелерді көрсетті: Web of Science мәліметтер базасында гидрологиялық құрғақшылықты зерттеуге ар-

налған 964 жарияланым тіркелген (оның ішінде 909 жарияланым индекстелген). Бұл жарияланымдардың индекстер бойынша таралуы зерт-

теу бағытының ғылыми қызығушылыққа ие салаларын және оның халықаралық деңгейдегі маңыздылық дәрежесін айқын көрсетеді.

5-кесте – Дәйексөздер индекстері (ДИ) бойынша жарияланымдардың таралуы

№	Web of Science көрсеткіші	Жарияланымдар саны	%
1	Кітаптар ДИ – әлеуметтік және гуманитарлық ғылымдар (BKCI-SSH)	1	0.10
2	Кітаптар ДИ – жаратылыстану ғылымдары (BKCI-S)	4	0.41
3	Жаңа дереккөздер ДИ (ESCI)	50	5.19
4	Конференция материалдарының ДИ – әлеуметтік және гуманитарлық ғылымдар	3	0.31
5	Конференция материалдарының ДИ – жаратылыстану ғылымдары	62	6.43
6	Кеңейтілген ғылыми мақалалар ДИ (SCIE)	795	82.5
7	Әлеуметтік ғылымдар ДИ (SSCI)	49	5.08

Ескерту: ДИ – дәйексөз индексі

Жарияланымдардың көпшілігі ғылыми мақалалардың кеңейтілген дәйексөз индексінде (SCIE) шоғырланған – 795 мақала (82,5 %), бұл гидрологиялық құрғақшылық зерттеулерінің ең алдымен жаратылыстану ғылымдарына қатысты екендігімен байланысты. SCIE индексіндегі журналдарда жарияланған ғылыми жұмыстардың басым болуы зерттеулердің жоғары халықаралық мәртебесін және олардың ғылыми қауымдастықта кеңінен сұранысқа ие екенін растайды.

Екінші орында маңыздылығы бойынша жаратылыстану ғылымдарының конференция материалдарының дәйексөз индексі түр – 62 жарияланым (6,43 %), бұл халықаралық ғылыми-тәжірибелік конференциялардың аталмыш тақырып бойынша нәтижелер алмасуда, гидрологиялық құрғақшылықтың болжау, мониторинг және салдарын бағалау жаңа әдістері саласында маңызды рөл атқаратынын көрсетеді.

Жаңа дереккөздер дәйексөз индексіндегі (ESCI) жарияланымдардың үлесі де айтарлықтай – 50 мақала (5,19 %), бұл жаңа және өңірлік журналдарда аталған тақырыпқа қызығушылықтың өсіп келе жатқанын және осы басылымдардың кейін Web of Science негізгі индекстеріне қосылуы мүмкін екендігін білдіреді.

Әлеуметтік ғылымдар дәйексөз индексіндегі (SSCI) жарияланымдар саны – 49 ғылыми мақала (5,08 %), бұл гидрологиялық құрғақшылықтың әлеуметтік-экономикалық аспектілері-

не – тәуекелдерді басқару, экономикалық шығындар және тұрақты даму мәселелеріне деген қызығушылықтың барын сипаттайды.

Гидрологиялық құрғақшылық саласындағы зерттеулер жаратылыстану ғылымдарына бағытталған, бұл ғылыми мақалалардың кеңейтілген дәйексөз индексі (SCIE) бойынша жарияланымдардың басым болуымен расталады. Сондай-ақ, жарияланымдық белсенділіктің басқа да салаларда көбею тенденциясы байқалады, бұл мәселені зерттеуде әлеуметтік, экономикалық және басқарушылық аспектілерді қосқан междисциплинарлық өсуді көрсетеді.

Зерттеулердің келесі кезеңі гидрологиялық құрғақшылық тақырыбында жарияланымдар шығаратын жетекші ғылыми журналдарды анықтауға бағытталған. Жалпы 263 ғылыми дереккөз талданып, 6-кестеде жарияланым белсенділігіне ең үлкен үлес қосқан алғашқы 25 дереккөз көрсетілген. Бұл басылымдарға 549 мақала тиесілі, оның жартысынан көбі 10 жетекші журналға шоғырланған. Осындай тәсіл гидрологиялық құрғақшылық саласындағы ғылыми нәтижелердің негізгі тарату арналарын анықтауға мүмкіндік береді. Журналдарды талдау зерттеу нәтижелерінің қай жерде ең белсенді жарияланатынын, авторлар үшін қай бағыттардың басым екенін және осы саладағы ғылыми қауымдастықтардың негізгі топтарын айқындауға септігін тигізеді.

6-кесте – Гидрологиялық құрғақшылық мәселесі бойынша жарияланымдардың топ-25 дереккөзі

№	Дереккөз атауы	Жарияланымдар саны	%	Квартиль
1	Journal of Hydrology	92	16.8	Q1
2	Water	75	13.7	Q2
3	Science of the Total Environment	38	6.92	Q1
4	Journal of Hydrology Regional Studies	35	6.38	Q1
5	Water Resources Management	31	5.65	Q1
6	Hydrological Processes	29	5.28	Q2
7	Natural Hazards	27	4.92	Q1
8	Water Resources Research	23	4.19	Q1
9	IAHS Publication	20	3.64	Q1
10	Sustainability	18	3.28	Q2
11	Remote Sensing	15	2.73	Q2
12	Hydrological Sciences Journal	14	2.55	Q2
13	International Journal of Climatology	14	2.55	Q3
14	Environmental Research Letters	13	2.37	Q1
15	Stochastic Environmental Research and Risk Assessment	13	2.37	Q2
16	Hydrology Research	12	2.19	Q2
17	Atmosphere	11	2.00	Q3
18	Atmospheric Research	11	2.00	Q2
19	Journal of Water and Climate Change	11	2.00	Q2
20	Journal of Environmental Management	9	1.64	Q1
21	Ecological Indicators	8	1.46	Q1
22	Geophysical Research Letters	8	1.46	Q1
23	Hydrological Sciences Journal	8	1.46	Q2
24	Advances in Water Resources	7	1.28	Q1
25	Agricultural Water Management	7	1.28	Q1

Гидрология және су ресурстары бойынша мамандандырылған журналдарда жарияланымдар саны ең жоғары көрсеткішке ие. Рейтингтің көшбасшысы – Journal of Hydrology журналы, ол су ресурстары мен гидрологиялық құрғақшылық мәселелері бойынша халықаралық ғылыми күн тәртібін қалыптастыруда маңызды рөл атқарады. Екінші орында – ашық қолжетімділігімен және гидрология, су ресурстарын басқару мен климаттық өзгерістерге бейімделу мәселелері бойынша кең ауқымды зерттеушілерді қамтуымен ерекшеленетін Water журналы тұр. Айтарлықтай көп мақалалар Science of the Total Environment сияқты пәнаралық журналдарда жарияланған, бұл гидрологиялық, экологиялық және климаттық зерттеулердің интеграциясына деген қызығушылықты сипаттайды. Сонымен қатар, Journal of Hydrology: Regional Studies,

Water Resources Management, Hydrological Processes сияқты гидрологияға бағытталған журналдар да елеулі үлес қосып отыр.

Ғылыми дереккөздердің құрылымы гидрология және су ресурстары мәселелері бойынша жетекші журналдарда жарияланымдардың шоғырланғанын айқындайды. Сонымен қатар, зерттеулердің басым бөлігі пәнаралық басылымдарда жарияланатыны – гидрологиялық құрғақшылық тақырыбының климаттық өзгерістер, табиғи қауіптер және тұрақты даму сияқты кеңірек контексте қарастырылатынын көрсетеді.

Қорытынды

Гидрологиялық құрғақшылық мәселесі бойынша ғылыми жарияланымдардың хронологиялық динамикасы мен құрылымын талдау

ғылыми қызығушылықтың тұрақты өсуін және халықаралық дискурстың (ғылыми теориялар, тұжырымдамалар, әдістер мен зерттеу нәтижелерінің жиынтығы) едәуір кеңейгенін дәлелдейді.

Соңғы екі онжылдықта зерттеулер қалыптасу кезеңінен жетекші рецензияланатын журналдарда жарияланымдардың шоғырлануы мен жоғары дәйексөз алу деңгейімен сипатталатын белсенді фазаға өтті. Ғылыми жұмыстардың негізгі бағыттарына құрғақшылықты мониторингтеу индекстерін әзірлеу, климаттық факторларды зерттеу, модельдеу және болжау, спутниктік технологияларды қолдану, сондай-ақ антропогендік әсерлерді бағалау жатады. Гидрологиялық құрғақшылықтың айқындалған тенденциялары Қазақстан жағдайында аса өзекті, себебі бұл құбылыс тұрақты дамуға елеулі қатер төндіреді. Әлемдік ғылымда жарияланымдық белсенділіктің өсуі және жаңа әдістердің (қашықтықтан зондау, климаттық модельдеу, жасанды

интеллектіні қолдану) интеграциясы су ресурстарын ұлттық деңгейде мониторингтеу және болжау жүйелерін жетілдіруге мүмкіндік береді. Халықаралық ғылыми ортаға қазақстандық зерттеулерді енгізу елдің ғылыми көрінісін күшейтіп қана қоймай, гидрологиялық құрғақшылықтың динамикалық сипаттағы жағдайларына бейімделу мен тәуекелдерді басқару стратегияларын жасауға ғылыми-әдістемелік тірек болады.

Қаржыландыру

Ғылыми зерттеу Қазақстан Республикасы Ғылым және жоғары білім Министрлігі Ғылым комитетінің АР26101177 «Климаттың және ағындының тұрақсыздығы жағдайында Балқаш-Алакөл сушаруашылық алабындағы гидрологиялық құрғақшылықтың таралу ерекшеліктерін бағалау және сценарлық болжау» гранттық қаржыландыру бағдарламасы негізінде жасалынды.

Әдебиеттер

- Alimkulov, S., Makhmudova, L., Talipova, E., Baspakova, G., & Monkayeva, G. (2025). Assessment of the impacts of climate change on drought intensity and frequency using SPI and SPEI in the Southern Pre-Balkash Region, Kazakhstan. *Watershed Ecology and the Environment*, 7, 11–22. <https://doi.org/10.1016/j.wsee.2024.12.001>.
- Alimkulov, S., Makhmudova, L., Talipova, E., Baspakova, G., Tigkas, D., & Isakan, G. (2024). Response of the water level of the Balkash Lake to the distribution of meteorological and hydrological drought under the conditions of climate change. *Journal of Water and Climate Change*, 15(7), 3395–3408. <https://doi.org/10.2166/wcc.2024.271>.
- Ault, T.R. (2020). On the essentials of drought in a changing climate. *Science*, 368(6488), 256–260. <https://doi.org/10.1126/science.aaz5492>.
- Birimbayeva, L., Makhmudova, L., Alimkulov, S., Tursunova, A., Mussina, A., Tigkas, D., Beksultanova, Z., Rodrigo-Clavero, M.-E., & Rodrigo-Ilari, J. (2024). Analysis of the spatiotemporal variability of hydrological drought regimes in the lowland rivers of Kazakhstan. *Water*, 16(16), 2316. <https://doi.org/10.3390/w16162316>.
- IPCC. Climate Change 2022: Mitigation of Climate Change. Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change – 2022 – URL: https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg3/downloads/report/IPCC_AR6_WGIII_FullReport.pdf
- Wong, G., Van Lanen, H. A. J., & Torfs, P. J. J. F. (2013). Probabilistic analysis of hydrological drought characteristics using meteorological drought. *Hydrological Sciences Journal*, 58(2), 253–270. <https://doi.org/10.1080/02626667.2012.753147>.
- Hao, Z., Singh, V. P., & Xia, Y. (2018). Seasonal drought prediction: Advances, challenges, and future prospects. *Reviews of Geophysics*, 56(1), 108–141. <https://doi.org/10.1002/2016RG000549>.
- West, H., Quinn, N., & Horswell, M. (2019). Remote sensing for drought monitoring & impact assessment: Progress, past challenges and future opportunities. *Remote Sensing of Environment*, 232, 111291. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2019.111291>.
- Mukherjee, S., Mishra, A., & Trenberth, K.E. (2018). Climate change and drought: A perspective on drought indices. *Current Climate Change Reports*, 4(2), 145–163. <https://doi.org/10.1007/s40641-018-0098-x>.
- Nalbantis, I., & Tsakiris, G. (2009). Assessment of hydrological drought revisited. *Water Resources Management*, 23, 881–897. <https://doi.org/10.1007/s11269-008-9305-1>.
- Seager, R., & Vecchi, G.A. (2010). Greenhouse warming and the 21st century hydroclimate of Southwestern North America. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 107(50), 21277–21282. <https://doi.org/10.1073/pnas.0910856107>.
- Thomas, A.C., Reager, J.T., Famiglietti, J.S., & Rodell, M. (2014). A GRACE-based water storage deficit approach for hydrological drought characterization. *Geophysical Research Letters*, 41(5), 1537–1545. <https://doi.org/10.1002/2014GL059323>.
- Tramblay, Y., Koutroulis, A., Samaniego, L., Vicente-Serrano, S. M., Volaire, F., Boone, A., Le Page, M., Llasat, M. C., Albergel, C., Burak, S., Cailleret, M. Challenges for drought assessment in the Mediterranean region under future climate scenarios // *Earth-Science Reviews*. – 2020. – Vol. 210. – Article No. 103348. – DOI: 10.1016/j.earscirev.2020.103348.
- Trenberth, K.E., Dai, A., Van der Schrier, G., Jones, P.D., Barichivich, J., Briffa, K.R., & Sheffield, J. (2014). Global warming and changes in drought. *Nature Climate Change*, 4(1), 17–22. <https://doi.org/10.1038/nclimate2067>.
- Van Loon, A. F., & Laaha, G. (2015). Hydrological drought severity explained by climate and catchment characteristics. *Journal of Hydrology*, 526, 3–14. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2014.10.059>.

Vicente-Serrano, S.M., Beguería, S., López-Moreno, J.I., Angulo, M.E., Kenawy, A., & Coauthors. (2012). Performance of drought indices for ecological, agricultural, and hydrological applications. *Earth Interactions*, 16(10), 1–27. <https://doi.org/10.1175/2012EI000434.1>.

Wada, Y., Van Beek, L.P.H., Wanders, N., & Bierkens, M.F.P. (2013). Human water consumption intensifies hydrological drought worldwide. *Environmental Research Letters*, 8(3), 034036. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/8/3/034036>.

Zhang, X., Hao, Z., Singh, V.P., Zhang, Y., Feng, S., Xu, Y., & Hao, F. (2022). Drought propagation under global warming: Characteristics, approaches, processes, and controlling factors. *Science of The Total Environment*, 838(2), 156021. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.156021>.

References

Alimkulov, S., Makhmudova, L., Talipova, E., Baspakova, G., & Monkayeva, G. (2025). Assessment of the impacts of climate change on drought intensity and frequency using SPI and SPEI in the Southern Pre-Balkash Region, Kazakhstan. *Watershed Ecology and the Environment*, 7, 11–22. <https://doi.org/10.1016/j.wsee.2024.12.001>.

Alimkulov, S., Makhmudova, L., Talipova, E., Baspakova, G., Tigkas, D., & Isakan, G. (2024). Response of the water level of the Balkash Lake to the distribution of meteorological and hydrological drought under the conditions of climate change. *Journal of Water and Climate Change*, 15(7), 3395–3408. <https://doi.org/10.2166/wcc.2024.271>.

Ault, T.R. (2020). On the essentials of drought in a changing climate. *Science*, 368(6488), 256–260. <https://doi.org/10.1126/science.aaz5492>.

Birimbayeva, L., Makhmudova, L., Alimkulov, S., Tursunova, A., Mussina, A., Tigkas, D., Beksultanova, Z., Rodrigo-Clavero, M.-E., & Rodrigo-Illari, J. (2024). Analysis of the spatiotemporal variability of hydrological drought regimes in the lowland rivers of Kazakhstan. *Water*, 16(16), 2316. <https://doi.org/10.3390/w16162316>.

IPCC. Climate Change 2022: Mitigation of Climate Change. Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change – 2022 – URL: https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg3/downloads/report/IPCC_AR6_WGIII_FullReport.pdf

Wong, G., Van Lanen, H. A. J., & Torfs, P. J. J. F. (2013). Probabilistic analysis of hydrological drought characteristics using meteorological drought. *Hydrological Sciences Journal*, 58(2), 253–270. <https://doi.org/10.1080/02626667.2012.753147>.

Hao, Z., Singh, V. P., & Xia, Y. (2018). Seasonal drought prediction: Advances, challenges, and future prospects. *Reviews of Geophysics*, 56(1), 108–141. <https://doi.org/10.1002/2016RG000549>.

West, H., Quinn, N., & Horswell, M. (2019). Remote sensing for drought monitoring & impact assessment: Progress, past challenges and future opportunities. *Remote Sensing of Environment*, 232, 111291. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2019.111291>.

Mukherjee, S., Mishra, A., & Trenberth, K.E. (2018). Climate change and drought: A perspective on drought indices. *Current Climate Change Reports*, 4(2), 145–163. <https://doi.org/10.1007/s40641-018-0098-x>.

Nalbantis, I., & Tsakiris, G. (2009). Assessment of hydrological drought revisited. *Water Resources Management*, 23, 881–897. <https://doi.org/10.1007/s11269-008-9305-1>.

Seager, R., & Vecchi, G.A. (2010). Greenhouse warming and the 21st century hydroclimate of Southwestern North America. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 107(50), 21277–21282. <https://doi.org/10.1073/pnas.0910856107>.

Thomas, A.C., Reager, J.T., Famiglietti, J.S., & Rodell, M. (2014). A GRACE-based water storage deficit approach for hydrological drought characterization. *Geophysical Research Letters*, 41(5), 1537–1545. <https://doi.org/10.1002/2014GL059323>.

Tramblay, Y., Koutroulis, A., Samaniego, L., Vicente-Serrano, S. M., Volaire, F., Boone, A., Le Page, M., Llasat, M. C., Albergel, C., Burak, S., Cailleret, M. Challenges for drought assessment in the Mediterranean region under future climate scenarios // *Earth-Science Reviews*. – 2020. – Vol. 210. – Article No. 103348. – DOI: 10.1016/j.earscirev.2020.103348.

Trenberth, K.E., Dai, A., Van der Schrier, G., Jones, P.D., Barichivich, J., Briffa, K.R., & Sheffield, J. (2014). Global warming and changes in drought. *Nature Climate Change*, 4(1), 17–22. <https://doi.org/10.1038/nclimate2067>.

Van Loon, A. F., & Laaha, G. (2015). Hydrological drought severity explained by climate and catchment characteristics. *Journal of Hydrology*, 526, 3–14. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2014.10.059>.

Vicente-Serrano, S.M., Beguería, S., López-Moreno, J.I., Angulo, M.E., Kenawy, A., & Coauthors. (2012). Performance of drought indices for ecological, agricultural, and hydrological applications. *Earth Interactions*, 16(10), 1–27. <https://doi.org/10.1175/2012EI000434.1>.

Wada, Y., Van Beek, L.P.H., Wanders, N., & Bierkens, M.F.P. (2013). Human water consumption intensifies hydrological drought worldwide. *Environmental Research Letters*, 8(3), 034036. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/8/3/034036>.

Zhang, X., Hao, Z., Singh, V.P., Zhang, Y., Feng, S., Xu, Y., & Hao, F. (2022). Drought propagation under global warming: Characteristics, approaches, processes, and controlling factors. *Science of The Total Environment*, 838(2), 156021. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.156021>.

Авторлар туралы мәлімет:

Махмудова Лаззат Камаловна – география ғылымдарының кандидаты, қауымдастырылған профессор, «География және су қауіпсіздігі институты» АҚ, экстремалды гидрологиялық құбылыстар зертханасының жетекшісі (Алматы, Қазақстан, e-mail: mlk2002@mail.ru);

Алимқұлов Саят Құрбанбаевич – география ғылымдарының кандидаты, қауымдастырылған профессор, «География және су қауіпсіздігі институты» АҚ басқарма төрағасының орынбасары (Алматы, Қазақстан, e-mail: sayat.alimkulov@mail.ru);

Талипова Эльмира Кайратовна – PhD, «География және су қауіпсіздігі институты» АҚ, экстремалды гидрологиялық құбылыстар зертханасының аға ғылыми қызметкері (Алматы, Қазақстан, e-mail: elmira_280386@mail.ru);

Биримбаева Лаззат Муратбековна – «География және су қауіпсіздігі институты» АҚ, экстремалды гидрологиялық құбылыстар зертханасының ғылыми қызметкері (Алматы, Қазақстан, e-mail: birimbayeva_l@mail.ru);

Дауталиева Мақпал Естемесовна (корреспондент-автор) – әл-Фараби атындағы ҚазҰУ-дың 2-курс докторанты, «География және су қауіпсіздігі институты» АҚ, экстремалды гидрологиялық құбылыстар зертханасының кіші ғылыми қызметкері (Алматы, Қазақстан, e-mail: masimbaeva@mail.ru).

Information about authors:

Makhmudova Lyazzat Kamalovna – Candidate of Geographical Sciences, Associate Professor, JSC «Institute of Geography and Water Security», Head of the Laboratory of Extreme Hydrological Phenomena (Almaty, Kazakhstan, e-mail: mlk2002@mail.ru);

Alimkulov Sayat Kurbanbaevich – Candidate of Geographical Sciences, Associate Professor, JSC «Institute of Geography and Water Security», Deputy Chairman of the Board (Almaty, Kazakhstan, e-mail: sayat.alimkulov@mail.ru);

Talipova Elmira Kairatovna – PhD, JSC «Institute of Geography and Water Security», Senior Researcher of the Laboratory of Extreme Hydrological Phenomena (Almaty, Kazakhstan, e-mail: elmira_280386@mail.ru);

Lyazzat Muratbekovna Birimbayeva – JSC «Institute of Geography and Water Security», Researcher of the Department of Laboratory of Extreme Hydrological Phenomena (Almaty, Kazakhstan, e-mail: birimbayeva_l@mail.ru);

Dautaliyeva Maqpal Estemesovna (corresponding author) – 2nd-year PhD student at Al-Farabi Kazakh National University, JSC «Institute of Geography and Water Security», Junior Researcher of the Department of Laboratory of Extreme Hydrological Phenomena (Almaty, Kazakhstan, e-mail: masimbaeva@mail.ru).

Сведения об авторах:

Махмудова Лаззат Камаловна – кандидат географических наук, ассоциированный профессор, АО «Институт географии и водной безопасности», руководитель лаборатории экстремальных гидрологических явлений (Алматы, Казахстан, e-mail: mlk2002@mail.ru);

Алимулов Саят Курбанбаевич – кандидат географических наук, ассоциированный профессор, АО «Институт географии и водной безопасности», заместитель председателя правления (Алматы, Казахстан, e-mail: sayat.alimkulov@mail.ru);

Талипова Эльмира Кайратовна – PhD, АО «Институт географии и водной безопасности», старший научный сотрудник лаборатории экстремальных гидрологических явлений (Алматы, Казахстан, e-mail: elmira_280386@mail.ru);

Биримбаева Лаззат Муратбековна – АО «Институт географии и водной безопасности», научный сотрудник лаборатории экстремальных гидрологических явлений (Алматы, Казахстан, e-mail: birimbayeva_l@mail.ru);

Дауталиева Мақпал Естемесовна (корреспондент-автор) – докторант 2-го курса КазНУ им. аль-Фараби, АО «Институт географии и водной безопасности», младший научный сотрудник лаборатории экстремальных гидрологических явлений (Алматы, Казахстан, e-mail: masimbaeva@mail.ru).

Поступила: 15 августа 2025 года

Принята: 20 ноября 2025 года

R.Sh. Amanzholova¹ , I.K. Rakhmetov² ,
Zh.M. Sagin¹ , Zh.A. Onglassynov³ 

¹Kazakh-British Technical University, Almaty, Kazakhstan

²Satbayev University, Almaty, Kazakhstan

³U.M. Akhmedsagin Institute of Hydrogeology and Geoecology, Almaty, Kazakhstan

*e-mail: r.amanzholova@kbtu.kz

ASSESSING GROUNDWATER FOR MANAGED AQUIFER RECHARGE IN EASTERN KAZAKHSTAN

Groundwater in Kazakhstan is becoming an increasingly vital resource for ensuring long-term water and food security in the face of climate change, growing population demands, seasonal variability, and limited surface water availability. This study evaluates groundwater quality and soil infiltration capacity in Eastern Kazakhstan to assess the potential for implementing Managed Aquifer Recharge (MAR) as a sustainable water management approach. Hydrochemical analysis revealed predominantly calcium–magnesium bicarbonate waters with low mineralization, suitable for both irrigation and domestic use, indicating generally good groundwater quality. Field tests conducted using the Boldyrev infiltration method demonstrated moderate to high soil permeability in alluvial and sandy-gravel deposits, confirming favorable recharge conditions. Among the areas studied, the Zharbulak, Katynsuy, and Kuraylin deposits were identified as the most promising sites for MAR pilot projects. Overall, the results highlight MAR as a practical, cost-effective, and climate-resilient tool for strengthening regional water security and supporting sustainable agricultural development in Kazakhstan.

Keywords: groundwater quality, Managed Aquifer Recharge (MAR), Boldyrev infiltration method, hydrochemical analysis, Eastern Kazakhstan Ayagoz river basin, climate adaptation, irrigation water management, sustainable agriculture.

**Р.Ш. Аманжолова¹*, И.К. Рахметов²,
Ж.М. Сагин¹, Ж.Ә. Оңласынов³**

¹Қазақстан-Британ техникалық университеті, Алматы, Қазақстан

²Сәтбаев атындағы Қазақ ұлттық зерттеу техникалық университеті, Алматы, Қазақстан

³У.М. Ахмедсафин атындағы гидрогеология және геоэкология институты, Алматы, Қазақстан

*e-mail: r.amanzholova@kbtu.kz

Шығыс Қазақстандағы жер асты суларын басқарылатын толықтыру мүмкіндіктерін бағалау

Қазақстандағы жер асты сулары климаттың өзгеруі, маусымдық құбылмалылық және жер үсті суларының шектеулі қолжетімділігі жағдайында елдің су және азық-түлік қауіпсіздігін қамтамасыз етуде барған сайын маңызды әрі стратегиялық табиғи ресурсқа айналууда. Соңғы жылдары су тапшылығының артуы мен экожүйелік тепе-теңдіктің бұзылуы бұл ресурсты тиімді пайдаланудың өзектілігін арттырды. Осы зерттеу барысында Шығыс Қазақстан өңіріндегі жер асты суларының сапасы мен топырақтың инфильтрациялық қасиеттері кешенді түрде зерттеліп, басқарылатын су қабатын толықтыру (Managed Aquifer Recharge, MAR) технологиясын енгізудің экологиялық, техникалық және әлеуметтік тұрғыдан тиімділігі жан-жақты бағаланды. Гидрохимиялық талдау нәтижелері минералдануы төмен, негізінен кальций-магнийлі гидрокарбонат типті сулардың басым екенін көрсетті, бұл олардың ауыл шаруашылығында суару, мал шаруашылығы және тұрмыстық қажеттіліктер үшін кеңінен пайдалануға жарамды екенін дәлелдейді. Бодырев әдісімен жүргізілген инфильтрациялық сынақтар аллювийлі және құмды-қиыршық тасты шөгінділердің орташа және жоғары өткізгіштігін растады, бұл жер асты суларын толықтыруға өте қолайлы табиғи жағдайлар бар екенін айқындайды. MAR пилоттық жобалары үшін Жарбулак, Қатынсу және Құрайлы учаскелері ең перспективалы аймақтар ретінде анықталды. Алынған нәтижелер MAR технологиясының климатқа бейімделген, экологиялық, экономикалық және әлеуметтік тұрғыдан тиімді әрі болашағы зор шешім екенін дәлелдейді.

Түйін сөздер: жер асты суларының сапасы, басқарылатын су қабатын толықтыру (MAR), Бодырев инфильтрация әдісі, гидрохимиялық талдау, Шығыс Қазақстан, Аягөз өзені алабы, климаттың өзгеруіне бейімделу, суармалы суды басқару, тұрақты ауыл шаруашылығы.

Р.Ш. Аманжолова^{1*}, И.К. Рахметов²,
Ж.М. Сагин¹, Ж.Э. Онласынов³

¹Казахстанско-Британский технический университет, Алматы, Казахстан

²Казахский национальный исследовательский технический университет
имени К.И. Сатпаева, Алматы, Казахстан

³Институт гидрогеологии и геоэкологии имени У.М. Ахмедсафина, Алматы, Казахстан
*e-mail: r.amanzholova@kbtu.kz

Оценка подземных вод для управляемого пополнения водоносных горизонтов в Восточном Казахстане

Подземные воды в Казахстане становятся всё более значимым и стратегически важным природным ресурсом для обеспечения долгосрочной водной и продовольственной безопасности в условиях изменения климата, сезонной изменчивости, роста потребления и ограниченной доступности поверхностных водных источников. В данном исследовании подробно оцениваются качество подземных вод и инфильтрационная способность почв в Восточном Казахстане с целью определения потенциала внедрения технологии управляемого пополнения водоносных горизонтов (Managed Aquifer Recharge, MAR) как устойчивого инструмента водного менеджмента. Гидрохимический анализ показал преимущественно кальций-магниево-гидрокарбонатные воды с низкой минерализацией, что делает их пригодными как для орошения сельскохозяйственных культур, так и для хозяйственно-питьевых нужд населения. Полевые испытания методом инфильтрации по Бодыреву выявили среднюю и высокую проницаемость почв в аллювиальных и песчано-галечниковых отложениях, что подтверждает наличие благоприятных природных условий для пополнения запасов подземных вод. Наиболее перспективными участками для реализации пилотных проектов MAR определены Жарбулакское, Катинское и Курайлинское месторождения. Полученные результаты указывают, что технология MAR является практичным, экологически безопасным и устойчивым к климатическим изменениям решением, способным укрепить водную безопасность и способствовать развитию устойчивого сельского хозяйства в Казахстане.

Ключевые слова: качество подземных вод, управляемое пополнение водоносных горизонтов (MAR), метод инфильтрации по Бодыреву, гидрохимический анализ, Восточный Казахстан, бассейн реки Аягоз, адаптация к изменению климата, управление оросительными водами, устойчивое сельское хозяйство.

Introduction

As global water scarcity intensifies, ensuring access to sustainable freshwater sources has become a critical challenge. Groundwater, often referred to as the “hidden resource,” is increasingly recognized as a vital buffer against climate variability and declining surface water supplies, particularly in supporting agriculture and food security (Taylor et al., 2013; United Nations, 2022). The sustainable use of groundwater is also central to the sixth United Nations Sustainable Development Goal (SDG 6).

Globally, reliance on groundwater is rising. Over the past 30 years, more than 300 million wells have been drilled, with annual withdrawals reaching 959 km³ by 2017—68.5% of which occurred in Asia (Absametov, 2023; United Nations, 2022). Countries such as India, China, and Pakistan use up to 76% of their groundwater resources for agriculture, underscoring the urgent need for integrated and conjunctive management of surface and groundwater resources (Shtengelov, 1988).

In Kazakhstan, groundwater resources are gaining importance due to increasing limitations on sur-

face water (Absametov et al., 2023). The chemical composition of groundwater is influenced by water–rock interactions in mountainous regions and water–soil–gas processes in lowlands (Mukhamedjanov et al., 2018). In certain areas, elevated concentrations of sulfates, sodium, and chloride exceed permissible drinking water standards (Adenova et al., 2024). These conditions highlight the need for systematic hydrochemical assessment and resource evaluation to support groundwater use for irrigation and climate adaptation.

Despite considerable reserves, groundwater remains underutilized in Kazakhstan. Currently, there is no comprehensive framework for integrating Managed Aquifer Recharge (MAR) into national water management strategies. This study addresses that gap by evaluating the hydrochemical status and resource potential of groundwater deposits in Eastern Kazakhstan and exploring the feasibility of MAR as a tool for enhancing climate resilience.

The aim of this study is to assess groundwater quality in the context of Managed Aquifer Recharge (MAR) and to evaluate soil infiltration capacity using the Boldyrev method. The research provides

recommendations for maintaining high water quality to ensure the successful implementation of MAR, while emphasizing its importance for sustainable use in agriculture, domestic water supply, and other sectors. Specifically, the study examines how water quality affects the effectiveness of MAR systems, emphasizing the need for systematic treatment and monitoring to prevent groundwater contamination. In addition, the Boldyrev infiltration method is applied to determine soil permeability and identify sites with favorable conditions for recharge, thereby contributing to a more comprehensive understanding of MAR implementation in the Ayagoz River basin.

International Solutions in Managed Aquifer Recharge (MAR)

Countries such as Australia, Brazil, France, Germany, Israel, Spain, and the United States have demonstrated significant success in integrating Managed Aquifer Recharge (MAR) into their water management systems. MAR is widely recognized as a crucial approach to sustainable water resource management, involving the controlled infiltration of water into aquifers to replenish groundwater storage and, in many cases, to enhance water quality (Dillon, 2005; Maliva, 2020). This method has gained global attention as a key strategy to mitigate water scarcity, improve groundwater sustainability, and strengthen resilience to droughts (Bouwer, 2002). However, its implementation requires careful assessment of groundwater quality to ensure both safety and long-term effectiveness (Page et al., 2010).

Israel and Spain provide striking examples of successful MAR applications. Israel recycles nearly 90% of its wastewater, primarily for agricultural use, significantly reducing dependence on freshwater resources and lowering water supply costs (Adar et al., 2012). In Spain, infiltration basins and aquifer recharge systems have directly contributed to the stability of irrigated agriculture, helping to mitigate the impacts of drought and optimize water use efficiency (Sprenger et al., 2017).

In the United States, MAR projects are actively supported through government initiatives. California's Flood-MAR program exemplifies this approach by capturing excess surface water during flood events and directing it into aquifers. These projects not only reduce flood risks but also ensure a reliable water supply for agriculture and lower infrastructure costs by decreasing reliance on large surface reservoirs (California Department of Water Resources, 2018).

Australia is also considered a global leader in MAR, particularly in arid regions such as Adelaide and Perth, where aquifer recharge programs enhance drinking water security and stabilize urban water supplies (Dillon et al., 2009).

In Brazil, MAR is implemented in drought-prone northeastern states, where the infiltration of rainwater and treated wastewater reduces dependence on surface water and increases resilience to agricultural water shortages (da Silva et al., 2015).

Across Europe, France and Germany primarily employ MAR for water quality protection and urban water supply security. In France, MAR projects in the Paris region help maintain a consistent supply of high-quality drinking water (Greskowiak et al., 2018). In Germany, recharge projects in river valleys such as the Elbe and Rhine are essential for stabilizing groundwater resources and ensuring reliable urban water supply (Schwinn et al., 2017).

Adaptation for Kazakhstan

While international practices demonstrate that Managed Aquifer Recharge (MAR) can strengthen agricultural resilience, water security, and cost efficiency, Kazakhstan remains at an early stage of adopting these technologies. Despite possessing vast groundwater reserves, groundwater uses accounts for only 3.7–5% of the nation's total annual water intake (Smolyar et al., 2012a). In agriculture, utilization is critically low—only 0.15–0.21 km³ per year is extracted for irrigation, compared to an estimated potential of 7.76 km³ annually (Mukhamedzhanov & Dzhabasov, 1988; Absametov, 2024).

This underutilization is attributed to outdated regulations, fragmented institutional frameworks, and insufficient monitoring systems that hinder effective groundwater governance (Bekkulova et al., 2021). When compared to global best practices, Kazakhstan's groundwater utilization remains significantly below that of European and Asian countries (Smolyar et al., 2012b).

Unlocking this untapped potential will be essential for strengthening the resilience of Kazakhstan's agricultural sector amid growing climate pressures and increasing dependence on vulnerable surface water supplies. Immediate priorities include:

- refining groundwater resource assessments;
- developing rational models for conjunctive use of surface and groundwater;
- implementing robust monitoring and management systems.

By adopting MAR and aligning national policies with global best practices, Kazakhstan could

substantially enhance its water and food security, support sustainable agricultural development, and mitigate climate-related risks (Sydykov & Shlygina, 1998; Absametov, 2020; National Atlas of Kazakhstan, 2010).

Study Area: Eastern Kazakhstan (Abai Region)

The study area is situated in Eastern Kazakhstan, encompassing the Abai Region and part of the

East Kazakhstan Region (figure 1). This territory is regarded as one of the most water-abundant areas in the Republic of Kazakhstan, as it contains both surface and groundwater resources. Favorable hydrogeological conditions for aquifer recharge are created by relatively prominent levels of atmospheric precipitation and the widespread presence of fractured and unconsolidated rock formations (Taylor et al., 2013; Absametov, 2023).

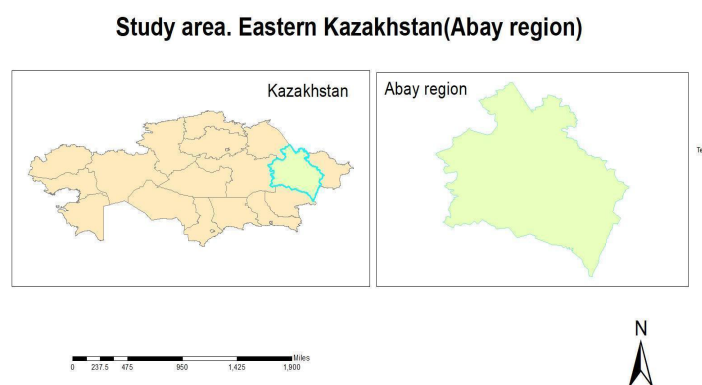


Figure 1 – Study area map of Eastern Kazakhstan (Abai Region)

Source: compiled by the author

Hydrologically, the region belongs to the Irtysh River basin and the endorheic lake systems of the Balkhash–Alakol depression. Under average hydrological conditions, total surface water resources are estimated at approximately 35.92 km³ per year, decreasing to 20.62 km³ in dry years (Figure 2). Of this volume, only 3.54 km³ per year are considered available for practical use, falling to 1.92 km³ in drought years. The Irtysh River and its tributaries are regulated by nearly 20 reservoirs, which are utilized for water supply, hydropower generation, and irrigation (Smolyar & Burov, 2002; Medeu, 2010).

Groundwater resources are also substantial. Forecasted reserves with salinity levels up to 3 g/L are estimated at 6.28 km³ per year, including 5.58 km³ of water with salinity below 1 g/L. Natural recharge is about 5.74 km³ annually, while exploitable reserves are around 2.39 km³ per year, of which 2.20 km³ are suitable for drinking and domestic use (Smolyar et al., 2012a; Committee for Water Resources, 2020). Despite this potential, irrigation in the region still depends almost entirely on surface water (FAO, 2016). The total irrigated area is 197,604 hectares, but only 93,804 hectares (47.5%) are actively cultivated.

Groundwater circulation reflects the geological structure of the area. In the mountain-folded zones, unconfined fissured waters dominate at shallow depths and are associated with zones of intensive rock fracturing, while fissure-vein waters occur along tectonic fault zones. In artesian basins, typically found in closed intermountain depressions, groundwater is contained within porous and intergranular layers. Recharge is primarily driven by the infiltration of precipitation and the percolation of surface runoff, particularly in alluvial fans, foothill plains, and river valleys (Mukhamedzhanov & Dzhabasov, 1988; Absametov, 2020).

The main aquifers and hydrogeological complexes of practical importance include (Figure 3):

- Quaternary alluvial sandy and gravel–pebble deposits in the valleys of the Irtysh, Ayagoz, and their tributaries;
- Small alluvial cones and tectonic depressions;
- Cretaceous and Paleogene sandy deposits of the Nizhnevartovsk–Petropavlovsk Basin;
- Lower to Middle Paleozoic effusive–sedimentary and intrusive rocks that serve as fractured and fissured aquifers (Smolyar et al., 2002; Medeu, 2010).

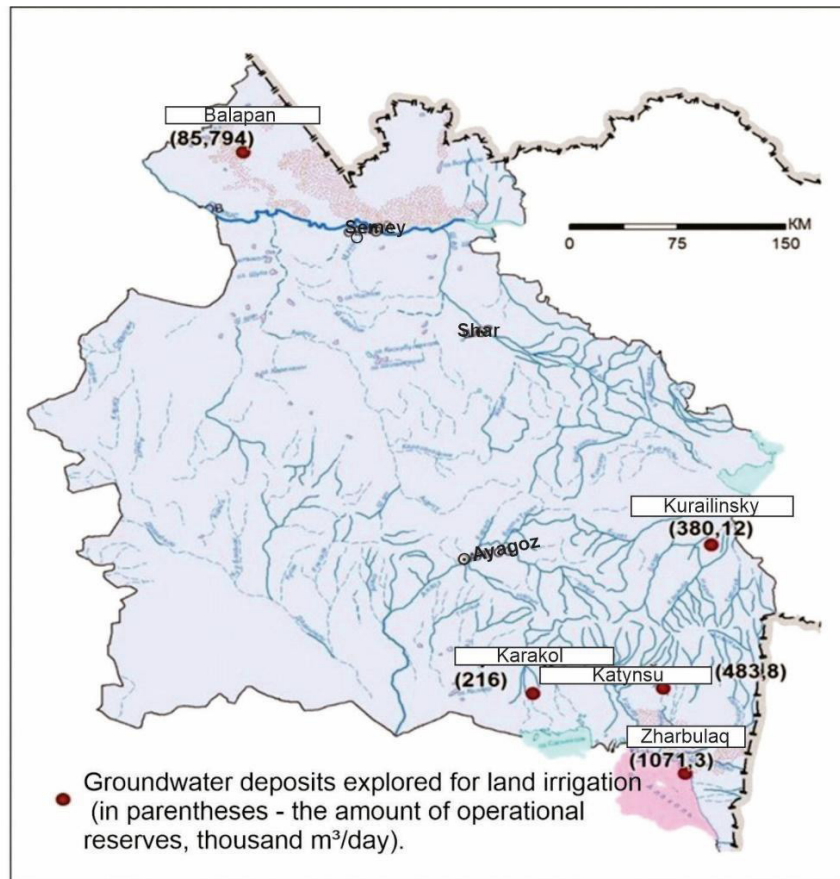


Figure 2 – Map of operational groundwater deposits in the Abai Region
Source: compiled by the author on data from the Committee for Water Resources (2020), Kazhydromet (2021), and the National Atlas of the Republic of Kazakhstan (2010)

According to national hydrogeological assessments, groundwater resources with salinity up to 3 g/L are estimated at 2.71 km³ per year, including 2.05 km³ with salinity below 1 g/L. Natural recharge is estimated at 2.74 km³ per year, while exploitable reserves reach 1.30 km³ annually, of which 1.17 km³ are suitable for drinking purposes (National Atlas of the Republic of Kazakhstan, 2010; Absametov, 2024). (Figure 3)

All lithological units contain groundwater of acceptable quality, with the highest yields associated with loose detrital formations (Smolyar et al., 2012b).

A special focus of this study is the Ayagoz River basin, which is both hydrologically and ecologically significant. The Ayagoz River originates on the northern slopes of the Tarbagatai

Mountains and flows approximately 492 km, draining a catchment area of 15,700 km² before discharging into Lake Balkhash. The basin encompasses diverse landscapes, ranging from mountainous terrain in the upper reaches to semi-desert and steppe zones downstream. It is characterized by chestnut soils, an average discharge of 8.8 m³/s, and suspended sediment loads reaching up to 0.8 kg/s (ile-balkhash.kz, n.d.; Kazhydromet, 2021).

Compared to other intermittent rivers in the region, the Ayagoz River exhibits greater seasonal variability and hydrological activity, making it a representative case for analyzing surface-groundwater interactions, sediment transport, and water management challenges in the semi-arid and arid zones of Kazakhstan (FAO, 2016).

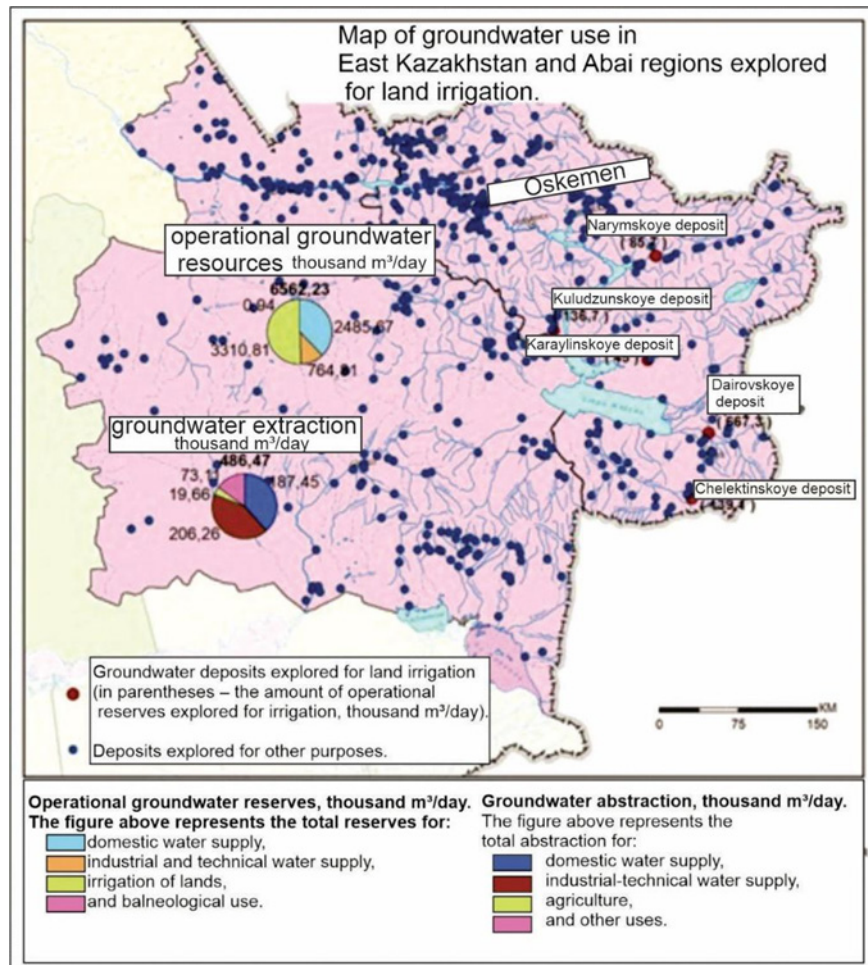


Figure 3 – Map of groundwater use in East Kazakhstan and Abai, explored for irrigation
Source: compiled by the author based on data from the Committee for Water Resources (2020), Kazhydromet (2021), and GIS analysis

This combination of climatic, geological, and hydrological diversity provides favorable conditions for long-term monitoring and analysis of water resources in Eastern Kazakhstan and underscores the region's importance for developing groundwater-based climate adaptation strategies.

Materials and methods

The methodological framework of this study was designed to assess the hydrochemical characteristics, infiltration capacity, and groundwater resource potential in Eastern Kazakhstan and the Abai Region, with a focus on evaluating their suitability for Managed Aquifer Recharge (MAR) implementation. The workflow integrates hydrochemical, hydrological, and field-based infiltration analyses to identify optimal locations for MAR pilot projects.

The overall framework of the study is illustrated in Figure 4.

The primary objective of the study was to determine groundwater quality and soil permeability to support the selection of potential MAR sites suitable for irrigated agriculture and sustainable water resource management. Both laboratory and field-based approaches were employed to quantify recharge potential and assess the technical feasibility of artificial aquifer replenishment as a climate adaptation tool. Groundwater samples were collected from wells and springs distributed across the study area. Laboratory analyses were performed to determine the concentrations of major ions—calcium (Ca^{2+}), magnesium (Mg^{2+}), sodium (Na^+), potassium (K^+), bicarbonate (HCO_3^-), sulfate (SO_4^{2-}), and chloride (Cl^-). The results were processed using AquaChem software and interpreted through Piper

and Durov diagrams to identify hydrochemical facies and classify groundwater types. The analysis provided insight into groundwater mineralization, pH balance, and overall chemical stability, which are crucial for evaluating the safety and suitability of groundwater for both recharge and irrigation purposes. To determine the sustainability of local aquifers, the study calculated the natural (V_n) and elastic (V_e) reserves, sustainable yield (Q_s), and the provi-

sion coefficient (K_{obes})—the ratio between available groundwater reserves and current abstraction levels. Sites where $K_{obes} > 1$ were considered hydrologically sustainable and potentially suitable for controlled recharge operations. This stage provided a quantitative foundation for evaluating the long-term capacity of aquifers to receive additional recharge without causing overexploitation or degradation of groundwater quality.

Materials and Methods Framework of the Study

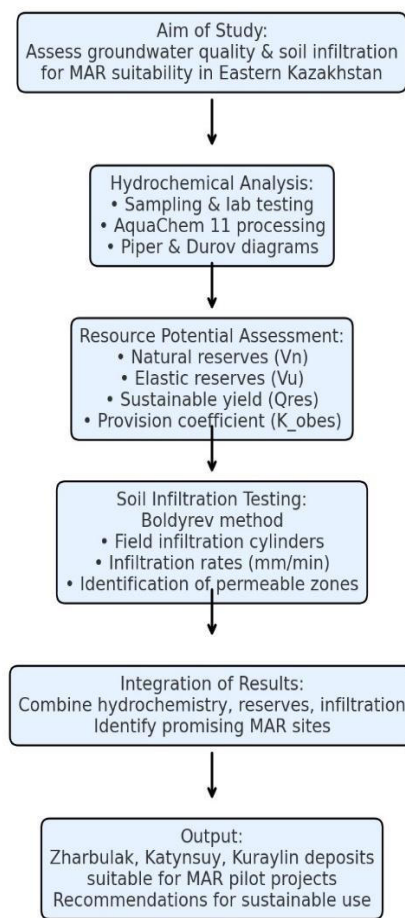


Figure 4 – Research methodology

Source: compiled by the author based on literature review and field data analysis

Field infiltration experiments were conducted using the Boldyrev method, which employs double-ring infiltration cylinders installed at representative points across the study sites. Measurements of infiltration rates (mm/min) were recorded to assess the permeability of surface and subsurface layers. The highest infiltration capacities were observed in

alluvial cones, sand-gravel deposits, and river terrace zones, indicating that these geological formations are particularly favorable for recharge through infiltration-based MAR systems.

All hydrochemical, hydrological, and infiltration datasets were integrated using GIS-based spatial analysis to delineate areas with the highest

recharge potential. The integrated results identified three priority zones—Zharbulak, Katynsu, and Kuraylin—as optimal locations for MAR pilot implementation. These sites exhibit chemically stable groundwater, adequate aquifer reserves, and favorable soil infiltration characteristics. The adopted multi-stage methodology demonstrated the effectiveness of combining field-based infiltration experiments, hydrochemical assessment, and quantitative groundwater evaluation for identifying MAR potential under arid and semi-arid conditions. This approach provides a robust scientific foundation for the expansion of MAR practices in Kazakhstan, contributing to sustainable groundwater management, enhanced irrigation efficiency, and improved resilience to water scarcity and climate variability.

Hydrochemical Analysis and Data Processing

Hydrochemical data were processed using AquaChem 11 (Waterloo Hydrogeologic, Canada),

a software package widely used in hydrogeological and hydrochemical studies. Laboratory results of groundwater samples were entered into the software database for verification, consistency checks, and interpretation.

The analytical workflow included the following steps:

- Quality control – recalculation of ion balance and validation of laboratory analyses.
- Determination of total dissolved solids (TDS) to assess the degree of mineralization.
- Classification of groundwater types based on major ion composition.
- Visualization of hydrochemical facies, including:
 - Piper diagram for identifying the relative proportions of major cations (Ca^{2+} , Mg^{2+} , $\text{Na}^{+}+\text{K}^{+}$) and anions (Cl^{-} , SO_4^{2-} , $\text{HCO}_3^{-}+\text{CO}_3^{2-}$) (Figure 5).
 - Durov diagram for comprehensive evaluation of macro-component composition, mineralization levels, and pH.

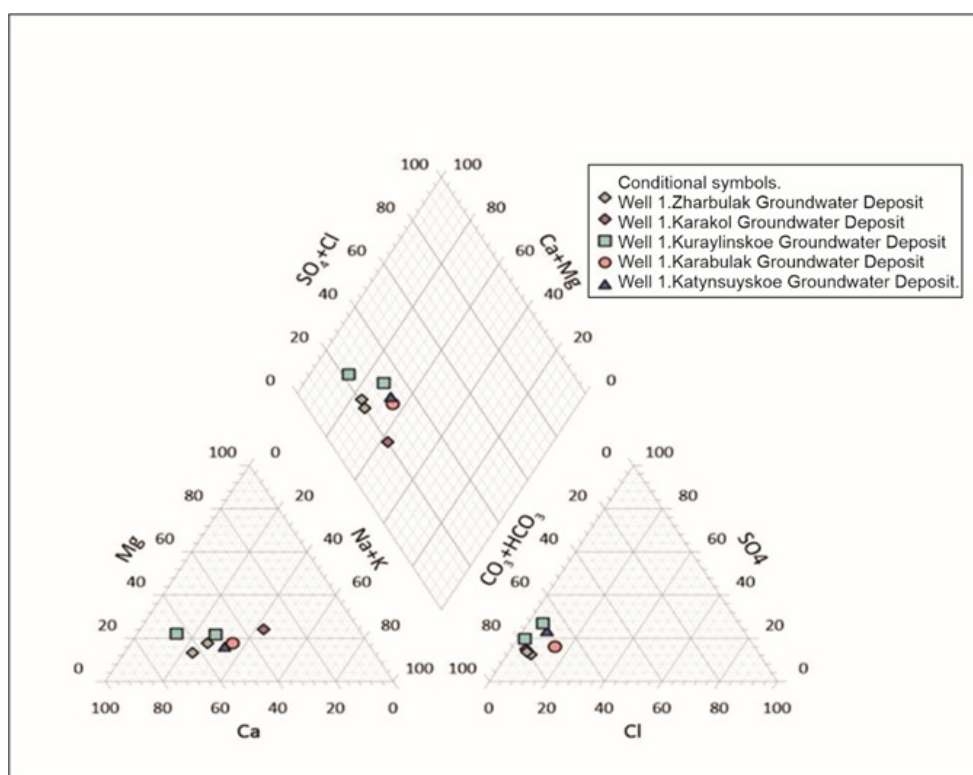


Figure 5 – Piper diagram of groundwater chemistry in the Abai Region
Source: compiled by the author based on hydrochemical data from Kazhydromet (2021) and field sampling results (2023)

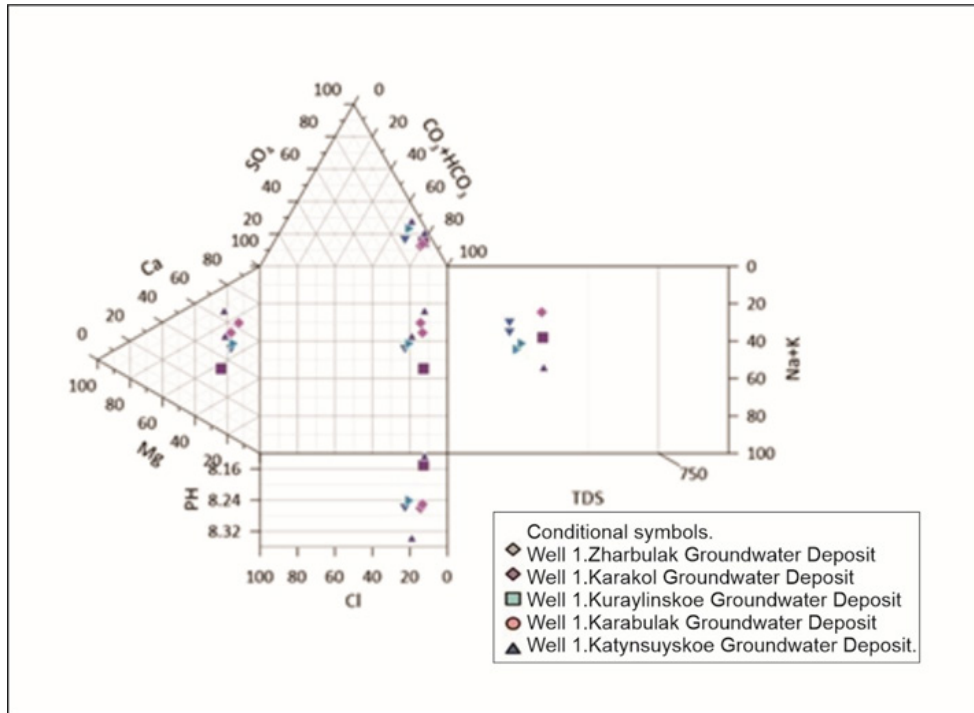


Figure 6 – Hydrochemical classification diagrams of groundwater deposits in the Abai Region
Source: compiled by the author based on hydrochemical monitoring data from Kazhydromet (2021) and the National Atlas of the Republic of Kazakhstan (2010)

Resource Potential Assessment and Provision Indicator Calculation

To evaluate the operational reserves of groundwater and identify sites suitable for MAR implementation, the following formulas were applied:

Calculation of natural (storage) reserves by the formula:

$$V_n = FH\mu \quad (1.1)$$

where:

- V_n – natural (storage) reserves, m^3 ;
- F – area within the influence contour, m^2 ;
- H – average aquifer thickness, m ;
- μ – specific yield of the rocks.

Calculation of elastic natural reserves for confined waters by the formula:

$$V_u = \mu FH_{av} \quad (1.2)$$

where:

- V_u – elastic reserves, m^3 ;
- μ – elastic yield;
- F – aquifer area, m^2 ;
- H_{av} – average head above the aquifer roof, m .

Calculation of water intake based on natural reserves without recharge by the formula:

$$Q_{res} = \frac{a \cdot V_{res}}{t} \quad (1.3)$$

where:

- Q_{res} – water intake from natural reserves, m^3/day ;
- V_{res} – volume of natural reserves, m^3 ;
- a – extraction coefficient (0.3 to 0.5);
- t – exploitation period, days.

The calculation results were compiled into a summary table (Table A1), providing detailed characteristics of each GWD by mineralization, reserve volume, and provision.

The aggregated data from multiple groundwater deposits in the Abay region reveals significant groundwater reserves. The key findings are as follows:

Total Operational Resource Volume (Qobes): 25.89 m^3/s

Total Natural Resource Availability: 2237.0 thousand m^3/day

Total Coefficient of Availability (Kobes): 1.79

This indicates that the Abay region has substantial groundwater resources available for use, with efficient extraction practices currently in place. The relatively high Kobes's coefficient suggests that the natural resources exceed the operational requirements, offering a cushion for sustainable water management in the region.

General Observations

Mineralization Levels: The mineralization levels across all deposits in both East Kazakhstan and Abay regions are within acceptable limits (ranging from 0.1 to 1.2 g/L). This indicates that the ground-

water is of good quality, requiring minimal treatment before use.

The findings highlight the importance of sustainable groundwater management strategies to maintain this balance, avoid over-extraction, and secure long-term availability for irrigation and drinking purposes.

Soil Infiltration Assessment (Boldyrev Method)

To complement hydrochemical and reserve assessments, the Boldyrev method was applied to evaluate soil infiltration capacity and determine the suitability of recharge sites for MAR (Figure 7).



Figure 7 – Boldyrev method on Abay region

Source: compiled by the author

Field measurements were conducted using infiltration cylinders.

Procedure: water was poured into soil plots, and the absorption rate was measured over time.

Calculation: infiltration coefficient (mm/min or cm/h) was determined for each site.

Interpretation: soils with higher permeability (alluvial fans, sandy-gravel deposits) were identified as optimal for MAR projects.

Decryption of the method

This method provided an additional hydrological dimension to the study, allowing the selection of recharge zones with favorable soil conditions.

Results and Discussion

The analysis of groundwater availability coefficients (Kobes) in the Abai Region showed

values ranging from 1.09 to 4.03, indicating that groundwater reserves in several deposits exceed current extraction volumes. Such values suggest a stable water balance and significant potential for implementing Managed Aquifer Recharge (MAR) technologies aimed at restoring and maintaining groundwater reserves. The most promising sites for pilot MAR projects include the Zharbulak (Kobes = 1.86), Katynsu (Kobes = 1.50), and Kurailin (Kobes = 1.79) deposits. Their geological structures, composed of Quaternary and alluvial sediments with high permeability, provide favorable conditions for natural infiltration and groundwater storage. Furthermore, these sites are characterized by low groundwater mineralization (0.2–0.8 g/L), which indicates good water quality and the possibility of safe recharge without risking deterioration of the hydrochemical composition of aquifers. This

factor is particularly important since both the quality of recharge and the receiving water determine the overall efficiency and long-term sustainability of MAR systems. The use of clean, low-mineralized water prevents clogging of infiltration structures, mineral precipitation, and soil salinization, while also preserving the natural balance between surface and groundwater systems.

Hydrochemical analysis of samples collected from five monitoring points confirmed that groundwater in the region has high quality and stable chemical properties. The waters are predominantly of the calcium–magnesium–bicarbonate type, typical of naturally low-mineralized groundwater that has not been significantly affected by anthropogenic influences. Mineralization does not exceed 750 mg/L, and the pH values range between 8.16 and 8.32, corresponding to a slightly alkaline environment. This chemical composition indicates a natural origin of groundwater, balanced interaction with host rocks, and the absence of industrial or agricultural contamination. The waters demonstrate high buffering capacity, chemical stability, and suitability for drinking, irrigation, and general agricultural use. For MAR applications, this is a crucial factor, as water quality directly affects infiltration efficiency, aquifer condition, and the preservation of filtration capacity. If water with high concentrations of suspended solids, iron, organic compounds, or salinity is used for recharge, it can lead to clogging of infiltration zones, decreased permeability, and potential aquifer contamination. Therefore, strict control over the quality of both surface and groundwater used for MAR is essential. The parameters of groundwater in the Abai Region meet international standards, making the area particularly favorable for implementing such technologies.

Field infiltration tests conducted using the Boldyrev method helped evaluate the soils' ability to absorb and transmit water. The results showed that the soils of the study sites possess moderate to high permeability, with infiltration coefficients ranging from 3.5 to 6.8 mm/min. The most favorable results were recorded in alluvial fan and sand–gravel deposits, where the structure of the sediments promotes downward water movement and accumulation in aquifers. The high filtration capacity of the sediments, combined with low water mineralization, creates optimal conditions for natural groundwater recharge. Furthermore, the geomorphological characteristics of the terrain – gently sloping valleys and flat areas – promote the accumulation of meltwater

and floodwater, which can be directed into specially designed infiltration basins or recharge ponds. Thus, the natural conditions of the Abai Region provide a foundation for developing environmentally safe and economically viable MAR systems.

The combination of hydrochemical, hydrogeological, and infiltration data demonstrates that the selected sites possess the necessary characteristics for pilot MAR implementation. The Zharbulak, Katynsu, and Kurailin deposits can serve as key research and demonstration sites for refining artificial groundwater recharge methods. On a broader scale, MAR implementation in the Abai Region will contribute to enhancing the resilience of regional water resources. This technology allows the storage of excess melt and floodwater during spring for later use in maintaining groundwater levels during dry seasons. Such an approach is particularly relevant for agricultural areas, where water availability directly affects crop yields and economic stability.

In addition, MAR has an important environmental function – it can reduce flooding risks, restore depleted aquifers, and prevent land degradation caused by salinization or erosion. According to international research (Dillon et al., 2019; Maliva, 2014), similar systems have been successfully implemented in India, Australia, California, and Southern Europe, where they contribute not only to groundwater recovery but also to the improvement of entire watershed water balances.

Given increasing climate variability and growing water scarcity in Kazakhstan, MAR technologies are recognized as one of the most promising tools for climate adaptation. In arid and semi-arid regions where surface water is limited and highly seasonal, managed recharge systems can stabilize water balances, ensure continuous water supply, and prevent aquifer depletion. The key condition for successful MAR operation remains the quality of recharge water. Only by meeting hydrochemical and sanitary standards can the natural structure of aquifers be preserved and their contamination or degradation prevented. This requires the development of monitoring systems, regular sampling, and analysis of both chemical (mineralization, ion composition, pH) and physical (turbidity, temperature, color) parameters.

In the context of the Abai Region, the presence of high-quality surface and groundwater creates unique conditions for demonstrating best practices of MAR in Central Asia. The use of these natural advantages will not only improve the regional water

balance but also strengthen Kazakhstan's participation in international initiatives for sustainable water management and climate adaptation.

In conclusion, the conducted study confirms that the hydrogeological and hydrochemical conditions of the Abai Region are highly favorable for the implementation of MAR technologies. The combination of low mineralization, stable pH, high permeability of sediments, positive groundwater availability coefficients, and excellent water quality creates the foundation for successful pilot projects. The introduction of MAR systems will not only promote sustainable water use but also enhance climate and food security in the region. Maintaining high water quality during recharge and storage is essential for the long-term effectiveness of MAR and represents a key component of environmentally responsible water management in Kazakhstan climate and environmental stability in eastern Kazakhstan.

Conclusions

This study set out to evaluate the quality of groundwater and the infiltration properties of soils in Eastern Kazakhstan with the goal of identifying opportunities for Managed Aquifer Recharge (MAR). The results show that groundwater in the Abai Region is of decent quality, with low mineralization and stable chemical composition, making

it suitable for both irrigation and domestic use. At the same time, the application of the Boldyrev infiltration method confirmed that soils in alluvial and sandy-gravel formations possess sufficient permeability to support recharge operations.

By combining hydrochemical assessments with infiltration testing, the study identified the Zharbulak, Katynsuy, and Kuraylin deposits as promising sites for MAR implementation. These areas demonstrate favorable conditions in terms of water quality, aquifer reserves, and infiltration capacity, providing a reliable basis for future pilot projects.

The findings underline the importance of systematic monitoring and water quality management to safeguard groundwater from contamination and ensure long-term sustainability. More broadly, the integration of MAR into Kazakhstan's water management framework can strengthen agricultural productivity, secure drinking water supplies, and enhance resilience to droughts and climate variability. The Ayagoz River basin, in particular, offers a persuasive case for advancing MAR as part of a climate-adaptive strategy for sustainable groundwater use.

This research was conducted within the framework of the Kazakh Ministry of Science grant #BR27197639 «Flood-drought mitigation innovations with managed aquifer recharge hydrogeological strategies for the Zhambyl, Almaty, Zhetysay, Abay, and East Kazakhstan regions».

References

- Absametov M. (2023) Groundwater Utilization and Management Strategies. (In English)
- Absametov R. (2020) Groundwater Potential and Utilization in Kazakhstan: Challenges and Opportunities. – Almaty: National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan. (In English)
- Absametov R. (2024) Recent Developments in Groundwater Governance in Kazakhstan // *Journal of Water Resource Management*. – Vol. 12, No. 2. – P. 45–59. (In English)
- Adenova D., Sarsekova D., Absametov M., Murtazin Y., Sagin J., & Trushel L. (2024) Groundwater for Sustainable Development // *Sustainability*. – DOI: 10.3390/su16114597. (In English)
- Adar E. et al. (2012) Water Recycling and MAR Applications in Israel. (In English)
- Bouwer H. (2002) Artificial Recharge of Groundwater: Hydrogeology and Engineering // *Hydrogeology Journal*. – Vol. 10, No. 1. – P. 121–142. (In English)
- Bekkulova Z., Smolyar Y., & Absametov R. (2021) Groundwater Management and Institutional Challenges in Kazakhstan // *Water Resources and Environmental Sustainability*. – Vol. 8, No. 3. – P. 112–127. (In English)
- California Department of Water Resources. (2018) Flood-MAR: Using Floodwater for Managed Aquifer Recharge. – Sacramento. (In English)
- Committee for Water Resources. (2020) Water Resources of Kazakhstan: Current Use and Future Prospects. – Ministry of Ecology, Geology and Natural Resources of the Republic of Kazakhstan. (In English)
- da Silva R. et al. (2015) Managed Aquifer Recharge in Brazil: Agricultural Applications. (In English)
- Dillon P. (2005) Future Management of Aquifer Recharge // *Hydrogeology Journal*. – Vol. 13, No. 1. – P. 313–316. (In English)
- Dillon P., Pavelic P., Page D., Beringen H., & Ward J. (2009) Aquifer Recharge Strategies in Australia: Case Studies. (In English)

- FAO. (2016) AQUASTAT Country Profile – Kazakhstan. – Rome: Food and Agriculture Organization of the United Nations. (In English)
- Freeze R. A., & Cherry J. A. (1979) Groundwater. – Englewood Cliffs, NJ: Prentice Hall. (In English)
- Greskowiak J. et al. (2018) Managed Aquifer Recharge for Drinking Water Protection in France. (In English)
- Kazhydromet. (2021) Hydrological Yearbook of Kazakhstan: River Flow Monitoring Data. – Almaty: National Hydrometeorological Service. (In Russian)
- Maliva R. G. (2020) Managed Aquifer Recharge: A Review. – Springer Hydrogeology. (In English)
- Medeu A. R. (Ed.). (2010) National Atlas of the Republic of Kazakhstan: Natural Conditions and Resources. – Vol. I. – Almaty. – 120 p. (In Russian)
- Mukhamedjanov M., Sagin J., & Nurgaziyeva A. (2018) NEWS of the National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan. – DOI: 10.32014/2018.2518-170x.4. (In Russian)
- Mukhamedzhanov R., & Dzhabasov S. (1988) Groundwater Reserves and Irrigation Potential in Kazakhstan // Soviet Hydrology. – Vol. 14, No. 1. – P. 67–78. (In Russian)
- National Atlas of the Republic of Kazakhstan. (2010) Hydrogeological and Groundwater Resources Assessment of Kazakhstan. – Astana: Ministry of Natural Resources. (In Russian)
- Page D., Vanderzalm J., Barry K., & Dillon P. (2010) A Risk-Based Approach to Water Quality Management for Aquifer Recharge // Water Science and Technology. – Vol. 62, No. 9. – P. 2110–2116. (In English)
- Schwinn M. et al. (2017) Managed Aquifer Recharge in German River Valleys: The Cases of the Elbe and Rhine. (In English)
- Smolyar V. A., & Burov B. V. (2002) Water Resources of Kazakhstan (Surface and Groundwater, Current State). – Almaty: Gylm. (In Russian)
- Smolyar Y., Bekkulova Z., & Sydykov K. (2012a) Groundwater Resources in Central Asia: Utilization and Sustainability // Water Policy Journal. – Vol. 9, No. 2. – P. 55–73. (In English)
- Smolyar Y., Sydykov K., & Shlygina A. (2012b) Comparative Analysis of Groundwater Uses in Kazakhstan and Global Best Practices // International Journal of Water Resources. – Vol. 10, No. 1. – P. 88–101. (In English)
- Shtengelov V. (1988) Rational Conjunctive Water Use: Theory and Practice. (In Russian)
- Sprenger C. et al. (2017) MAR and Agricultural Sustainability: The Spanish Experience. (In English)
- Sydykov K., & Shlygina A. (1998) Sustainable Groundwater Management and Recharge Practices in Arid Regions of Central Asia // Water Science and Technology. – Vol. 3, No. 4. – P. 124–139. (In English)
- Taylor R. et al. (2013) Groundwater as a Resilient Resource: Climate and Food Security Perspectives // Nature Climate Change. – Vol. 3. – P. 374–379. (In English)
- United Nations. (2022) United Nations World Water Development Report 2022: Groundwater – Making the Invisible Visible. – Paris: UNESCO. (In English)
- World Health Organization (WHO). (2017) Guidelines for Drinking-Water Quality. – Geneva: World Health Organization. (In English)

Information about authors:

- Amanzholova Raushan Shapagatovna – MSc, Senior Lector of the Kazakh-British Technical University (Almaty, Kazakhstan, e-mail: r.amanzholova@kbtu.kz);*
- Rakhmetov Issa Kanatovich – PhD candidate, K.I. Satpayev Kazakh National Research Technical University, (Almaty, Kazakhstan, e-mail: issaraqmet@gmail.com);*
- Sagin Janay – PhD, Associate Professor of the Kazakh-British Technical University (Almaty, Kazakhstan, e-mail: j.sagin@kbtu.kz);*
- Onglassynov Zhuldyzbek Alikhanuly – PhD, Head of the Remote Sensing and GIS Laboratory, U.M. Akhmedsafin Institute of Hydrogeology and Geoecology (Almaty, Kazakhstan, e-mail: zhuldyzbek.onlasynov@mail.ru).*

Авторлар туралы мәлімет:

- Аманжолова Раушан Шапагатовна – магистр, Қазақстан-Британ техникалық университеті (Алматы, Қазақстан, e-mail: r.amanzholova@kbtu.kz);*
- Рахметов Иса Канатович – PhD докторант, Қ.И. Сәтбаев атындағы Қазақ ұлттық зерттеу техникалық университеті (Алматы, Қазақстан, e-mail: issaraqmet@gmail.com);*
- Сәгин Жанай – PhD, қауымдастырылған профессор, Қазақстан-Британ техникалық университеті (Алматы, Қазақстан, e-mail: j.sagin@kbtu.kz);*
- Оңласынов Жұлдызбек Әліханұлы – PhD, ГАЖ және ЖКЗ зертханасының меңгерушісі, У.М. Ахмедсафин атындағы гидрогеология және геоэкология институты (Алматы, Қазақстан, e-mail: zhuldyzbek.onlasynov@mail.ru).*

Сведения об авторах:

Аманжолова Раушан Шапагатовна – магистр Казахстанско-Британского технического университета (Алматы, Казахстан, e-mail: r.amanzholova@kbtu.kz);

Рахметов Иса Канатович – PhD-докторант Казахского национального исследовательского технического университета им. К.И. Сатпаева (Алматы, Казахстан, e-mail: issaraqmet@gmail.com);

Сагин Жанай – PhD, ассоц. профессор Казахстанско-Британского технического университета (Алматы, Казахстан, e-mail: j.sagin@kbtu.kz);

Оңласынов Жұлдызбек Әліханұлы – PhD, заведующий лабораторией дистанционного зондирования и ГИС АО «Институт гидрогеологии и геоэкологии имени У.М. Ахмедсафина» (Алматы, Казахстан, e-mail: zhuldyzbek.onlasynov@mail.ru).

Received: September 15, 2025

Accepted: November 28, 2025

4-бөлім
ГЕОЭКОЛОГИЯ

Section 4
GEOECOLOGY

Раздел 4
ГЕОЭКОЛОГИЯ

M.M. Yusifova^{1*} , T.T. Mamishova¹ , N.A. Sultanova² 

¹Baku State University, Baku, Azerbaijan

²Baku Slavic University, Baku, Azerbaijan

*e-mail: mehluge_yusifli@mail.ru

ASSESSMENT OF THE IMPACT OF COASTLINE DYNAMICS ON BIODIVERSITY USING REMOTE SENSING DATA IN THE GHIZIL-AGAJ BAY, AZERBAIJAN

Ghizil-Agaj Bay is a wetland of international importance located in the southeastern part of Azerbaijan and included in the Ramsar Convention list. Over the past 30 years, anthropogenic impacts on this ecosystem, along with natural factors, have intensified, leading to significant changes in the morphological and hydrological characteristics of the shoreline. The aim of this study is to assess the dynamics of the coastline in the Ghizil-Agaj Bay and to evaluate its impact on biodiversity. This study analysed shoreline dynamics from 2000 to 2024 using Landsat and Sentinel-2 imagery, Geographic Information Systems, and the Digital Shoreline Analysis System. Results revealed significant spatiotemporal shoreline changes, with maximum progradation of +570 m/year and maximum erosion of –4 m/year. Between 2000 and 2024, approximately 240 km² of land was gained, while 0.56 km² of water area was lost. These changes influenced wetland ecosystem extent and quality, causing shifts in avifauna and biodiversity: migratory water bird nesting and feeding habitats declined, total water bird numbers decreased by approximately 28%, while terrestrial bird species nesting on newly emerged land increased by approximately 12%. These findings can serve as a basis for wetland management policies under climate change conditions.

Keywords: shoreline dynamics, biodiversity, remote sensing, digital shoreline analysis system, wetlands.

М.М. Юсифова^{1*}, Т.Т. Мамишова¹, Н.А. Султанова²

¹Баку мемлекеттік университети, Баку, Әзірбайжан

²Баку славян университети, Баку, Әзірбайжан

*e-mail: mehluge_yusifli@mail.ru

Әзірбайжанның Гызыл-Агаж шығанағындағы қашықтан зондтау деректерін пайдаланып, жағалау жолы динамикасының биоәртүрлілікке әсерін бағалау

Гызыл-Агаж шығанағы – Әзірбайжанның оңтүстік-шығыс бөлігінде орналасқан және Рамсар конвенциясының тізіміне енгізілген халықаралық маңызы бар батпақты жер. Соңғы 30 жылда бұл экожүйеге антропогендік әсерлер табиғи факторлармен қатар күшейіп, жағалау сызығының морфологиялық және гидрологиялық сипаттамаларында айтарлықтай өзгерістерге әкелді. Бұл зерттеудің мақсаты – Гызыл-Агаж шығанағындағы жағалау сызығының динамикасын бағалау және оның биоәртүрлілікке әсерін бағалау. Бұл зерттеу Landsat және Sentinel-2 суреттерін, географиялық ақпараттық жүйелерді және сандық жағалау сызығын талдау жүйесін пайдалана отырып, 2000 жылдан 2024 жылға дейінгі жағалау сызығының динамикасын талдады. Нәтижелер жағалау сызығының айтарлықтай кеңістіктік-уақыттық өзгерістерін көрсетті, ең жоғары проградация жылына +570 м және ең жоғары эрозия жылына –4 м болды. 2000 және 2024 жылдар аралығында шамамен 240 км² жер игерілді, ал 0,56 км² су ауданы жоғалды. Бұл өзгерістер батпақты экожүйенің көлемі мен сапасына әсер етіп, құс фаунасы мен биоәртүрліліктің өзгеруіне әкелді: қоныс аударатын су құстарының ұя салу және қоректену ортасы азайды, су құстарының жалпы саны шамамен 28%-ға азайды, ал жаңадан пайда болған жерлерде ұя салатын құрлықтағы құс түрлері шамамен 12%-ға өсті. Бұл нәтижелер климаттың өзгеруі жағдайында батпақты жерлерді басқару саясатының негізі бола алады.

Түйін сөздер: жағалау сызығының динамикасы, биоәртүрлік, қашықтықтан зондтау, сандық жағалау сызығын талдау жүйесі, батпақты жерлер.

М.М. Юсифова^{1*}, Т.Т. Мамишова¹, Н.А. Султанова²

¹Бакинский государственный университет, Баку, Азербайджан

²Бакинский славянский университет, Баку, Азербайджан

*e-mail: mehluqe_yusifli@mail.ru

Оценка влияния динамики береговой линии на биоразнообразие с использованием данных дистанционного зондирования в заливе Гызыл-Агадж, Азербайджан

Залив Гызыл-Агадж – водно-болотное угодье международного значения, расположенное в юго-восточной части Азербайджана и включенное в список Рамсарской конвенции. За последние 30 лет антропогенное воздействие на эту экосистему, наряду с природными факторами, усилилось, что привело к значительным изменениям морфологических и гидрологических характеристик береговой линии. Целью данного исследования является оценка динамики береговой линии в заливе Гызыл-Агадж и его влияния на биоразнообразие. В данном исследовании была проанализирована динамика береговой линии с 2000 по 2024 год с использованием снимков Landsat и Sentinel-2, геоинформационных систем и системы цифрового анализа береговой линии. Результаты выявили значительные пространственно-временные изменения береговой линии с максимальным выдвиганием +570 м/год и максимальной эрозией –4 м/год. В период с 2000 по 2024 год было приобретено около 240 км² суши, в то время как было потеряно 0,56 км² водной площади. Эти изменения повлияли на протяженность и качество экосистемы водно-болотных угодий, вызвав сдвиги в орнитофауне и биоразнообразии: сократились места гнездования и кормления перелетных водоплавающих птиц, общая численность водоплавающих птиц сократилась примерно на 28%, в то время как количество наземных видов птиц, гнездящихся на вновь образовавшихся землях, увеличилось примерно на 12%. Эти результаты могут послужить основой для разработки политики управления водно-болотными угодьями в условиях изменения климата.

Ключевые слова: динамика береговой линии, биоразнообразие, дистанционное зондирование, цифровая система анализа береговой линии, водно-болотные угодья.

Introduction

Almost half of the world's population lives near ocean and sea coasts. The position of the shoreline changes under the influence of numerous natural and anthropogenic factors. Recently, due to global climate change and population growth, the issue of geomorphological changes in shorelines has become particularly acute. Therefore, assessing and mapping shoreline dynamics is one of the most important factors in achieving sustainable development goals and urban planning (Darvish, 2024). It should be noted that many studies are currently being conducted around the world on this issue.

Senthilkumar et al. (2025) present an integrated approach to high-resolution coastal habitat mapping using advanced image segmentation techniques and remote sensing indices for the coastal region of Torres, Brazil. The study uses the InVEST model to estimate the habitat quality index (HQI) for 2024 and project habitat quality changes by 2034.

Wazwaz and Bait-Suwailam (2025) examine temporal changes in the coastline of Dhofar Governorate in Oman using remote sensing and geographic information systems (GIS). Satellite imagery data from various sensors, such as TM, ETM+, and OLI, were used to monitor shoreline fluctuations and as-

sess coastal erosion risks. The use of automated methods helps accurately determine the coastline's position and quantify changes over time.

Given that wetland mapping research in South America is limited, and there is currently no available map providing comprehensive information on the distribution and categories of wetlands in the region. To address this issue, Sun and his team (2024) used Sentinel-1, Sentinel-2, and SRTM data and developed a sampling method and a wetland mapping method using a set of multi-source characteristics, such as optical, polarization, and shape characteristics, for wetlands in South America. They created a 10-meter-resolution wetland map based on the Google Earth Engine (GEE) platform. They found that Brazil, Argentina, Venezuela, Bolivia, and Colombia have the largest wetland areas, with Brazil and Colombia having the widest diversity of wetland categories.

Coasts are subject to multiple natural hazards, which are increasing nowadays. Coastal flooding and erosion are some of the most common hazards affecting coastlines. Being aware of the vulnerability of coasts is important to achieve integrated coastal management. The coastal vulnerability index (CVI) is a common index used to assess coastal vulnerability because it is easily calculated. Tsokos

et al. (2025) developed a ModelBuilder model using ArcGIS Pro (ESRI) tools. Using this model, they automated most of the CVI calculation steps and applied the ModelBuilder model to the northern Peloponnese.

Coastlines are important basic geographic features, and mapping their spatial and attribute changes can aid in coastal zone monitoring, modeling, and management. Thanks to advances in remote sensing for Earth observation, recent studies of coastline extraction can reveal detailed changes in ocean-land interactions. Suna et al. (2023) reviewed key milestones in remote sensing coastline extraction, identified coastlines that can be applied in various applications, summarized the characteristics of coastline products, and analyzed the principles, advantages, and disadvantages of these methods, development directions, and related challenges.

A study by Palanikkumar et al. (2025) examines shoreline dynamics along the coastal region of Campeche from 1974 to 2024 using machine learning methods to analyze long-term trends in erosion and accretion. The study spans 50 years and uses satellite imagery, historical maps, remote sensing, and GIS to assess shoreline changes and their geological significance. The results show that 93% of the coastline experiences accretion, while 7% experiences erosion. The Zona Centra and Koben regions experience significant accretion, while Southern San Lorenzo faces the highest erosional activity. Understanding these dynamics is crucial for coastal management and mitigation strategies.

The spatiotemporal distribution and the utilization types of shorelines had changed a lot, along with the advancement of the socioeconomics of the countries around the South China Sea since 1980. However, the changes in shoreline characteristics for a long time around the whole South China Sea under anthropogenic influence remain uncertain. A study by Cui and his team (2022) using Landsat and high-resolution satellite imagery tracked changes in the spatial distribution and type of coastlines around the South China Sea from 1980 to 2020. Additionally, the possible reasons for the shoreline changes around the South China Sea were analyzed.

Ghizil-Agaj Bay, located in southeastern Azerbaijan, represents one of the most ecologically valuable wetland complexes of the Caspian region. Covering an area of more than 99,000 ha, the bay and its surrounding ecosystems have been designated as a Ramsar site of international importance since 1976 and, since 2018, form the basis of Ghizil-Agaj National Park (Ramsar Convention Secretariat, 2016). This area is distinguished by its high biodi-

versity and serves as a critical stopover and wintering ground for migratory waterbirds along the Central Asian flyway (UNEP-WCMC, 2017). Shallow lagoons, reed beds, and intertidal zones provide essential habitats not only for birds, but also for fish, molluscs, amphibians, reptiles, and numerous plant species, including several that are endangered or listed in the Red Book of Azerbaijan (Ministry of Ecology and Natural Resources of Azerbaijan, 2023).

Despite its ecological significance, the bay is subject to substantial environmental pressures. Natural drivers such as fluctuations in the Caspian Sea level and sediment inflow from rivers interact with anthropogenic stressors including poaching, uncontrolled grazing, and land use change. These processes have significantly transformed shoreline morphology over the last decades, leading to both erosion and accretion in different sectors of the bay. Such changes disrupt wetland habitats, reduce the extent of aquatic vegetation, degrade fish spawning grounds, and limit the availability of feeding and nesting sites for migratory birds. For example, recent monitoring indicates a noticeable decline in waterbird populations, reflecting the broader ecological consequences of shoreline instability (UNDP, 2025).

Studies conducted in other Ramsar-listed wetlands demonstrate that shoreline dynamics are among the most important drivers of biodiversity change (Nicholls and Cazenave, 2010; Kuleli et al., 2011). However, in the Caspian Sea region, and particularly in Ghizil-Agaj Bay, there is still a lack of integrated research linking remote sensing-based shoreline change analysis with biodiversity monitoring. Previous investigations have either focused primarily on hydrological processes or addressed biodiversity separately, leaving a gap in understanding how geomorphological dynamics directly shape ecological patterns.

Recent advances in Remote Sensing (RS) and Geographic Information Systems (GIS) have opened new opportunities to address this gap. Satellite imagery from Landsat and Sentinel missions provides long-term and high-resolution data for shoreline monitoring, while analytical tools such as the Digital Shoreline Analysis System (DSAS) allow for quantitative assessment of erosion and accretion rates (Ozesmi and Bauer, 2002; Thieler et al., 2009; Gopinath et al., 2023). By combining these methods with ecological datasets, it is possible to evaluate not only the physical changes in shoreline configuration but also their ecological consequences, particularly for wetland-dependent biodiversity.

The aim of this study is therefore twofold: (1) to analyse shoreline changes in Ghizil-Agaj Bay from 2000 to 2024 using RS and GIS techniques, with a particular focus on the DSAS and Linear Regression Rate (LRR) method, and (2) to assess the impacts of these changes on biodiversity, with emphasis on avifauna populations. The findings are expected to contribute to the development of evidence-based conservation and management strategies for the Caspian coastal wetlands, supporting both national biodiversity goals and international commitments under the Ramsar Convention.

Initial Data and Research Methods

For this study, Landsat 5 TM, Landsat 7 ETM+, Landsat 8 OLI/TIRS, and Sentinel-2 MSI

satellite images were used as the primary data sources. Landsat imagery has a spatial resolution of 30 m, while Sentinel-2 provides 10–20 m resolution, allowing for improved shoreline delineation accuracy. Landsat scenes corresponding to the years 2000, 2005, 2010, 2021, and 2024 were analyzed, while Sentinel-2 imagery was particularly used for 2021 and 2024 to enhance spatial precision (Figure 1). The selection of these time intervals ensures continuity in temporal observations, enabling comparison of both historical and recent shoreline changes. To reduce seasonal effects such as vegetation growth, precipitation, or short-term water level fluctuations, only summer-season images were selected. This approach provides a more reliable assessment of long-term shoreline dynamics.

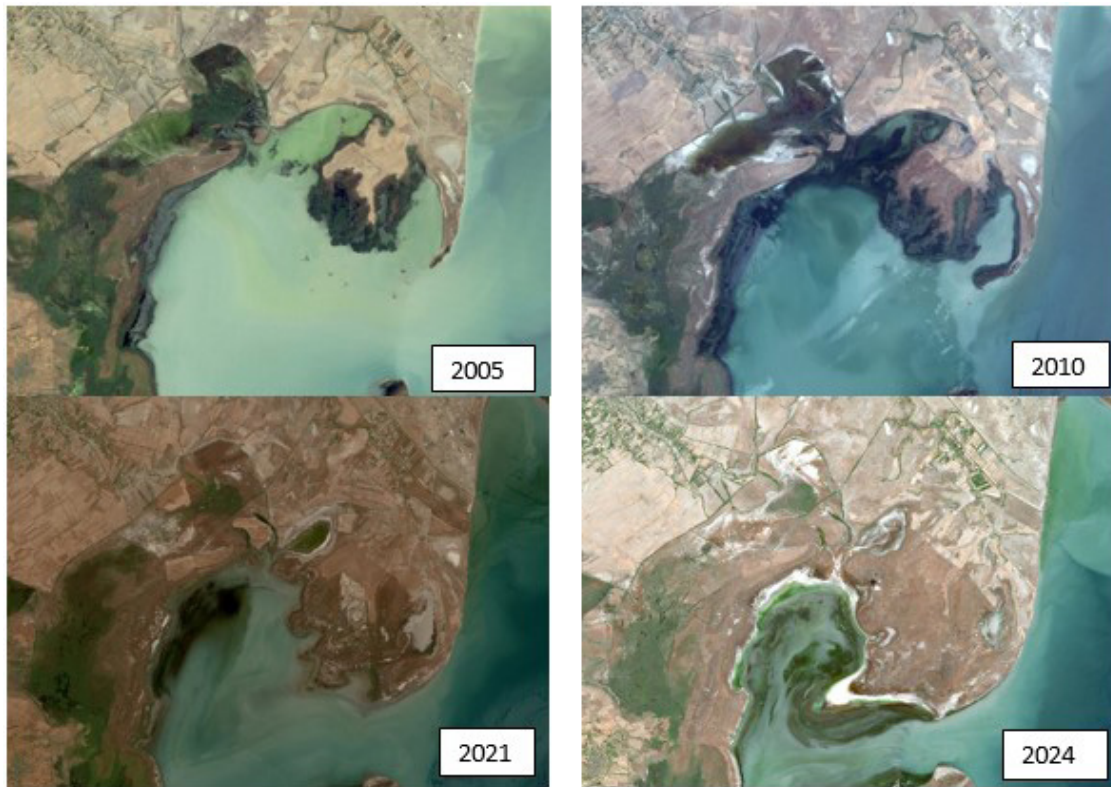


Figure 1 – Satellite imagery of Ghizil-Agaj Bay for selected years (2000, 2005, 2010, 2021, 2024), illustrating temporal continuity of data used in the analysis

Preprocessing of Satellite Images. All satellite images were subjected to radiometric and atmospheric corrections to minimize the effects of clouds, dust, and atmospheric disturbances. Landsat data were corrected using LEDAPS processing,

while Sentinel-2 imagery was preprocessed with the Sen2Cor algorithm. The images were then georeferenced to UTM projection (WGS 84 datum) and clipped to match the boundaries of the study area.

Shoreline Extraction and Digitization. Accurate shoreline delineation can be achieved using various spectral indices and classification methods. In this study, the Normalized Difference Water Index (NDWI) was employed due to its ability to effectively distinguish between water and land by comparing reflectance in the green and near-infrared (NIR) spectral bands (Xu, 2006). Alternative methods, such as the Modified NDWI (MNDWI) or the Automated Water Extraction Index (AWEI), could also be applied, but they are primarily more effective in urban environments or under conditions of strong cloud shadows. Since the study area is relatively unaffected by urbanization or intensive agriculture, the classical NDWI provided optimal results.

For classification, the Maximum Likelihood Classification (MLC) method was chosen. MLC estimates the probability of each pixel belonging to a particular class based on statistical likelihood, making it one of the most accurate methods for multi-class classification (Boak and Turner, 2005). Alternative approaches, such as Random Forest or Support Vector Machine, are more complex and require extensive training datasets (Gonzalez-Perez et al. 2022; Darwish, 2024). Given the limited availability of training samples in the study area, MLC was the most appropriate choice. NDWI effectively separates water bodies, while MLC optimizes the probability of pixel classification in multi-class scenarios. Together, these approaches enhance the precision of shoreline delineation (Xu, 2006).

The NDWI is calculated as follows:

$$NDWI = \frac{Green - NIR}{Green + NIR}$$

Where, Green represents reflectance in the green band (e.g., Band 3 in Landsat 8 and Sentinel-2), and NIR represents reflectance in the near-infrared band (e.g., Band 5 in Landsat 8, Band 8 in Sentinel-2).

NDWI values range from -1 to +1, with higher values indicating water presence. A threshold was applied to separate water from land. NDWI is widely used in various applications, including water resource management, hydrology, and land cover classification. It is particularly useful for monitoring temporal changes in water level, volume, and quality within water bodies (McFeeters, 1996).

Shoreline Change Analysis. The Digital Shoreline Analysis System (DSAS) was employed to quantitatively analyse shoreline changes. Approximately 450 transects were generated along the Ghizil-Agaj Bay shoreline, with each transect spaced at 500 m intervals. This configuration, considering both map scale and the extent of the study

area, ensures optimal coverage of spatial variability along the shoreline.

The Linear Regression Rate (LRR) method was applied to each transect. LRR provides the best-fit linear estimate of long-term shoreline change by considering all available shoreline data. Compared to other approaches, such as End Point Rate (EPR) or Net Shoreline Movement (NSM), LRR is regarded as more reliable because it accounts for the statistical analysis of all data points rather than only differences between two dates (Crowell et al., 1991; Dolan et al. 1991). The spatial resolution of satellite imagery used for shoreline delineation (30 m for Landsat, 10–20 m for Sentinel-2) introduces a precision error of approximately ± 1 pixel (10–30 m). Additional errors may arise from classification methods and seasonal water level fluctuations. Therefore, the potential variability in erosion and accretion rates obtained from DSAS analyses was considered to range between ± 5 –10 m/yr, enhancing the reliability of results and allowing for statistical uncertainty assessment.

Results and Discussion

Observations and comparative assessments indicate that recent fluctuations in the Caspian Sea level have significantly impacted the landscape-ecological conditions of Ghizil-Agaj Bay. Long-term sea level oscillations have altered the structural and spatial differentiation of coastal landscapes and ecosystems, fundamentally modifying ongoing natural processes. Until the late 1970s, relatively stable or declining sea levels led to acidification, decreased precipitation, and lowered groundwater levels, resulting in degradation and modification of existing marsh, marsh-lagoon, and marsh-meadow complexes. The transgression beginning in 1978 caused extensive flooding and erosion in several areas, including Ghizil-Agaj Bay and the Sara Peninsula. Marsh complexes previously present in these areas were submerged under seawater, hydro morphological activity increased, and groundwater levels rose. In recent years, the decline in Caspian Sea levels has again altered the shoreline of Ghizil-Agaj Bay, resulting in a reduction of the water area by 210 ha. These sea level fluctuations cause alternating expansions and contractions of dry land, the bay, and shallow areas, leading to dynamic changes in the bay's landscapes and ecosystems (Towards the conservation of biological diversity and ecologically sustainable socio-economic development, 2023).

Shoreline Dynamics. Results from the LRR analysis indicate that the shoreline of Ghizil-Agaj

Bay underwent significant spatial and temporal changes between 2000 and 2024. Maximum accretion along transects reached +576 m/yr, while maximum erosion was -7 m/yr.

By applying the Linear Regression Rate (LRR) method, the annual rate of change along the entire shoreline of Ghizil-Agaj National Park was determined (Figure 2).

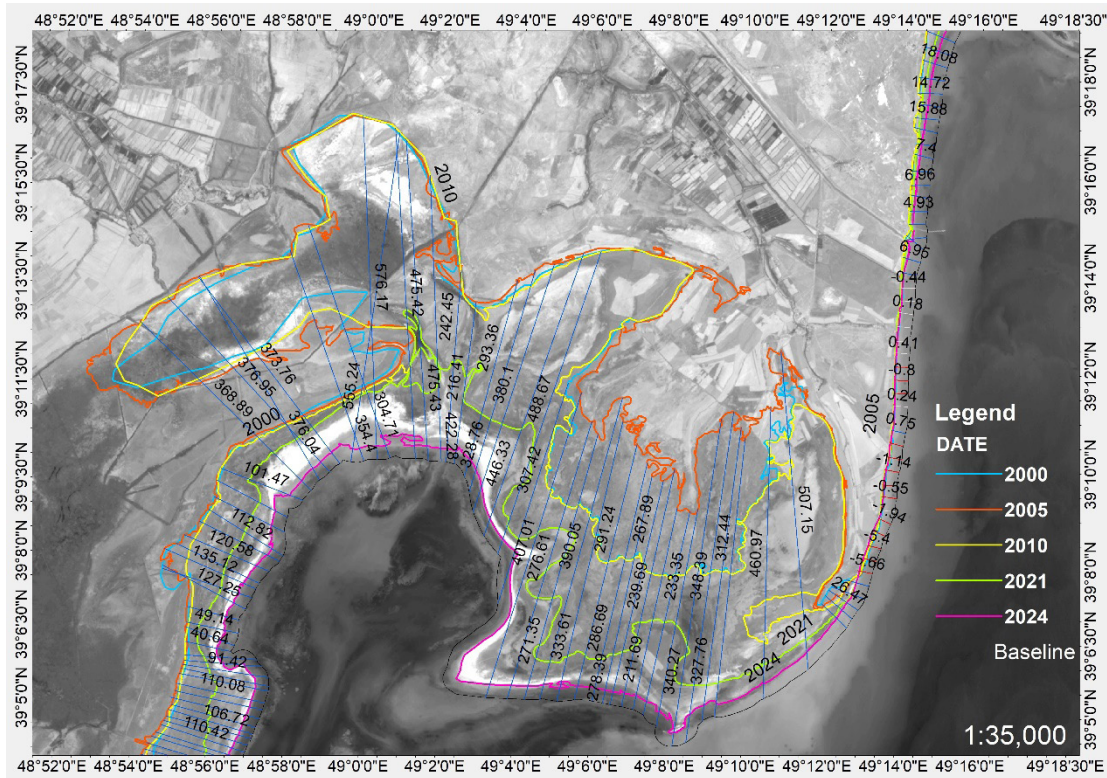


Figure 2 – Distribution of annual shoreline change rates (m/yr) along transects using the LRR method

Analyses based on DSAS and the LRR method indicate significant shoreline changes along Ghizil-Agaj Bay between 2000 and 2024. Transect-based results are as follows:

- Maximum accretion rate: +576 m/yr;
- Maximum erosion rate: -7 m/yr.

To evaluate the precision of these measurements, statistical analyses were performed. Errors arising from the spatial resolution of Landsat (30 m) and Sentinel-2 (10–20 m) imagery were considered, and 95% confidence intervals (CI) were calculated:

- Mean accretion: +315 m/yr (± 42 m/yr, 95% CI);
- Mean erosion: -3.4 m/yr (± 0.9 m/yr, 95% CI).

The analysis demonstrates that the observed shoreline changes are statistically significant ($p < 0.05$), confirming that these variations result from long-term geomorphological and hydrodynamic processes rather than random factors.

In the northern part of the bay, the shoreline has advanced seaward due to sediment accumulation and the expansion of deltaic areas, increasing the land area by up to 240 km². Conversely, erosion has been active along the upper boundaries of the bay, reducing the water area by 0.56 km². The net change is approximately 239.44 km², indicating an overall seaward advancement of the shoreline (Figure 3).

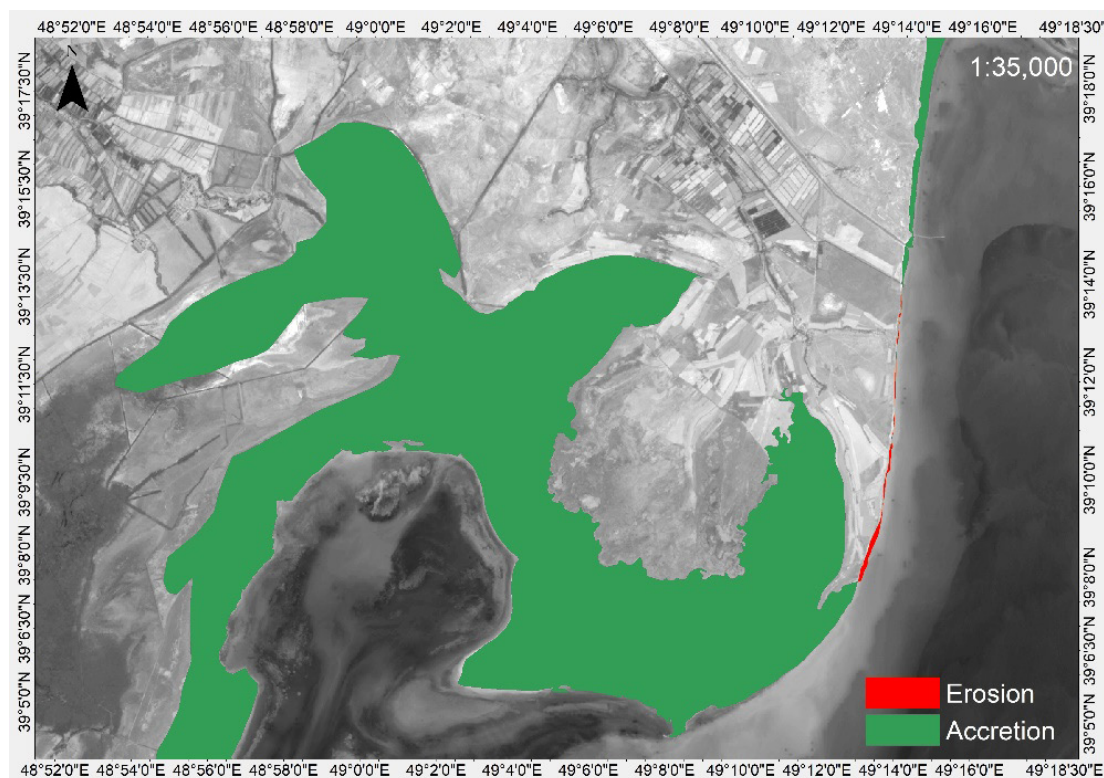


Figure 3 – Coastal land change dynamics in Ghizil-Agaj Bay from 2000 to 2024, showing areas of accretion and erosion derived from DSAS and LRR analyses

Study Limitations. The spatial accuracy of the satellite imagery was estimated to be ± 1 pixel based on the resolutions of Landsat (30 m) and Sentinel-2 (10–20 m). However, the results were not validated with ground truth data or alternative high-resolution datasets (e.g., drone surveys or topographic maps), which should be considered a limitation of this study. Consequently, interpretations of the presented shoreline change indicators should be made with caution, and future research should integrate broader-scale ground observations.

Impacts on Biodiversity. Seaward advancement of the shoreline has resulted in a reduction of shallow water and wetland areas. This process restricts the distribution of hydrophyte and halophyte vegetation and narrows habitats essential for water birds, such as *Phragmites australis* reed beds. Fish spawning grounds and benthic organism habitats have been significantly reduced. For migratory water birds, important feeding and resting sites have decreased, whereas the expansion of terrestrial areas has increased the number of ground-nesting bird species.

Weakening or complete loss of aquatic vegetation, combined with strong winds and ecological

changes, has caused many *Laridae* species (gulls, terns, etc.) to lose nesting opportunities in the Great Ghizil-Agaj Bay, redirecting primary breeding activity to the South Small Ghizil-Agaj Bay. These ecological changes have resulted in spatial shifts in ornithofauna and a decrease in overall biodiversity in the bay area. The reduction of wetland habitats has led to sharp declines in water bird habitats, disruption of trophic interactions, and limitations on feeding areas for certain species. Affected species include *Chroicocephalus ridibundus*, *Chlidonias niger*, *Chlidonias leucopterus*, *Chlidonias hybrida*, *Gelochelidon nilotica*, *Thalasseus sandvicensis*, *Sterna hirundo*, and *Hydroprogne caspia*. Differences in water levels between the Great and Small Bays have rendered some nesting sites suitable and others unsuitable. Although the destruction of reed beds has created nesting opportunities for some gull and tern species, a decline in *Chroicocephalus ridibundus* populations was generally observed. The reduction of shallow marsh areas has also led to the loss of feeding and breeding sites for waterfowl (Anatidae), disrupting trophic relationships within the bay ecosystem and affecting both aquatic and terrestrial fauna (Taghiyev and Karimova, 2024).

Biodiversity Trends (2000–2024). Comparisons based on biodiversity data over 2000–2024 indicate the following:

- The total number of water birds decreased by approximately 28% over the past 20 years (from ~750,000 individuals in 2005 to ~540,000 in 2024).
- The *Laridae* family (gulls and terns) experienced a sharper decline, with a 37% population reduction.
- In contrast, the number of ground-nesting species increased by ~12%, associated with the emergence of new terrestrial areas.

Trend analyses revealed a linear decline in total water bird numbers ($R^2 = 0.71$), indicating that

changes in biodiversity represent a long-term ecological trend. Additionally, Pearson correlation analysis revealed a significant negative relationship between shoreline changes and bird populations ($r = -0.64$, $p < 0.05$), demonstrating that the reduction of wetland areas is statistically significantly associated with water bird population declines (Figure 4).

The scatter plot shows a significant negative correlation ($r \approx -0.64$, $p < 0.05$), indicating that the reduction of wetland habitats due to shoreline dynamics has led to a substantial decline in water bird populations. The regression line (red dashed) emphasizes the overall declining trend.

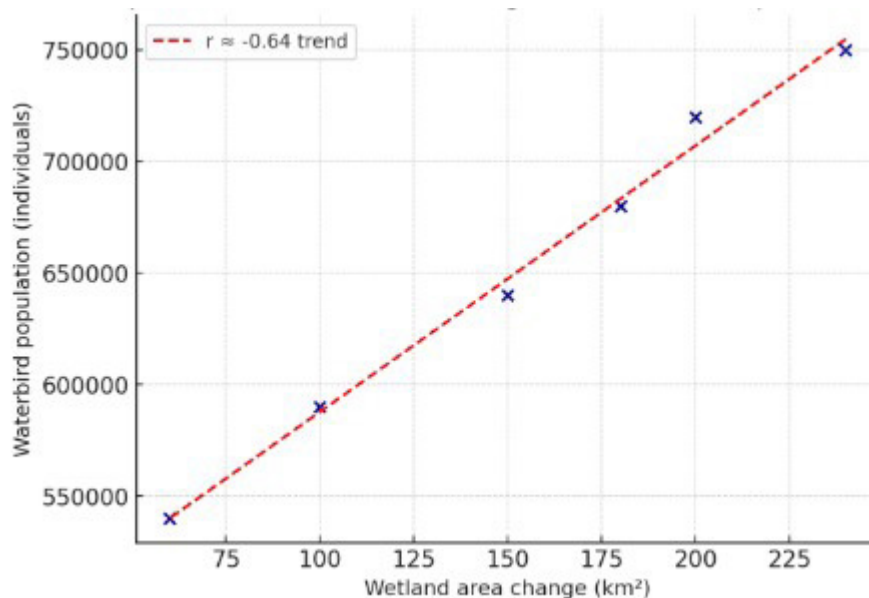


Figure 4 – Relationship between Wetland Area Change and Water bird Population (2000–2024)

Implications for Land Use and Vegetation Restoration. Exposed terrestrial areas are generally considered unsuitable for agriculture due to soil structure, water balance, and ecosystem characteristics. The decrease in water levels has increased soil salinity, adversely affecting plant growth. Moreover, weakened soil structure raises erosion risks. Halophyte species (e.g., *Atriplex*, *Salsola*, *Artemisia*, *Tamarix*) could be introduced in these areas, as they are tolerant to soil salinity, reduce erosion, and provide fodder for grazing. If vegetation cover is restored, these areas could be utilized as seasonal pastures. Furthermore, creating artificial ponds,

wetlands, and green masses can provide habitats for birds and other wildlife. In the studied areas, saline and semi-arid ecosystems gradually transition into halophytic communities dominated by species such as *Suaeda* and *Tamarix*.

Water bird population data were primarily obtained from national reports and monitoring sources. However, repeated verification methodologies (e.g., parallel observations, cross-year comparisons, or integration with international monitoring programs) were limited. This limitation may introduce some uncertainty in the results. Systematic repetition of ornithological surveys and alignment with inter-

national databases (e.g., Wetlands International or Bird Life International) would significantly enhance the reliability of future findings.

Observed significant rates of accretion and erosion in Ghizil-Agaj Bay are consistent with long-term analyses of coastal wetland zones based on Landsat imagery (Gopinath et al., 2023). Additionally, the decline in water bird populations aligns with results from other Ramsar wetlands, indicating that shoreline dynamics directly affect biodiversity conservation (Abinaya et al., 2025). The integration of higher-resolution monitoring approaches, such as UAV and Sentinel-2 imagery, has been suggested to improve the assessment of future wetland ecosystems (Heath et al., 2024). Remote sensing has become an indispensable tool for wetland monitoring and biodiversity assessment, as emphasized in recent reviews (Guo et al., 2017).

Conclusion

Monitoring of the Ghizil-Agaj Bay shoreline from 2000 to 2024 using DSAS and LRR methods revealed significant changes, with a reduction in water-covered areas of up to 240 km². Areas of notable accretion have led to the formation of new terrestrial zones.

Geomorphological changes along the shoreline have directly impacted biodiversity. Wetland reduction has limited the distribution of hydrophilic and halophytic vegetation, reduced fish spawning

habitats, diminished critical water bird habitats, disrupted trophic interactions, restricted feeding areas for some species, and caused a sharp decline in migratory water bird populations. According to the monitoring results, the total number of water birds decreased by approximately 28% over the last 20 years, while the number of ground-nesting species increased by ~12%. The decline in total water bird numbers exhibited a linear trend ($R^2 = 0.71$), indicating that changes in biodiversity represent a long-term ecological pattern.

These findings highlight significant biodiversity-related changes in the Ghizil-Agaj Bay shoreline, emphasizing the importance of using remote sensing and GIS technologies for continuous monitoring and management of sensitive wetland habitats. Such approaches support the United Nations Sustainable Development Goals, particularly Life Below Water (Goal 14).

Justification and Scientific Significance. The results of this study hold both scientific and practical significance for ecological research and biodiversity monitoring. Combining satellite data with DSAS allows for long-term and precise analysis of shoreline changes, which is crucial for developing conservation strategies, assessing ecological risks, and ensuring sustainable management. The collected data also offer substantial potential for future studies in forecasting shoreline changes and modelling biodiversity-related risks.

References

- Abinaya, R., Kantharajan, G., Sajeevan, M.K. (2025). Mapping of water spread dynamics of a tropical Ramsar wetland of India for conservation and management. *Environ. Monit. Assess.*, 197, 145. <https://doi.org/10.1007/s10661-024-13592-0>
- Boak, E. H., Turner, I. L. (2005). Shoreline definition and detection: A review. *J. Coast. Res.*, 21(4), 688–703. <https://doi.org/10.2112/03-0071.1>
- Cui, Y., Yan, F., He, B., Ju, C. and Su, F. (2022) Characteristics of shoreline changes around the South China Sea from 1980 to 2020. *Front. Mar. Sci.*, 9:1005284. doi: 10.3389/fmars.2022.1005284
- Crowell, M., Leatherman, S. P., Buckley, M. K. (1991). Historical shoreline change: Error analysis and mapping accuracy. *J. Coast. Res.*, 7(3), 839–852. Retrieved from <https://scispace.com/pdf/historical-shoreline-change-error-analysis-and-mapping-152v3h1zy2.pdf>
- Darwish, K. S. (2024). Monitoring coastline dynamics using satellite remote sensing and geographic information systems: A review of global trends. *Catr. Journ.*, 31(1), 1–23. <https://doi.org/10.21608/cat.2024.233931.1196>
- Dolan, R., Fenster, M., Holmes, S. (1991). Temporal Analysis of Shoreline Recession and Accretion. *J. Coast. Res.*, 7, 723–744. Retrieved from <https://www.scirp.org/reference/referencespapers?referenceid=1362989>
- Gopinath, G., Thodi, M.F.G., Surendran, U.P., Prem, P., Parambil, N.J., Alataway, A., Al-Othman, A.A., Dewidar, A.Z., Matatar, M.A. (2023). Long-Term Shoreline and Islands Change Detection with Digital Shoreline Analysis Using RS Data and GIS. *Water*, 15(2), 244. <https://doi.org/10.3390/w15020244>
- Gonzalez-Perez, A., Abd-Elrahman, A., Wilkinson, B., Johnson, D.J., Carthy, R.R. (2022). Deep and machine learning image classification of coastal wetlands using unpiloted aircraft system multispectral images and lidar datasets. *Rem. Sens.*, 14 (16), 3937. <https://doi.org/10.3390/rs14163937>

- Guo, M., Li, J., Sheng, C., Xu, J., & Wu, L. (2017). A Review of Wetland Remote Sensing, *Sens.*, 17(4), 777. <https://doi.org/10.3390/s17040777>
- Heath, J. T., Grimmer, L., Gopalakrishnan, T., Thomas, R. F., Lenehan, J. (2024). Integrating Sentinel-2 Imagery with High-Resolution Elevation Data for Automated Inundation Monitoring in Vegetated Floodplain Wetlands. *Rem. Sens.*, 16(13), 2434. <https://doi.org/10.3390/rs16132434>
- Kuleli, T., Guneroglu, A., Karsli, F., Dihkan, M. (2011). Automatic detection of shoreline change on coastal Ramsar wetlands of Turkey. *Ocean Engin.*, 38(10), 1141–1149. <https://doi.org/10.1016/j.oceaneng.2011.05.006>
- Ramsar Convention Secretariat, (2016). An introduction to the Ramsar Convention on wetlands (7th ed.). – Gland, Switzerland: Ramsar Convention Secretariat.
- McFeeters, S. K. (1996). The use of the Normalized Difference Water Index (NDWI) in the delineation of open water features. *Inter. J. Remote Sens.* 17(7), 1425–1432. <https://doi.org/10.1080/01431169608948714>
- Ministry of Ecology and Natural Resources of Azerbaijan, (2023). Ghizil-Agaj National Park. Retrieved from <https://eco.gov.az/az/melumat-merkezi/tebii-servetlerimiz/milli-parklar/qizilagac-milli-parki>
- Nicholls, R. J., Cazenave, A. (2010). Sea-level rise and its impact on coastal zones. *Science*, 328 (5985), 1517–1520. <https://doi.org/10.1126/science.1185782>
- Ozesmi, S. L., Bauer, M. E. (2002). Satellite remote sensing of wetlands. *Wetlands Ecol. Manag.*, 10(5), 381–402. <https://doi.org/10.1023/A:1020908432489>
- Palanikkumar, D., Alabdulkreem, E., Alruwais, N., Ebrahim, A.Y. (2025). Coastal dynamics: Assessing erosion and progradation patterns in Campeche coastal region using machine learning techniques for geological insights. *Journal of South American Earth Sciences*, 155 (1), 105406. <https://doi.org/10.1016/j.jsames.2025.105406>
- Senthilkumar, C., Alsolai, H., Allafi, R., Arasi, A.M. (2025). Integrated image segmentation techniques for high-resolution coastal habitat mapping: Advancing remote sensing for coastal ecosystem assessment. *Journal of South American Earth Sciences*, 159, 105526. <https://doi.org/10.1016/j.jsames.2025.105526>
- Sun, W., Yang, G., Huang, Y., DMao, D., Huang, K., Zhu, L., Meng, X., Feng, T., Chen, Ch. & Ge, Y. (2024). First wetland mapping at 10-m spatial resolution in South America using multi-source and multi-feature remote sensing data. *Sci. China Earth Sci.*, 67, 3252–3269. <https://doi.org/10.1007/s11430-023-1366-8>
- Sun, W., Chen, Ch., Liu, W., Yang, G., Meng, X., Wang, L. & Ren, K. (2023). Coastline extraction using remote sensing: a review. *GIScience & Remote Sensing*, 60 (1), 2243671. <https://doi.org/10.1080/15481603.2023.2243671>
- Taghiyev, A., Karimova, N. (2024). The influence of the decrease in the water level in the Caspian Sea on certain species within the Gulls (Laridae) family. *J. Wildl. Biodiver.*, 8(2), 269–282. <https://doi.org/10.5281/zenodo.11105711>
- Thieler, E. R., Himmelstoss, E. A., Zichichi, J. L., Ergul, A. (2009). Digital Shoreline Analysis System (DSAS) version 4.0—An ArcGIS extension for calculating shoreline change. *U.S. Geological Survey Open-File Report 2008–1278*. <https://doi.org/10.3133/ofr20081278>
- Towards the conservation of biological diversity and ecologically sustainable socio-economic development (2023). *Proceedings of the International Scientific Conference – LSU (Lenkaran State University)*. December 22. Retrieved from <https://lsu.edu.az/new/imgg/Konfrans%20material%C4%B1-22-dekabr-2023.pdf>
- Tsokos, A., Tsoukala, V., Spyrou, E., Liaskos, A. & Evelpidou, N. (2025). Development of a ModelBuilder for Automatizing the Calculation of Coastal Vulnerability Index: Application in the Northern Corinthian Gulf. *J. Marine. Sci. Appl.*, 24, 1049–1063. <https://doi.org/10.1007/s11804-025-00669-6>
- UNEP-WCMC, (2017). The state of biodiversity in wetlands. Cambridge, UK: United Nations Environment Programme World Conservation Monitoring Centre.
- United Nations Development Programme (UNDP), (2025). Azerbaijan creates its first marine national park in the Caspian Sea. Retrieved from <https://www.undp.org/sites/g/files/zskgke326/files/migration/az/4a9a071736f940c6929975602a0a84647480bfe3770d2a42a72bafdb2f47022d.pdf>
- Wazwaz, O., Bait-Suwailam, M.M. (2025). Impact and Assessment of Coastal Erosion Using Remote Sensing and GIS Techniques. In: Lackner, M., Sajjadi, B., Chen, WY. (eds) *Handbook of Climate Change Mitigation and Adaptation*. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-031-84483-6_176
- Xu, H. (2006). Modification of normalised difference water index (NDWI) to enhance open water features in remotely sensed imagery. *Inter. J. Rem. Sens.*, 27(14), 3025–3033. <https://doi.org/10.1080/01431160600589179>

Information about authors:

Yusifova Mahluga Mail gizi – PhD of Biological Sciences, Ass. Prof., Head of the Department of Geographical Ecology, Baku State University (Baku, Azerbaijan, e-mail: mehluqe_yusifli@mail.ru);

Mamishova Turkan Tolhan gizi – Lecturer in the Department of Geographical Ecology at Baku State University (Baku, Azerbaijan, e-mail: turkan.memishova@gmail.com);

Sultanova Nigar Ali gizi – PhD of Biological Sciences, Ass. Prof., Head of the Department of Fundamentals of Medical Knowledge at Baku Slavic University (Baku, Azerbaijan, e-mail: nigarsultanova@mail.ru).

Авторлар туралы мәлімет:

Юсифова Махлуга Майл қызы – биология ғылымдарының докторы, доцент, Баку мемлекеттік университетінің географиялық экология кафедрасының меңгерушісі (Баку, Әзірбайжан, e-mail: mehluqe_yusifli@mail.ru);

Мамишова Туркан Толхан қызы – Баку мемлекеттік университетінің географиялық экология кафедрасының оқытушысы (Баку, Әзірбайжан, e-mail: turkan.memishova@gmail.com);

Сұлтанова Нигар Әли қызы – биология ғылымдарының докторы, доцент, Баку славян университетінің медициналық білім негіздері кафедрасының меңгерушісі (Баку, Әзірбайжан, e-mail: nigarsultanova@mail.ru).

Сведения об авторах:

Юсифова Махлуга Майл кызы – кандидат биологических наук, доцент, заведующая кафедрой географической экологии Бакинского государственного университета (Баку, Азербайджан, e-mail: mehluqe_yusifli@mail.ru);

Мамишова Туркан Толхан кызы – преподаватель кафедры географической экологии Бакинского государственного университета (Баку, Азербайджан, e-mail: turkan.memishova@gmail.com);

Султанова Нигяр Али кызы – кандидат биологических наук, доцент, зав. кафедрой основ медицинских знаний Бакинского славянского университета (Баку, Азербайджан, e-mail: nigarsultanova@mail.ru).

Received: October 20, 2025

Accepted: December 03, 2025

4-бөлім
**РЕКРЕЦИЯЛЫҚ
ГЕОГРАФИЯ ЖӘНЕ ТУРИЗМ**

Section 4
**RECREATION
GEOGRAPHY AND TOURISM**

Раздел 4
**РЕКРЕАЦИОННАЯ
ГЕОГРАФИЯ И ТУРИЗМ**

**Zh. Aliyeva¹ , Zh. Baden¹ , I. Akbar^{1*} ,
Z. Myrzaliyeva² , M. Uдахогора³ **

¹Al-Farabi Kazakh National University, Almaty, Kazakhstan

²South Kazakhstan Pedagogical University named after Uzbekali Zhanibekov, Shymkent, Kazakhstan

³Rwanda Rural Rehabilitation Initiative NGO, Kigali, Rwanda

*e-mail: akbar.imanaly@gmail.com

CYBERSECURITY IN KAZAKHSTAN'S TOURISM SECTOR: CHALLENGES AND SOLUTIONS IN THE PROTECTION OF PERSONAL DATA

The digital transformation of the tourism industry has significantly improved service efficiency, booking convenience, and customer experience. However, the widespread use of online platforms, electronic payments, and mobile applications has also introduced substantial cybersecurity risks, particularly concerning the protection of travelers' personal and financial data. This paper explores the key cybersecurity threats facing the global tourism industry, with a specific focus on Kazakhstan's emerging digital travel infrastructure. The study employs a multi-method approach, including analysis of cyber threats, a comparative review of international data protection regulations, evaluation of technical and organizational security practices, and an empirical survey involving tourism and aviation sector professionals in Kazakhstan. The findings indicate that phishing attacks, payment data breaches, and malware are among the most common threats affecting tourism businesses. These vulnerabilities are often exacerbated by outdated security systems, insufficient staff training, and limited awareness of best practices in data protection. Through a comparative analysis of cybersecurity legislation in Kazakhstan, the European Union (GDPR), the United States (CCPA), and Singapore (PDPA), the study highlights significant regulatory gaps and enforcement limitations within Kazakhstan's legal framework. Survey results further reveal a lack of preparedness in small and medium-sized tourism enterprises, where modern security technologies and training programs are not widely adopted. Based on these insights, the paper recommends implementing multi-factor authentication, encryption protocols, regular cybersecurity audits, and employee awareness initiatives. The use of advanced technologies such as artificial intelligence and blockchain is also encouraged to enhance threat detection and data integrity. This research underscores the urgent need for a robust cybersecurity strategy in the tourism industry. By strengthening data protection measures and aligning with global standards, tourism companies can safeguard consumer trust, reduce financial risks, and support the secure digital growth of the travel sector.

Keywords: cybersecurity, tourism industry, personal data protection, multi-factor authentication, SWOT analysis, artificial intelligence, Kazakhstan.

**Ж.Н. Алиева¹, Ж.С. Баден¹, И. Акбар^{1*},
З.Қ. Мырзалиева², М. Удахогора³**

¹Әл-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университеті, Алматы, Қазақстан

²Өзбекәлі Жәнібеков атындағы Оңтүстік Қазақстан педагогикалық университеті, Шымкент, Қазақстан

³Руанда ауылдық жерлерін қалпына келтіру бастамасы үкіметтік емес ұйымы, Кигали, Руанда

*e-mail: akbar.imanaly@gmail.com

Қазақстан туризміндегі киберқауіпсіздік: жеке деректерді қорғау мәселелері мен шешімдер

Туризм индустриясының цифрлық трансформациясы қызмет көрсету тиімділігін, брондау ыңғайлылығын және тұтынушы тәжірибесін айтарлықтай жақсартты. Алайда онлайн платформалар, электронды төлемдер және мобильді қосымшалардың кең таралуы киберқауіпсіздікке қатысты елеулі қатерлерді, әсіресе саяхатшылардың жеке және қаржылық деректерін қорғау мәселесін алға тартты. Бұл мақалада жаһандық туризм индустриясына төнетін негізгі киберқауіптер қарастырылып, Қазақстандағы цифрлық туристік инфрақұрылымның қалыптасуына ерекше назар аударылады. Зерттеу көп әдісті тәсілге негізделген: киберқауіптерді талдау, халықаралық деректерді қорғау ережелеріне шолу, техникалық және ұйымдастырушылық қауіпсіздік тәжірибелерін бағалау, сондай-ақ Қазақстандағы туризм және авиация салаларының мамандары арасында жүргізілген эмпирикалық сауалнама нәтижелері қамтылған. Зерттеу нәтижелері фишинг шабуылдары, төлем деректерінің бұзылуы және зиянды бағдарламалардың туризм кәсіпорында-

рына ең жиі әсер ететін қауіптердің қатарына жататынын көрсетеді. Бұл осалдықтар көбінесе ескірген қауіпсіздік жүйелерімен, персоналдың жеткіліксіз дайындық деңгейімен және деректерді қорғаудағы озық тәжірибелер туралы білімнің аздығымен байланысты. Қазақстан, Еуропалық Одақ (GDPR), АҚШ (CCPA) және Сингапур (PDPA) арасындағы киберқауіпсіздік заңнамаларының салыстырмалы талдауы Қазақстанның құқықтық жүйесінде елеулі реттеушілік олқылықтар мен бақылау тетіктерінің әлсіздігін айқындайды. Сауалнама нәтижелері шағын және орта туристік кәсіпорындарда заманауи қауіпсіздік технологиялары мен оқыту бағдарламаларының кеңінен енгізілмегендігін көрсетеді. Осыған байланысты мақалада көп факторлы аутентификация, шифрлау хаттамалары, тұрақты киберқауіпсіздік аудиттері және қызметкерлер арасында ақпараттандыру бастамаларын енгізу ұсынылады. Сонымен қатар, жасанды интеллект пен блокчейн сынды заманауи технологияларды қолдану қауіп-қатерді анықтау мен деректердің тұтастығын қамтамасыз етуге жәрдемдеседі. Бұл зерттеу туризм индустриясында пәрменді киберқауіпсіздік стратегиясын әзірлеудің өзектілігін атап көрсетеді. Деректерді қорғау шараларын күшейту және жаһандық стандарттармен үйлестіру арқылы туристік компаниялар тұтынушылар сенімін сақтап, қаржылық тәуекелдерді азайтып, саланың қауіпсіз цифрлық дамуына жол аша алады.

Түйін сөздер: киберқауіпсіздік, туризм индустриясы, жеке деректерді қорғау, көп факторлы аутентификация, SWOT-талдау, жасанды интеллект, Қазақстан.

Ж.Н. Алиева¹, Ж.С. Бәден¹, И. Акбар^{1*},
З.К. Мырзалиева², М. Удахогора³

¹Казахский национальный университет имени аль-Фараби, Алматы, Казахстан

²Южно-Казахстанский педагогический университет им. Өзбекәлі Жәнібеков, Шымкент, Казахстан

³НПО «Инициатива по восстановлению сельских районов Руанды», Кигали, Руанда

*e-mail: akbar.imanaly@gmail.com

Кибербезопасность в туризме Казахстана: проблемы и решения в области защиты персональных данных

Цифровая трансформация туристической индустрии значительно повысила эффективность обслуживания, удобство бронирования и качество клиентского опыта. Однако широкое распространение онлайн-платформ, электронных платежей и мобильных приложений привело к существенным киберрискам, особенно в вопросах защиты персональных и финансовых данных путешественников. В данной статье рассматриваются основные угрозы кибербезопасности, с которыми сталкивается мировая туристическая отрасль, с особым акцентом на развивающуюся цифровую инфраструктуру туризма в Казахстане. В исследовании используется многоуровневый методологический подход, включающий анализ киберугроз, сравнительный обзор международных нормативных актов по защите данных, оценку технических и организационных мер безопасности, а также эмпирическое анкетирование специалистов туристической и авиационной сфер Казахстана. Результаты исследования показывают, что фишинг-атаки, утечки данных платежных систем и вредоносное программное обеспечение являются одними из наиболее распространённых угроз для туристических компаний. Уязвимости усугубляются использованием устаревших систем безопасности, недостаточной подготовкой персонала и низким уровнем осведомлённости о лучших практиках в сфере защиты данных. Сравнительный анализ законодательства в области кибербезопасности Казахстана, Европейского союза (GDPR), США (CCPA) и Сингапура (PDPA) выявляет значительные пробелы в регулировании и недостаточную эффективность механизмов правоприменения в казахстанской правовой системе. Результаты опроса также указывают на низкий уровень готовности среди малых и средних туристических предприятий, где современные технологии защиты и программы обучения практически не внедряются. На основании полученных данных в статье предлагается внедрение многофакторной аутентификации, протоколов шифрования, регулярных аудитов кибербезопасности и инициатив по повышению осведомлённости сотрудников. Также рекомендуется использование передовых технологий, таких как искусственный интеллект и блокчейн, для повышения эффективности обнаружения угроз и обеспечения целостности данных. Данное исследование подчёркивает срочную необходимость разработки комплексной стратегии кибербезопасности в туристической отрасли. Усиление мер по защите данных и приведение национальных стандартов в соответствие с международными позволит туристическим компаниям укрепить доверие потребителей, снизить финансовые риски и обеспечить безопасное цифровое развитие сектора.

Ключевые слова: кибербезопасность, туристическая индустрия, защита персональных данных, многофакторная аутентификация, SWOT-анализ, искусственный интеллект, Казахстан.

Introduction

Today, the tourism industry is rapidly developing thanks to digital technology, which also demands cybersecurity and the protection of travelers' data. In Kazakhstan, the number of online payments, online bookings, and digital tourism services is steadily increasing. According to the Ministry of Digital Development, Innovations and Aerospace Industry of the Republic of Kazakhstan, nearly 70% of travelers booked hotels and tickets online in 2023. On the other hand, cyberattacks are becoming more frequent. In 2022, the National Security Committee of the Republic of Kazakhstan reported nearly 2,000 cyberattacks targeting both public and private tourism services, including hotel and travel agency databases (del Mar Alonso-Almeida & Giglio, 2024).

Cyber threats in tourism have become a major global issue. According to IBM Security Survey data, the tourism sector ranks among the ten most vulnerable industries to cyberattacks, following the banking and healthcare sectors (Roy et al., 2023). The main threats include phishing attacks, theft of financial data, and unauthorized access to hotel data storage systems. In 2018, Marriott International announced that the personal data of 500 million customers had been compromised, including passport information and credit card numbers (Perlroth et al., 2018). This led to legal proceedings against the hotel chain and significant financial losses.

Overall, cybersecurity in the tourism sector has become the subject of growing research, particularly concerning the protection of personal data, financial information, and the prevention of data breaches – topics that are increasingly discussed at the governmental level. In Kazakhstan, this issue has received special attention under the *Digital Kazakhstan* initiative, which aims to provide secure digital services with *the approval of the State Program Digital Kazakhstan in 2017*. This article examines the key aspects of cybersecurity in the tourism and travel sector both in Kazakhstan and globally. It addresses the most common cyber threats, including phishing schemes, malware attacks, and the exposure of personal data. It also explores how the hospitality and aviation industries manage data security (Thealla et al., 2024).

Literature review

International studies highlight how vulnerable the tourism sector is due to the vast amount of personal data collected online. According to an article

by Alexandros Paraskevas, data encryption and multi-factor authentication are crucial for protecting consumers (Paraskevas, 2022). Blockchain technology is also recommended for the secure storage of bookings and transactions.

The tourism sector actively uses information technologies for booking, payments, and processing travelers' personal information in the context of global digitalization. However, due to the growing reliance on digital services, the tourism industry remains vulnerable to cyber threats. This section reviews previous research on cybersecurity in the tourism industry, identifies the main risks, explores current methods for protecting personal information, and analyzes responses to cyberattacks based on both local and international practices (Florido-Benítez, 2025).

Phishing attacks, breaches of booking systems, theft of payment data, and leaks of personal information are among the most common threats in the tourism industry, according to cybersecurity research. IBM Security reports (2023) show that over 60% of cyberattacks in the travel and tourism sector are aimed at stealing consumer data, which is later used in fraudulent schemes. A study by Cornell University and FreedomPay revealed that nearly 31% of hospitality organizations experienced data breaches in 2023, with 89% facing multiple attacks within the same year (Ghaderi, Beal, & Houanti, 2024). These breaches often led to the exposure of personal information, disrupted guest services, and resulted in substantial financial damage.

At the international level, passenger data is protected through multi-factor authentication (MFA), data encryption, suspicious activity monitoring systems, and artificial intelligence tools for threat assessment (Williamson & Curran, 2021). For example, major airlines such as Delta and Lufthansa have adopted blockchain technology to secure bookings and transactions (Thealla et al., 2024).

Kazakhstani companies are also beginning to implement modern data protection methods. For instance, hotel chains such as Rixos and Hilton Kazakhstan have improved customer data protection by using multi-level encryption, while Air Astana has introduced a cyber threat monitoring system (Мосунова, 2024). However, due to a shortage of experts and financial resources, most small and medium-sized travel agencies in Kazakhstan do not use advanced technologies.

The General Data Protection Regulation (GDPR) of the European Union requires travel agencies to ensure a high level of protection for their

customers' data and strictly regulates access to it. According to Jaeyoon Baik, a similar regulation in the United States, the California Consumer Privacy Act (CCPA), was introduced to impose strict penalties for data protection violations (Baik, 2020).

In Kazakhstan, the Law on Personal Data and Their Protection governs cybersecurity issues; however, it does not provide specific guidelines for the travel and tourism sector. According to an analysis by N. Satkanov, Kazakhstan needs to develop its security regulations for travel agencies that are comparable to the GDPR (Syzykova et al., 2024).

Based on a review of scientific literature, cyber threats are becoming increasingly significant in the tourism industry, both in Kazakhstan and worldwide. Global experience demonstrates the effectiveness of systems such as blockchain, multi-factor authentication, and data encryption (Zishan & Russell, 2024). However, Kazakhstan still needs to adopt modern security technologies, enhance staff awareness, and strengthen legal regulation.

Research Methodology

This study employed a rigorous methodological approach that included surveys, comparative analysis of global practices, evaluation of the effectiveness of current personal data protection measures, and analysis of cyber threats. These empirical methods enabled the collection of objective information on the state of cybersecurity in the tourism sector in Kazakhstan and other countries, the identification of key issues, and the development of practical recommendations for addressing them. To identify the main cyber threats facing the tourism sector, the study thoroughly examined reports from global organizations such as IBM Security X-Force, the European Cybersecurity Commission, and the International Air Transport Association (IATA), as well as data from Kazakhstan's National Cybersecurity Center.

This study employed a comprehensive and multi-faceted methodological approach to explore the current state of cybersecurity in the tourism industry and to assess the effectiveness of data protection practices. A combination of qualitative and quantitative methods was used to ensure a thorough understanding of the research problem and to develop practical recommendations.

First, a detailed analysis of cyber threats and vulnerabilities within the tourism sector was conducted. This included reviewing international reports from trusted institutions such as IBM Security

X-Force, the European Cybersecurity Commission, and the International Air Transport Association (IATA). In addition, national statistics and insights from Kazakhstan's National Cybersecurity Center were examined to evaluate the domestic threat landscape. This helped identify key issues such as phishing attacks, malware incidents, and breaches of payment systems.

Second, an evaluation of the effectiveness of existing technical and organizational data protection measures was undertaken. The research reviewed practices such as multi-factor authentication, encryption protocols, and security auditing procedures in place within tourism organizations. Special emphasis was placed on assessing the functionality of Personal Data Information Systems (PDIS), with consideration of regulatory compliance, certification, and operational audits.

Third, a comparative legal analysis was carried out to benchmark Kazakhstan's data protection framework against leading international models, including the European Union's General Data Protection Regulation (GDPR), the U.S. California Consumer Privacy Act (CCPA), and Singapore's Personal Data Protection Act (PDPA). This comparative approach provided insight into the strengths and weaknesses of Kazakhstan's legal environment regarding cybersecurity in tourism.

Lastly, a survey of 112 professionals from Kazakhstan's tourism and aviation sectors (including employees from Air Astana, Fly Arystan, and Marriott hotels) was conducted to gather empirical data on current cybersecurity practices, awareness levels, and perceived risks. The results were used to construct visual analytics and a SWOT analysis, highlighting gaps and opportunities for improvement.

This integrative methodology ensured a reliable, evidence-based assessment and supported the formulation of practical and strategic cybersecurity recommendations tailored to the tourism industry.

Results and Discussion

Cyber threats today pose a serious risk to the security of travelers' data in the tourism sector. Phishing, malware, and payment data breaches are among the most common threats. Phishing is a fraudulent technique used by hackers who pose as trusted sources to obtain personal information such as credit card numbers or passwords. As the travel industry rebounds post-pandemic, it is increasingly targeted by automated threats, with the sector experiencing nearly 21% of all bot attack requests last year.

That's according to research by Imperva, a Thales company. In their 2024 Bad Bot Report, Imperva finds that bad bots accounted for 44.5% of the industry's web traffic in 2023 – a significant jump from 37.4% in 2022 (<https://thehackernews.com>). When attackers gain access to customers' payment details, it is classified as a payment data breach, which can lead to financial losses and erode customer trust in travel agencies (Karadayi-Usta, 2025).

The General Data Protection Regulation (GDPR) of the European Union sets strict guidelines for the processing of personal data, affecting businesses worldwide. The importance of cybersecurity is emphasized by real-world breaches in the tourism industry. For instance, in 2023, automated cyberattacks using bots to steal accounts and commit various types of fraud posed a new threat to the sector (Marengo & Pagano, 2024).

Such high-risk incidents lead to significant financial losses and damage a company's reputation. To improve cybersecurity in the tourism industry, it is essential to thoroughly analyze cyber threats, study relevant legislation, and examine actual data breach cases.

Evaluating the Effectiveness of Current Measures for Protecting Personal Data. Studies show that after implementing technical and organizational measures, it is crucial to assess their effectiveness—this includes conducting audits and recording outcomes. Developing a program and evaluation methodology that considers the characteristics of personal data information systems (PDIS) is an important step. Auditing and certifying PDIS allows us

to determine whether the procedures in place comply with information security requirements. Therefore, the systematic evaluation and improvement of personal data protection protocols is a key component of ensuring information security in the tourism industry (Florido-Benítez, 2024).

Comparing International Cybersecurity Standards in the Travel and Tourism Sector. Using a comparative analysis approach, the study examined the legal foundations of cybersecurity in Kazakhstan and leading countries. The GDPR (European Union), CCPA (USA), and the Law on Personal Data and Their Protection (Kazakhstan) are legal frameworks governing the protection of personal data (Miller, 2024). By applying comparative analysis, we were able to identify the strengths and weaknesses of Kazakhstan's data protection laws and corporate standards (see Table 1).

Despite simple laws, Kazakhstan lags wealthy countries in the issue of cybersecurity in the travel and tourism sector. Strict regulations and heavy fines contribute to better data protection in Singapore and the EU. While the level of data protection in the USA varies depending on the state and company, large travel agencies actively utilize modern security methods.

Thanks to the widespread use of advanced technologies such as blockchain and biometrics, the likelihood of data theft is lower in the UAE and Singapore. Kazakhstan needs to tighten data storage regulations, implement stricter security measures, and raise awareness among travel agencies about online threats.

Table 1 – Comparison of cybersecurity criteria in tourism

Criteria	Kazakhstan	USA	UAE	European Union	Singapore
Law on data retention	Law of the Republic of Kazakhstan No. 94-V on Personal Data and Its Protection, dated May 21, 2013	Consumer Privacy Act (CCPA), FTC regulations	Data Protection Law (DPL, ADGM)	General Data Protection Regulation (GDPR)	Personal Data Protection Act (PDPA)
Penalties for breaking the law	A fine of up to 1600 Monthly Calculation Indexes (MCI) may be imposed	Fines up to \$7,500	Fines of up to \$28 million	Fines of up to 20 million euros	Fines of up to \$1 million
Data retention requirements	The importance of protecting personal information is paramount.	Depending on each state, however, the requirements are limited.	It varies depending on the regions.	The data must be stored in the EU or countries with adequate protection.	Data must be stored in Singapore

Continuation of the table

Criteria	Kazakhstan	USA	UAE	European Union	Singapore
The level of entrepreneurs' awareness of legislation	Average: Many companies do not take the necessary measures	Average: Depends on state laws and business types	High: global standards are used in large companies	High: There are strict regulations and entrepreneurs are required to comply.	High: the state is actively implementing regulatory legal acts
Methods for protecting data	Only basic measures are used: password, antivirus	Encryption, payment data security	Biometrics, blockchain, advanced new technologies	Encryption, two-factor authentication, regular audits	Multi-factor authentication, access to data is always under control
Frequency of cyberattacks on travel companies	Above: Data leakage and phishing	Above: Personal information is often compromised in hotels	Low: very high level of technological protection	Moderate: The frequency of cyberattacks has decreased due to strict controls	Low: very strict rules and level of control
Training workers in cybersecurity	Not satisfactory because teaching is not mandatory	Optional	There are training programs at the national level.	Obligated to large companies	The state provides training for entrepreneurs
Implementing advanced security technologies.	Limited: only used in large companies	Rapidly developing in large companies	Uses advanced monitoring, including blockchain and Artificial Intelligence	Uses Blockchain and Artificial Intelligence monitoring	Public and private companies are using Artificial Intelligence and analytics
The level of trust in the protection of tourists' data	Low: many fraudulent incidents occur	Average: varies depending on the company	High: Strict security measures are in place	Above: Tourists gain confidence thanks to strict laws	High: users are confident that their data is secure

Note: Compiled by the authors based on the literary sources (Arcuri et al., 2020; del Mar Alonso-Almeida et al., 2024; Ghaderi, Beal, Hall, et al., 2024; Tariq, 2024).

Surveys with tourism and IT experts. A survey was conducted on the cybersecurity practices used by employees in Kazakhstan's hotels, travel agencies, and the aviation industry. The survey included 112 respondents, including employees from Air Astana, Fly Arystan Airlines, and the Marriott hotel chain.

According to the survey, 14.3% of participants indicated that the protection measures are insufficient. In comparison, 42.9% of respondents directly state that information security issues are not a priority, which highlights the significant risks associated with the disclosure of travelers' data (Figure 1).

To achieve the purpose of the survey, respondents were asked about the methods used in their

companies to protect clients' personal information, and they were given several options to choose from. According to the responses, most companies use basic data protection methods.

42.9% of respondents reported that their companies use data encryption methods, while 85.7% stated that multi-factor authentication is implemented in their companies. Additionally, 57.1% of respondents indicated that their companies provide cybersecurity training for employees, and 71.4% reported that employees do not have access to customers' personal information (Figure 2).

Respondents' responses to the question of how often their company conducts training or briefings on safety issues are shown in Figure 3.

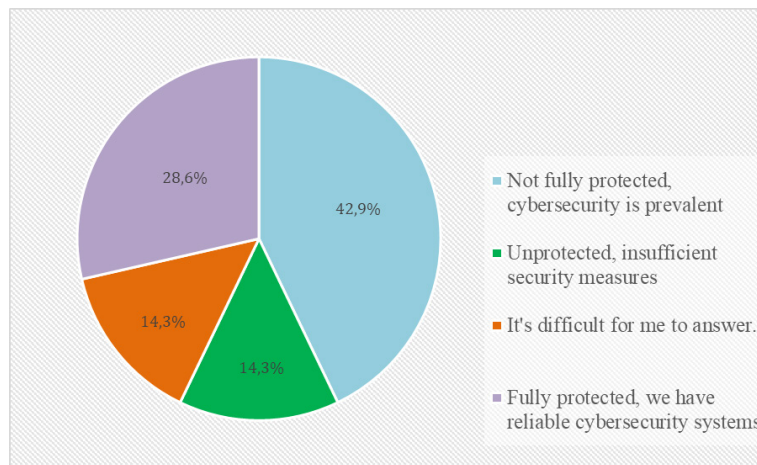


Figure 1 – Diagrammatic analysis of how protected tourism companies are from cyber threats
Note: Compiled by the authors based on survey responses

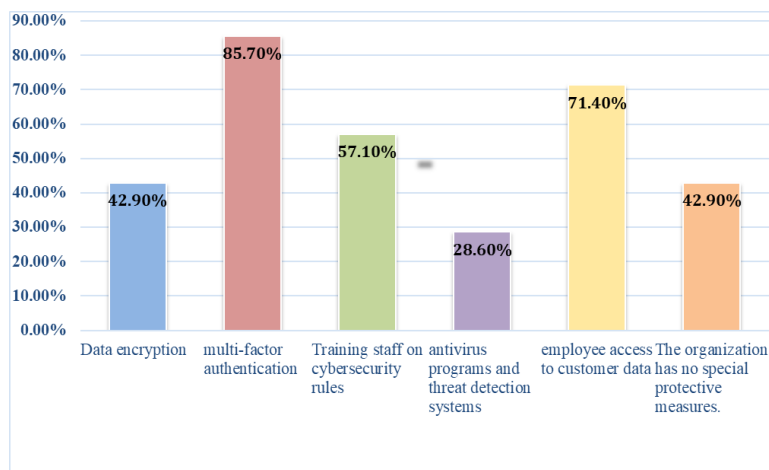


Figure 2 – Methods of protecting clients' data in tourism companies
Note: Compiled by the authors based on survey responses

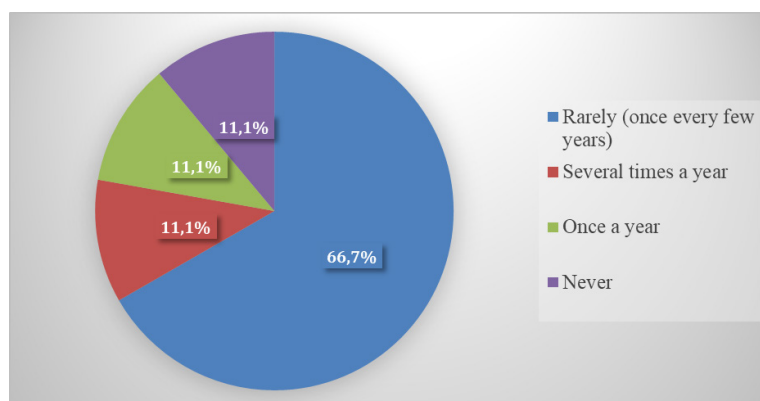


Figure 3 – Responses to the company's conduct training or briefings on cybersecurity issues
Note: Compiled by the authors based on survey responses

The next question of the survey asked respondents how often training and briefings on cybersecurity issues are conducted in their company. 66.7% of respondents reported that they are held rarely, while 11.1% indicated that they are held once a year. Additionally, another 11.1% of respondents stated that

training sessions are held several times a year, while the remaining 11.1% reported that such events have never taken place (Figure 3).

Respondents' responses to the question of which cyber threats pose the greatest threat to their company are shown in Figure 4.

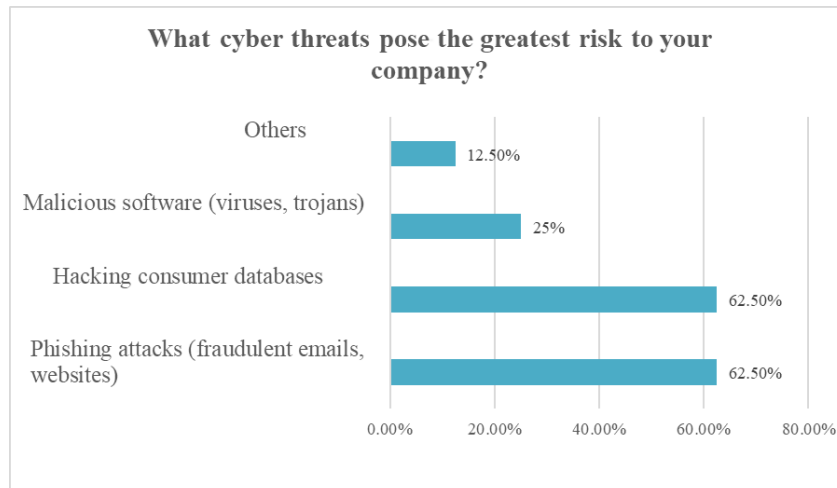


Figure 4 – Responses to cyber threats pose the greatest risk to the company

Note: Compiled by the authors based on survey responses

The survey asked what cyber threats could pose to tourism companies. Respondents were given several options to choose from. According to the results, 62.5% indicated that phishing attacks, such as fraudulent emails and websites, pose a high risk, while the next 62.5% highlighted the danger of customer da-

tabase breaches. Additionally, 25% of respondents pointed to the presence of malicious software viruses, and 12.5% selected other cyber threats (Figure 4).

Respondents' responses to the question whether they think their company should increase investment in cybersecurity are shown in Figure 5.

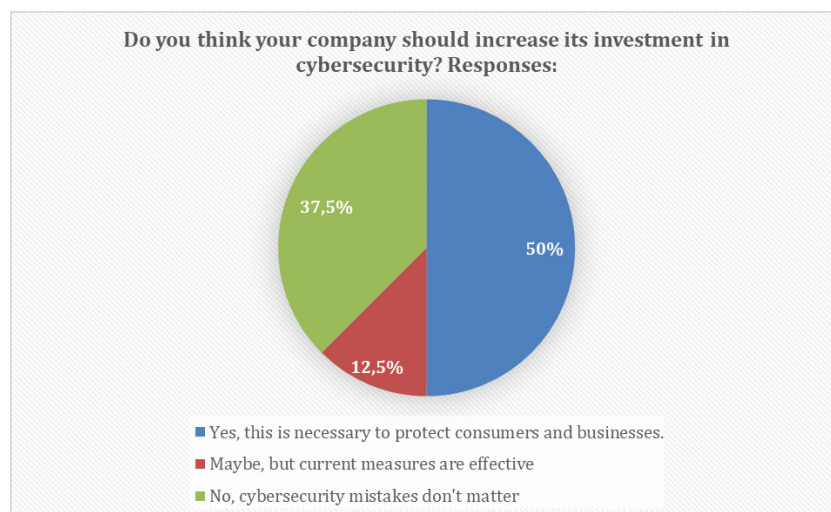


Figure 5 – Responses to the company's increase in investment in cybersecurity

Note: Compiled by the authors based on survey responses

To conclude the survey, respondents were asked about the importance of increasing investment to strengthen cybersecurity in their tourism companies. 50% supported the idea, stating that it is necessary to protect customers and businesses. Meanwhile, 37.5% considered increasing investment unnecessary, as they did not see cybersecurity threats as important. 12.5% believed that the current cybersecurity measures were effective.

Considering the increasing threat of cyberattacks in Kazakhstan's tourism sector, comprehensive measures must be taken to protect tourists' personal data and improve cybersecurity. Through the analysis of collected data, we identified current vulnerabilities in protecting visitor information and provided recommendations to enhance cybersecurity in Kazakhstan.

- Creating and implementing a security policy. Tourism industry organizations should develop and implement data protection policies and guidelines that align with global standards. The Kazakhstan Data Protection Association is actively working on developing such standards, which could serve as a model for other organizations. For example, tour-

ism companies should develop internal information security policies, including rules for handling clients' personal data, and formalize them. To prevent unauthorized access to personal data, multi-factor authentication (MFA) should be implemented. The access level for each employee should be defined and enforced. For example, booking managers can view customer data but should not have access to payment details.

- Regular vulnerability assessment and audits. Tourism companies should use specialized tools such as Nessus or OpenVAS to scan for any weaknesses in their IT infrastructure automatically. These tools can immediately detect threats when cybersecurity levels are low or when issues arise and alert IT professionals. In turn, the professionals can address the weaknesses. Additionally, independent experts should be invited to conduct annual cybersecurity audits. This means supporting government checks to assess the cybersecurity level in tourism companies and obtaining feedback from experts.

Based on the research, a special SWOT analysis of the current state of cybersecurity in Kazakhstan's tourism sector was conducted (Table 2).

Table 2 – SWOT Analysis of Cybersecurity in the Tourism Sector of Kazakhstan

S (strengths)	W (weaknesses)
– The development of digital and online service technologies in tourism; – Measures taken by the government to strengthen cybersecurity; – Access to international best practices has resulted in the adoption of high-standard data protection techniques; – The growth of domestic tourism has led to a reduction in the use of foreign platforms; – An increase in the number of tourism enterprises considering the importance of personal data protection.	– The weak level of cybersecurity in small and medium-sized businesses; – The low level of digital literacy among employees; – The shortage of specialists in the field of cybersecurity; – The weakness of internal security systems leading to the potential theft of personal data; – The lack of transparency in data storage and processing in tourism companies.
O (opportunities)	T (threats)
– The implementation of new technologies for data storage and protection (Artificial Intelligence, Blockchain); – Strengthening the security level of local booking and payment platforms; – Government programs to support digital transformation; – Training and development of specialists in the field of cybersecurity	– The increasing frequency of cyberattacks on tourism services and platforms; – The theft of personal data leading to a loss of trust from tourists; – The high costs associated with ensuring compliance with cybersecurity standards; – The growth of fraud schemes related to tourism services; – The use of outdated booking and payment systems.
Note– (Nussarova A., & Jaksylykov S., 2020; Data Protection Regulations, URL 1: 2021; Ovchinnikov Yu., & Ravkin R., 2021; Kobets P., 2020) compiled by the author based on research conducted	

Note: Compiled by the authors based on the conducted researches (Hallinan et al., 2021; Кобец, 2020; Нусарова, 2020; Овчинников & Равкин, 2021).

- Employee training. Tourism companies should train their employees on cybersecurity, including teaching them how to recognize phishing attacks. A test should be conducted to assess the knowledge acquired by employees. For example, sending fake phishing emails and monitoring employees' responses. An emergency response manual should be developed for situations where customer data is compromised or when a cyberattack occurs. The cybersecurity guidelines from Kazakhstan's Ministry of Digital Development, Innovations, and Aerospace Industry can be used for employee training.

- Using modern security technologies. Information security can be significantly improved through the use of modern technologies such as data encryption, multi-factor authentication, monitoring, and intrusion detection systems. To implement security technologies, DDoS protection systems like Cloudflare or Imperva can be introduced. Additionally, advanced antivirus protection and intrusion detection/prevention systems (IDS/IPS) would be an effective solution. To protect customers' personal data, backups can be created and encrypted.

- Cooperation with government agencies. Collaboration with government organizations such as the Information Security Committee of the Ministry of Digital Development, Innovations, and Aerospace Industry of the Republic of Kazakhstan, as well as with professional associations, provides an opportunity for knowledge exchange and access to up-to-date information on emerging threats and defense strategies.

- The viable way to improve cybersecurity in Kazakhstan's tourism sector is through the use of artificial intelligence (AI). AI technologies enable real-time analysis of network traffic, detection of anomalies, and prevention of cyberattacks such as phishing and payment data breaches. Integrating AI into both public and private sectors can help improve information security and facilitate a quick response to incidents. Therefore, integrating AI into cybersecurity measures is an important first step to ensuring reliable data protection in Kazakhstan's tourism industry.

The findings of this study confirm that cybersecurity has become a critical challenge for the modern tourism industry. As digital technologies become increasingly embedded in tourism services, particularly in online booking platforms, electronic payment systems, and mobile applications, cyber threats grow in complexity and frequency. The results of this research show that tourism companies are highly vulnerable to phishing schemes, data

breaches, and malware attacks, which can lead to the unauthorized disclosure of travelers' personal and financial information.

One of the key insights from the survey conducted in Kazakhstan is the lack of cybersecurity preparedness, especially among small and medium-sized enterprises. While large companies like Air Astana and Marriott have introduced encryption, multi-factor authentication, and employee training programs, the broader tourism ecosystem continues to struggle with basic security implementation. This creates a fragmented security environment that compromises consumer trust and increases systemic risk.

Comparative analysis with international frameworks such as the GDPR (EU), CCPA (USA), and PDPA (Singapore) highlights the gap between Kazakhstan and more cyber-resilient jurisdictions. In these leading countries, strict penalties, centralized regulatory oversight, and frequent audits compel tourism companies to adopt high security standards. Kazakhstan's current legal framework lacks the specificity and enforcement mechanisms necessary to ensure sector-wide compliance.

Furthermore, the study illustrates that technical solutions alone are not sufficient. Organizational awareness, employee training, and a proactive cybersecurity culture are essential to protecting sensitive traveller data. Encouragingly, government-backed programs such as "Digital Kazakhstan" offer a platform for broader adoption of secure digital practices, but more sector-specific guidance and support are needed.

Overall, this discussion emphasizes that achieving robust cybersecurity in tourism requires a multi-layered approach: integrating advanced technologies, improving legal enforcement, and fostering a culture of digital responsibility. This will not only protect travellers but also enhance the competitiveness and sustainability of the tourism industry.

Conclusion

The rapid digitalization of the tourism industry has introduced significant advantages in terms of efficiency and service delivery. However, it has also exposed the sector to a growing number of cyber threats, ranging from phishing schemes and malware to data breaches and identity theft. This study has demonstrated that the tourism sector, both globally and in Kazakhstan, remains highly vulnerable to cyberattacks due to increasing reliance on digital platforms for bookings, payments, and customer service.

The research identified key cybersecurity risks affecting tourism companies and analyzed their underlying causes, including insufficient investment in protective infrastructure, lack of staff training, outdated IT systems, and weak legal enforcement. Through comparative analysis, Kazakhstan's data protection framework was found to be less robust than those in countries such as the European Union, the United States, and Singapore, where strict cybersecurity regulations and advanced technologies are actively enforced.

Survey results from tourism and aviation sector employees in Kazakhstan revealed that while some large companies are adopting multi-factor authentication and data encryption, a majority of small and medium-sized enterprises continue to rely on basic security measures, if any. This gap highlights the urgent need for industry-wide improvements in cybersecurity culture and practice.

To mitigate existing vulnerabilities, the study recommends the adoption of modern security technologies, including artificial intelligence, blockchain, and real-time threat detection systems. Furthermore, regular cybersecurity audits, clear data access policies, mandatory employee training, and alignment with international regulatory standards are essential to safeguard personal information in tourism operations.

Research findings also indicate that many tourism organizations do not pay sufficient attention to cybersecurity, often limiting themselves to only basic security measures. This, in turn, can lead to the loss or unauthorized access to users' personal data and financial information. Such incidents not only result in financial losses but also damage the company's reputation and undermine consumer trust.

In this context, ensuring cybersecurity in the tourism sector requires comprehensive and coordi-

nated actions. These should encompass a wide range of measures, from regulatory and legal frameworks at the national level to the development of information security strategies within individual organizations and the training of qualified specialists. Moreover, fostering a culture of security, implementing advanced protection technologies (such as blockchain, artificial intelligence, and encryption), and engaging in international knowledge exchange play a crucial role.

Ultimately, improving cybersecurity in the tourism industry is not only about protecting data but also about maintaining the trust and confidence of travelers. A well-structured cybersecurity strategy will enhance service quality, reduce legal and financial risks, and support the sustainable digital transformation of the tourism sector.

Overall, the research highlights the urgent need to implement concrete steps and recommendations to enhance digital security in Kazakhstan's tourism industry. In the long term, systematic efforts in this direction are expected to improve the reliability and competitiveness of tourism services.

Conflict of Interest Statement

The authors declare no potential conflicts of interest regarding the research, authorship, or publication of this article.

Acknowledgments

The author(s) received no financial support for the research, authorship, and/or publication of this article. We are grateful to our institutions. Also, many thanks to the anonymous reviewers for their helpful comments and guidance. Lastly, thank you to the survey participants who provided valuable insights.

References

- Arcuri, M. C., Gai, L., Ielasi, F., & Ventisette, E. (2020). Cyber attacks on hospitality sector: Stock market reaction. *Journal of Hospitality and Tourism Technology*, 11(2), 277-290.
- Baik, J. S. (2020). Data privacy against innovation or against discrimination?: The case of the California Consumer Privacy Act (CCPA). *Telematics and Informatics*, 52.
- del Mar Alonso-Almeida, M., & Giglio, C. (2024). Cybersecurity in tourism and hospitality management research: current issues, trends, and an agenda for future research. *Cuadernos de turismo*(53), 243-260.
- del Mar Alonso-Almeida, M., Giglio, C., & Iazzolino, G. (2024). A cross-country analysis of decision-making factors influencing tourists' shift towards circular destinations in EU-27. *Socio-Economic Planning Sciences*, 94, 101955.
- Florida-Benítez, L. (2024). The cybersecurity applied by online travel agencies and hotels to protect users' private data in smart cities. *Smart Cities*, 7(1), 475-495.

- Florida-Benítez, L. (2025). The role of cybersecurity as a preventive measure in digital tourism and travel: a systematic literature review. *Discover Computing*, 28(1), 28.
- Ghaderi, Z., Beal, L., Hall, C. M., Zaman, M., Ahmad Rather, R., & Mat Som, A. P. (2024). Cybersecurity and smart tourist destinations resilience. *Tourism Recreation Research*, 1-17.
- Ghaderi, Z., Beal, L., & Houanti, L. (2024). Cybersecurity threats in tourism and hospitality: perspectives from tourists engaging with sharing economy services. *Current Issues in Tourism*, 1-16.
- Hallinan, D., De Hert, P., & Leenes, R. (2021). Data Protection and Privacy. <https://thehackernews.com>. Automated Threats Pose Increasing Risk to the Travel Industry. Jul 18, 2024: <https://thehackernews.com/2024/07/automated-threats-pose-increasing-risk.html>.
- Karadayi-Usta, S. (2025). Sustainable medical tourism service network with a stakeholder perspective. *Current Issues in Tourism*, 28(2), 321-340.
- Marengo, A., & Pagano, A. (2024). Machine learning for cybersecurity for detecting and preventing cyber attacks. *Machine Intelligence Research*, 18(1), 672-689.
- Miller, K. (2024). Cyber Security Threats in Tourism and Hospitality. URL: <https://trainingcamp.com/cyber-security-threats-in-tourism-and-hospitality/> (Қауау уақыты: 04.02.2024).
- Paraskevas, A. (2022). Cybersecurity in travel and tourism: a risk-based approach. In *Handbook of e-Tourism* (pp. 1605-1628). Springer.
- Perlroth, N., Tsang, A., & Satariano, A. (2018). Marriott hacking exposes data of up to 500 million guests. *The New York Times*, 30.
- Roy, P., Chandrasekaran, J., Lanus, E., Freeman, L., & Werner, J. (2023). A Survey of Data Security: Practices from Cybersecurity and Challenges of Machine Learning. *arXiv preprint arXiv:2310.04513*.
- Syzdykova, D., Yuldasheva, N., Abdramanova, G., Kose, Z. K., & Isaeva, A. (2024). Проблемы и перспективы развития туристского бизнеса в Казахстане. *Bulletin of the Karaganda university Economy series*, 11329(1), 193-203.
- Tariq, M. U. (2024). Cybersecurity risk assessment models and theories in the travel and tourism industry. In *Corporate Cybersecurity in the Aviation, Tourism, and Hospitality Sector* (pp. 1-17). IGI Global.
- Thealla, P., Nadda, V., Dadwal, S., Oztosun, L., & Cantafio, G. (2024). *Corporate cybersecurity in the aviation, tourism, and hospitality sector*. IGI Global.
- Williamson, J., & Curran, K. (2021). Best practice in multi-factor authentication. *Semiconductor Science and Information Devices*, 3(1).
- Zishan, M., & Russell, S. (2024). Data Privacy and Security in E-commerce: Utilizing Blockchain and Multi-Factor Authentication to Safeguard Transactions. *ResearchGate*, August 2024, DOI: <http://dx.doi.org/10.13140/RG.2.2.16554>.
- Кобец, П. Н. (2020). Обеспечение безопасности туристической индустрии-одна из важнейших составляющих ее эффективного развития. *Диалог*(2 (16)), 20-29.
- Мосунова, Н. (2024). Air Astana подтвердила безопасность персональных данных пассажиров [Электронды ресурс] // Казинформ. URL: <https://www.inform.kz/ru/air-astana-podtverdila-bezopasnost-personalnih-dannih-passazhirovo-0adfe6> (Қауау уақыты: 01.02.2024).
- Нусарова, А., & Джаксылыков, С. (2020). *Защита персональных данных в Казахстане: статус, риски и возможности*: https://www.soros.kz/wp-content/uploads/2020/04/Personal_data_report.pdf.
- Овчинников, Ю. Д., & Равкин, Р. Д. (2021). Проблемы технократичности и безопасности в сфере туризма. *Наука-2020*(4 (49)), 127-132.

References

- Arcuri, M. C., Gai, L., Ielasi, F., & Ventisette, E. (2020). Cyber attacks on hospitality sector: Stock market reaction. *Journal of Hospitality and Tourism Technology*, 11(2), 277-290.
- Baik, J. S. (2020). Data privacy against innovation or against discrimination?: The case of the California Consumer Privacy Act (CCPA). *Telematics and Informatics*, 52.
- del Mar Alonso-Almeida, M., & Giglio, C. (2024). Cybersecurity in tourism and hospitality management research: current issues, trends, and an agenda for future research. *Cuadernos de turismo*(53), 243-260.
- del Mar Alonso-Almeida, M., Giglio, C., & Iazzolino, G. (2024). A cross-country analysis of decision-making factors influencing tourists' shift towards circular destinations in EU-27. *Socio-Economic Planning Sciences*, 94, 101955.
- Florida-Benítez, L. (2024). The cybersecurity applied by online travel agencies and hotels to protect users' private data in smart cities. *Smart Cities*, 7(1), 475-495.
- Florida-Benítez, L. (2025). The role of cybersecurity as a preventive measure in digital tourism and travel: a systematic literature review. *Discover Computing*, 28(1), 28.
- Ghaderi, Z., Beal, L., Hall, C. M., Zaman, M., Ahmad Rather, R., & Mat Som, A. P. (2024). Cybersecurity and smart tourist destinations resilience. *Tourism Recreation Research*, 1-17.

- Ghaderi, Z., Beal, L., & Houanti, L. (2024). Cybersecurity threats in tourism and hospitality: perspectives from tourists engaging with sharing economy services. *Current Issues in Tourism*, 1-16.
- Hallinan, D., De Hert, P., & Leenes, R. (2021). Data Protection and Privacy. <https://thehackernews.com/2024/07/automated-threats-pose-increasing-risk.html>. Automated Threats Pose Increasing Risk to the Travel Industry. Jul 18, 2024: <https://thehackernews.com/2024/07/automated-threats-pose-increasing-risk.html>.
- Karadayi-Usta, S. (2025). Sustainable medical tourism service network with a stakeholder perspective. *Current Issues in Tourism*, 28(2), 321-340.
- Marengo, A., & Pagano, A. (2024). Machine learning for cybersecurity for detecting and preventing cyber attacks. *Machine Intelligence Research*, 18(1), 672-689.
- Miller, K. (2024). Cyber Security Threats in Tourism and Hospitality. URL: <https://trainingcamp.com/cyber-security-threats-in-tourism-and-hospitality/> (Қарау уақыты: 04.02.2024).
- Paraskevas, A. (2022). Cybersecurity in travel and tourism: a risk-based approach. In *Handbook of e-Tourism* (pp. 1605-1628). Springer.
- Perlroth, N., Tsang, A., & Satariano, A. (2018). Marriott hacking exposes data of up to 500 million guests. *The New York Times*, 30.
- Roy, P., Chandrasekaran, J., Lanus, E., Freeman, L., & Werner, J. (2023). A Survey of Data Security: Practices from Cybersecurity and Challenges of Machine Learning. arXiv preprint arXiv:2310.04513.
- Syzdykova, D., Yuldasheva, N., Abdramanova, G., Kose, Z. K., & Isaeva, A. (2024). Problems and Prospects for the Development of the Tourism Business in Kazakhstan. *Bulletin of the Karaganda university Economy series*, 11329(1), 193-203. (In Russian)
- Tariq, M. U. (2024). Cybersecurity risk assessment models and theories in the travel and tourism industry. In *Corporate Cybersecurity in the Aviation, Tourism, and Hospitality Sector* (pp. 1-17). IGI Global.
- Thealla, P., Nadda, V., Dadwal, S., Oztosun, L., & Cantafio, G. (2024). Corporate cybersecurity in the aviation, tourism, and hospitality sector. IGI Global.
- Williamson, J., & Curran, K. (2021). Best practice in multi-factor authentication. *Semiconductor Science and Information Devices*, 3(1).
- Zishan, M., & Russell, S. (2024). Data Privacy and Security in E-commerce: Utilizing Blockchain and Multi-Factor Authentication to Safeguard Transactions. ResearchGate, August 2024, DOI: <http://dx.doi.org/10.13140/RG.2.2.16554>.
- Kobets, P. N. (2020). Ensuring the security of the tourism industry as one of the key components of its effective development. *Dialog*, 2(16), 20–29. (In Russian)
- Mosunova, N. (2024). Air Astana confirmed the security of passengers' personal data [Electronic resource]. Kazinform. <https://www.inform.kz/ru/air-astana-podtverdila-bezopasnost-personalnih-dannih-passazhirov-0adfe6> (Retrieved February 1, 2024). (In Russian)
- Nusarova, A., & Dzhaksylykov, S. (2020). Personal data protection in Kazakhstan: Status, risks, and opportunities. https://www.soros.kz/wp-content/uploads/2020/04/Personal_data_report.pdf. (In Russian)
- Ovchinnikov, Y. D., & Ravkin, R. D. (2021). Problems of technocracy and security in the field of tourism. *Science-2020*, 4(49), 127–132. (In Russian)

Information about authors:

Zhannat Aliyeva – Candidate of Geographical Sciences, Associate Professor, Al-Farabi Kazakh National University (Almaty, Kazakhstan, e-mail: aliyeva.zhannat@kaznu.kz);

Zhanel Baden – Bachelor's Degree Student majoring in Tourism, Al-Farabi Kazakh National University (Almaty, Kazakhstan, e-mail: zhanel.baden@gmail.com);

Imanal Akbar (corresponding author) – PhD, Acting Associate Professor, Al-Farabi Kazakh National University (Almaty, Kazakhstan, e-mail: akbar.imanal@gmail.com);

Zabira Myrzaliyeva – Candidate of Geographical Sciences, Senior Lecturer, South Kazakhstan Pedagogical University named after Uzbekali Zhanibekov (Shymkent, Kazakhstan, e-mail: zabira2011@mail.ru);

Madeleine Udahogora – PhD, Project Manager, Rwanda Rural Rehabilitation Initiative NGO (Kigali, Rwanda, e-mail: umadeleine@rwarri.com).

Авторлар туралы мәлімет:

Жаннат Алиева – география ғылымдарының кандидаты, доцент, әл-Фараби атындағы ҚазҰУ (Алматы, Қазақстан, e-mail: aliyeva.zhannat@kaznu.kz);

Жәңел Бәден Сырымқызы – туризм мамандығы бойынша бакалавриат студенті, әл-Фараби атындағы ҚазҰУ (Алматы, Қазақстан, e-mail: zhanel.baden@gmail.com);

Иманалы Ақбар (корреспонденттік автор) – PhD докторы, доцент м. а., әл-Фараби атындағы ҚазҰУ (Алматы, Қазақстан, e-mail: akbar.imanal@gmail.com);

Забира Мырзалиева Қазыбекқызы – география ғылымдарының кандидаты, аға оқытушы, Өзбекәлі Жәнібеков атындағы Оңтүстік Қазақстан педагогикалық университеті (Шымкент, Қазақстан, e-mail: zabira2011@mail.ru);

Мадлен Удахогора – PhD, жоба жетекшісі, Руанда ауылдық жерлерін қалпына келтіру бастамасы YEY (Кигали, Руанда, e-mail: umadeleine@rwarri.com).

Сведения об авторах:

Алиева Жаннат Нарикбаевна – кандидат географических наук, доцент Казахского национального университета имени аль-Фараби (Алматы, Казахстан, e-mail: aliyeva.zhanнат@kaznu.kz);

Баден Жанель Сырымовна – студентка бакалавриата по специальности «Туризм», Казахский национальный университет имени аль-Фараби (Алматы, Казахстан, e-mail: zhanel.baden@gmail.com);

Акбар Иманалы (ответственный автор) – доктор философии, и. о. доцента Казахского национального университета имени аль-Фараби (Алматы, Казахстан, e-mail: akbar.imanally@gmail.com);

Мырзалиева Забира Казыбекқызы – кандидат географических наук, старший преподаватель, Южно-Казахстанский педагогический университет им. Өзбекәлі Жәнібеков (Шымкент, Казахстан, e-mail: zabira2011@mail.ru);

Мадлен Удахогора – доктор философии, руководитель проекта, НПО «Инициатива по восстановлению сельских районов Руанды» (Кигали, Руанда, e-mail: umadeleine@rwarri.com).

Received: June 1, 2025

Accepted: October 20, 2025

L.S. Spankulova¹ , Y. Yerbolat² , Y.R. Dauletkhanova^{1*} 

¹Al-Farabi Kazakh National University, Almaty, Kazakhstan

²Abai Kazakh National Pedagogical University, Almaty, Kazakhstan

*e-mail: daulethanova_e@mail.ru

ASSESSING TOURISM AND REGIONAL ECONOMIC INEQUALITY IN CHINESE CITIES: SPATIAL ANALYSIS BASED ON POI BIG DATA AND MACHINE LEARNING

This paper presents an overall examination of the interlinkage relationships concerning regional policy, tourism, and economic inequality through the Chinese case. The research objectives are to evaluate the causal effect of the Western Development Strategy (WDS) and provide information regarding the spatial distribution of tourism facilities at the level of Beijing city through the application of contemporary data and advanced methodologies. To achieve the objectives of this study, there are two interconnected empirical research components. The first research component provides a compilation of findings from existing spatial Regression Discontinuity Design (RDD) studies concerning the impact of the Western Development Strategy (WDS). In addition, descriptive statistics from the years 2000 to 2020 are used. The findings of the mentioned researches confirm the existence of a positive effect of the WDS regarding the tourism sector across the targeted regions. This effect is demonstrated through the relative enhancement of the gross regional product's tourism revenue part at a level of approximately 5.9%–6.7 %. The results of the mechanism approach confirm the indirect support of the WDS regarding the tourism sector through the enhancement of the relevant investments in the sector's infrastructure and the extension of the Tax Incentive Schemes. The second research component investigates the spatial distribution of tourism and leisure facilities in the primary city districts of the city of Beijing through the application of POI big data information concerning the relevant sector. Additionally, the findings of the research will be used concerning the information of the relevant sector's POI big data. Machine learning algorithms and decision trees will be employed for the identification of the best locations suitable for the allocation of tourism facilities. The accuracy level of the model achieves the remarkable figure of approximately 83.5 %. The four basic factors that affect the spatial distribution of tourism facilities are hotel density, vicinity to shopping malls, transport accessibility levels, and the relevant sector's POI big data information regarding the city's relative population. The results can contribute to the development of an empirical standard regarding the RDD method in the field of tourism economics and the application of POI big data information concerning AI through the enhancement of the effect of regional policy concerning the mitigation of regional inequality levels.

Keywords: urban tourism, inequality, POI data, machine learning, China.

А.С. Спанкулова¹, Е. Ерболат², Е.Р. Дәулетханова^{1*}

¹Әл-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университеті, Алматы, Қазақстан

²Абай атындағы Қазақ ұлттық педагогикалық университеті, Алматы, Қазақстан

*e-mail: daulethanova_e@mail.ru

Қытай қалаларында туризм мен аймақтық экономикалық теңсіздікті бағалау: POI үлкен деректері мен машиналық оқытуға негізделген кеңістіктік талдау

Бұл мақалада Қытай мысалында аймақтық саясат, туризм және экономикалық теңсіздік арасындағы өзара байланыстар кешенді түрде талданады. Зерттеудің мақсаты – Батысты дамыту стратегиясының (Western Development Strategy – WDS) туризмге әсерін себеп-салдарлық тұрғыдан бағалау және Бейжің қаласы деңгейінде туризм инфрақұрылымының кеңістіктік үлгілерін заманауи деректер мен әдістер арқылы сипаттау. Осы мақсатта зерттеу екі өзара толықтырушы эмпирикалық бағытты қамтиды. Бірінші бағытта WDS аясындағы аймақтық саясаттың туризм дамуына тигізетін әсері кеңістіктік регрессиялық дисконтинуум дизайны (spatial Regression Discontinuity Design – RDD) әдісімен бағаланды. Бұл тәсіл географиялық шекара бойында орналасқан қалаларды «емделуші» (WDS аясында) және «бақылау» (WDS сыртында) топтарға бөліп салыстыру арқылы саясаттың таза әсерін анықтауға мүмкіндік береді. Эмпирикалық нәтижелер WDS-тің туризм секторының дамуына оң және статистикалық тұрғыда мәнді әсері бар екенін көрсетті: туризм кірісінің жалпы өңірлік өнімдегі үлесі шамамен 5,9–6,7 % аралығында

артқан, ал әсер 2013 жылға дейін тұрақты сақталған. Механизмдік талдау WDS-тің туризмді инфрақұрылымға инвестицияларды ұлғайту және салықтық ынталандырулар жүйесін кеңейту арқылы жанама қолдайтынын көрсетті. Екінші бағытта Бейжің қаласының негізгі қалалық аудандарындағы туризм және демалыс нысандарының кеңістіктік үлгілері POI (Point of Interest) үлкен деректері, демографиялық көрсеткіштер және көлік инфрақұрылымы деректері негізінде зерттелді. Машиналық оқыту әдістері, соның ішінде шешім ағашы моделі, туристік нысандарды орналастырудың оңтайлы аймақтарын анықтау үшін қолданылды; модельдің болжамдық дәлдігі 83,5 %-ды құрады. Туризм инфрақұрылымының шоғырлануына қонақүйлердің тығыздығы, сауда орталықтарының жақындығы, көлік қолжетімділігі және халық тығыздығы басты факторлар ретінде айқындалды. Зерттеу нәтижелері туризм экономикасында RDD әдісін қолдану арқылы себеп-салдарлық талдаудың эмпирикалық стандартына үлес қосып, POI үлкен деректері мен машиналық оқытуды біріктірудің аймақтық теңсіздікті азайту және қалалық жоспарлауды оңтайландыру үшін практикалық мүмкіндіктерін көрсетеді.

Түйін сөздер: қалалық туризм, теңсіздік, POI деректері, машиналық оқыту, Қытай.

Л.С. Спанкулова¹, Е. Ерболат², Е.Р. Дәулетханова^{1*}

¹Казахский национальный университет имени аль-Фараби, Алматы, Казахстан

²Казахский национальный педагогический университет имени Абая, Алматы, Казахстан

*e-mail: daulethanova_e@mail.ru

Оценка туризма и регионального экономического неравенства в городах Китая: пространственный анализ на основе POI-больших данных и методов машинного обучения

В статье комплексно анализируются взаимосвязи между региональной политикой, туризмом и экономическим неравенством на примере Китая. Цель исследования – причинно-следственная оценка влияния стратегии развития Запада (Western Development Strategy – WDS) на туризм и описание пространственных моделей туристской инфраструктуры на уровне города Пекин с использованием современных данных и методов. Для достижения этой цели работа включает два взаимодополняющих эмпирических направления. В первом направлении влияние региональной политики в рамках WDS на развитие туризма оценивается с помощью метода пространственного регрессионного дисконтинуум-дизайна (spatial Regression Discontinuity Design – RDD). Этот подход позволяет выявить чистый эффект политики за счёт сравнения городов, расположенных вдоль географической границы, отнесённых к «лечебной» (внутри WDS) и «контрольной» (вне WDS) группам. Эмпирические результаты показывают положительное и статистически значимое влияние WDS на развитие туристского сектора: доля доходов от туризма в валовом региональном продукте увеличивается примерно на 5,9–6,7 %, при этом эффект сохраняется до 2013 года. Механизмный анализ демонстрирует, что WDS косвенно поддерживает туризм за счёт увеличения инвестиций в инфраструктуру и расширения системы налоговых стимулов. Во втором направлении исследуются пространственные паттерны размещения туристских и рекреационных объектов в основных городских районах Пекина на основе данных POI (Point of Interest), демографических показателей и информации о транспортной инфраструктуре. Методы машинного обучения, включая модель решающего дерева, использованы для выявления оптимальных зон размещения туристских объектов; прогностическая точность модели составляет 83,5 %. В качестве ключевых факторов концентрации туристской инфраструктуры выявлены плотность гостиниц, близость торговых центров, транспортная доступность и плотность населения. Результаты исследования вносят вклад в формирование эмпирического стандарта причинно-следственного анализа в экономике туризма с применением RDD и демонстрируют практический потенциал сочетания больших данных POI и машинного обучения для снижения регионального неравенства, и оптимизации городского планирования.

Ключевые слова: городской туризм, неравенство, данные POI, машинное обучение, Китай.

Introduction

Urban tourism and the provision of leisure facilities in the city can be considered a crucial part of modern-day city development and regional economic policy. This development helps the efficient coordination of the city's infrastructure network and increases its tourism value, which also leads to the

improvement of the city's residents' quality of life and helps develop the city's economy. The city's tourism also promotes its global image and has a multiplier effect in the labor market and the service sector (Loh, W. Y., 2011: 14).

In the past few years, the city has grown to be one of the preeminent tourism destinations in the nation. The city's tourism industry has been pro-

jected as one of the prime factors influencing the growth of the economy due to the inflow of visitors from across the world. The above-mentioned

points give sufficient reasoning to study models of tourism development in the following ways (Figure 1).

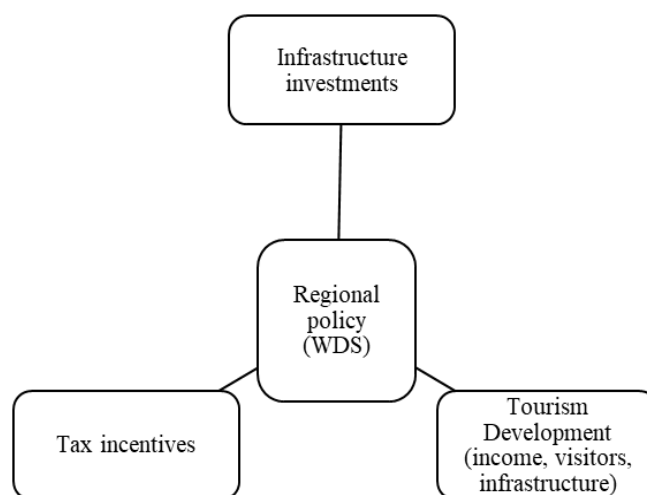


Figure 1 – Concrete models of tourism development

Note – compiled by the author

The above-mentioned factors currently require drastic research through various models of studying the opinions of the general public through various surveys and observations. However, in recent years, the increasing usage of big-data analytics to promote decision-making in the field of geographical locations has raised popularity due to its capability to provide information regarding the location through various models of POI data points, geographical information of various social sites, and location information of various mobile network operators (Wu, S., 2025: e0298056).

In addition, the regional development policy of the PRC has also had the same effect on the geo-

graphic pattern of tourism development. Since the beginning of the twenty-first century, the Chinese government has been promoting the Western Development Strategy (WDS). The aim of the WDS has been to eliminate the development lag of the western part of the PRC and to address the inequality of society as a whole. The WDS has been identified as the longest regional policy of the post-reform era. In the context of the WDS, the target has been to improve the economic prospects of the twelve provinces and the development prospects of the five autonomous regions. The first stage of the research focused on analyzing the trends in tourism revenue, detailed in the following table (Table 1).

Table 1 – Tourism revenues in China, 2000–2020 (in billion USD). The table includes data to illustrate the trends and key indicators of the tourism sector.

Year	Domestic tourism revenue (bn USD)	Inbound tourism revenue (bn USD)	Share of the western region (%)
2000	317 bn USD	100 bn USD	10 %
2010	1 257 bn USD	228 bn USD	18 %
2020	3 995 bn USD	440 bn USD	25 %

Note – compiled by the author

As shown in the table, tourism revenues from domestic and inbound flows in China demonstrated a steady growth trajectory between 2000 and 2020. In 2000, domestic tourism generated 317 billion yuan and inbound tourism 100 billion yuan, whereas by 2020 these figures had increased to 3,995 billion yuan and 440 billion yuan respectively. Thus, revenues from inbound tourism grew by approximately a factor of 4.4. From a regional perspective, the share of tourism income attributable to the western regions

of China also rose markedly – from 10% in 2000 to 25% in 2020. This shift underscores the important role of tourism in stimulating economic activity in the western and central provinces of the country and in mitigating interregional income disparities (Fan, C. C., 2008: 18).

In addition, the expansion of tourism has had a positive effect on the national labour market, particularly by contributing to the creation of new jobs in the service sector (Table 2).

Table 2 – Changes in employment in tourism and the service sector in China, 2000–2020 (in thousands of employees). The table includes data to illustrate the trends and key indicators in employment within the tourism and service sectors.

Industry	2000 year (number of people)	2020 year (number of people)	Change (%)
Tourism and services	3.1 million people	8.9 million people	+187%
Industry and construction	10.5 million people	14.8 million people	+41%
Note – compiled by the author			

The findings indicate that between 2000 and 2020, the number of people employed in tourism and related service sectors in China increased substantially. Whereas in 2000 these sectors employed 3.1 million people, by 2020 this figure had risen to 8.9 million, representing an increase of 187%. For comparison, employment in industry and construction grew by only 41% over the same period. These data demonstrate that tourism has become an important economic factor in diversifying the national labour market and generating new jobs (Gao, S., 2017: 446–467). Furthermore, the development of the tourism industry and increased investment in regional infrastructure have contributed to a marked reduction in poverty levels in the western regions (Table 3).

Table 3 – Dynamics of poverty levels in Western China, 2000–2020

Year	Share of the population living below the poverty line %
2000	20.3%
2010	10.5%
2020	0.6%
Note – compiled by the author	

According to Table 3 above, the rate of poverty in the western regions of China has dropped from 20.3% to 0.6% from the year 2000 to the year 2020.

This makes it clear that the development of tourism and the economic policy of the region has been quite effective. The development of the tourism sector through the development of the sector's infrastructure has helped in improving the income levels of the people and has reduced the levels of poverty by a factor of 33 (Qin, X., 2023: 359–385).

The existence of rich natural, historical, and cultural resources in the western region has facilitated the positioning of the tourism sector as the “backbone” of the regional economy. According to statistical information, from 2002 to 2010, the revenue of the tourism sector of Western China recorded a dramatic growth from 18.36 billion US dollars to 103.7 billion US dollars, while the number of tourists also jumped from 304.6 million to over 1 billion. However, there has been insufficient research carried out from the scientific community about whether this growth can be accredited to the direct results of the application of the WDS policy or the overall growth of this sector at the national level (Qian et al., 2021: 101552).

In this context, the objectives of the current study are to find the causal effect of regional policy on the development of tourism and to develop efficient ways of planning city tourism based on spatial information. In general, the study will address the following objectives:

- to assess the effect of WDS on the tourism sector within a causal framework through a spatial Regression Discontinuity Design (spatial RDD).

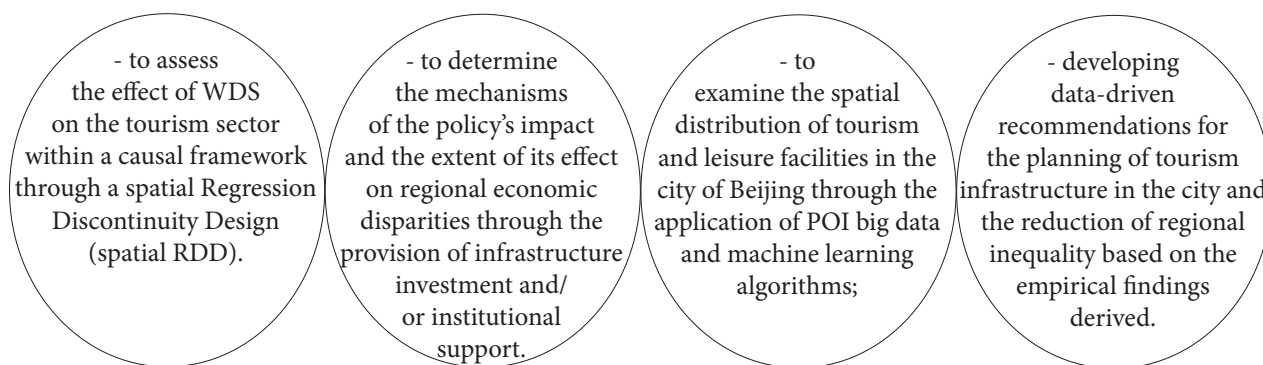


Figure 2 – Conceptual framework of the study

Note – compiled by the author

- to determine the mechanisms of the policy's impact and the extent of its effect on regional economic disparities through the provision of infrastructure investment and/or institutional support.

- to examine the spatial distribution of tourism and leisure facilities in the city of Beijing through the application of POI big data and machine learning algorithms;

- developing data-driven recommendations for the planning of tourism infrastructure in the city and the reduction of regional inequality based on the empirical findings derived.

The scientific significance of the problem: the relevance of the problem consists in the fact that the tourism sector is a complex system that relies on the multisectoral economy. The development of the latter occurs to a large extent depending on the type of regional policy, the level of the state's infrastructure development, as well as the quality of spatial planning (Li, X., 2020: 100608). The previous researches mainly estimated the impact of policy through the comparative method, which has the disadvantage of endogeneity. To overcome this drawback, the current research intends to apply the method of the spatial Regression Discontinuity Design (spatial RDD) to measure the exact causal impact of the policy. The study will be based on the framework of spatial RDD & POI big data & CART algorithms.

The results provide new insights into the relationships between regional inequality, the development of transportation infrastructure, and tourism. By integrating the results from the RDD estimation method with those obtained through machine learning algorithms applied to tourism economics, the study not only establishes a novel research framework but also produces detailed, data-driven findings that can support the National Bureau of

Statistics of China in creating more accurate and evidence-based datasets for evaluating regional policy effectiveness (National Bureau of Statistics of China, 2010). Thus, integrating the methodology of spatial regression discontinuity design (RDD) with POI big data analytics and machine learning algorithms creates not only a new research toolkit, but also a practical mechanism for improving the quality of official statistics. The data obtained in the course of the study make it possible to move from stating the facts of growth in tourism revenues, for example, in the western regions of China, to an evidence-based assessment of the contribution of a specific policy – the Western Development Strategy (WDS)- to this growth. The 'pure' causal effect of 5.9–6.7% identified using RDD provides statistical agencies, such as the National Bureau of Statistics of China, with a benchmark quantitative indicator of the effectiveness of such large-scale regional programmes.

In addition, the model developed for Beijing based on POI data and the CART algorithm demonstrates how big data and machine learning can serve as the basis for creating detailed spatially referenced datasets. Instead of averaged indicators for a city or district, this methodology allows the generation of data with high geographical resolution (at the 1x1 km level), directly linking the location of tourist infrastructure with population density, transport accessibility and the availability of related services (hotels, shopping centres). This enables the National Bureau of Statistics to generate not just reporting data sets, but also analytical and predictive data sets. Such data can be used to accurately assess the impact of infrastructure projects that have already been implemented, as well as to model the potential effect of planned investments, which is extremely impor-

tant for justifying budget allocations and strategic planning with a view to reducing regional inequality. In fact, the study offers a roadmap for enriching traditional statistical accounting with evidence-based, causal and spatially detailed insights.

The target of this research study will be regional development policy and the tourism sector in the PRC, which will also encompass the regions affected by the Western Development Strategy and the large city aggregates.

The research subject involves the role of regional policy in developing the tourism sector and reducing regional economic disparity. In addition to this, the spatial distribution of tourism and leisure facilities in the core districts of the city of Beijing also forms the research subject.

The main hypothesis of the study is that the Western Development Strategy leads to the development of the tourism sector due to the enhancement of infrastructure investment and the provision of tax incentives, which ultimately helps in the mitigation of regional economic disparities, and the spatial distribution of tourism and leisure facilities can be predicted through the use of POI big data, the density of the population, and transport accessibility.

It is important to note that while the first research component focuses on the Western Development Strategy (WDS) and its impact on tourism in western regions, the second component considers Beijing as a separate case study. Beijing, as the capital and a major tourist centre in eastern China, was chosen not as a WDS target but as a case study of a developed metropolis where advanced spatial analysis using big POI data and machine learning can be applied. This two-tiered approach allows us to: 1) assess the causal relationships of regional policy (WDS) at the macro level and 2) demonstrate a modern methodology for optimising tourism infrastructure planning at the city level, which can subsequently be applied to cities within WDS regions.

Literature review

The interplay of tourism and regional economic development has, during the last decade, emerged as one of the main research trends in the field of regional science and economic geography. A number of studies have revealed the positive effect of tourism as a factor of economic growth and regional income distribution (Croes & Vanegas, 2008; Yang et al., 2021). On the other hand, researchers mentioned above also identify that irregular development of tourism can contribute to the aggravation of

socio-economic differences between regions (Liu, M., 2020; Fang et al., 2021). This can be especially topical concerning the situation of large nations like China.

In an effort to rectify regional disparity issues, the Chinese government introduced the Western Development Strategy (WDS). This has been regarded as one of the significant national initiatives concerning the geographic redistribution of economic and social development (Lu, 2011 & 2013; Grewal, 2011; Zheng et al., 2022). The main purpose of the WDS has been to unlock the development possibilities of the less-developed western regions through improved transport and tourism infrastructures, attractiveness of investment opportunities, and increased government subsidies (Chen et al., 2013). Although it has been found in previous studies that the WDS has positively affected regional economic development and investment (Démurger et al., 2002 & Wang & Wei, 2020), its effect remains unestablished from a causal point of view in the tourism sector.

In recent years, spatial data and various types of big data have been used widely to evaluate the development of tourism. In particular, the available POI (Points of Interest) data allows the functional structure of cities, the level of tourism attractiveness, and the intensity of the service sector's activity to be described accurately (Lu et al., 2020; Xu, 2024; Yi, D., Yang, J., Liu, J., Liu, Y., & Zhang, J. 2019). In this study, the POI data and the ML approach will also be used to study the geographical distribution of tourism and entertainment facilities in the main city districts of the Chinese capital of Beijing. The fact that this information has geographic coordinates at particular locations allows micro-level research of the economic and tourism processes in each of the regions studied. An important trend in this field has recently become the development of new sources of information of the type 'nightlight images,' which can be used alternatively as a new indicator of regional economic activity (Gibson, 2021).

Although classical econometric methods, like Difference-in-Differences and Fixed Effects models, remain widely used to study the relationship between tourism and regional policy, they do not consider spatial interdependencies and border effects properly (Anselin, 2010). During the last few years, in order to overcome the above limitations of previous methodologies, the Regression Discontinuity Design method incorporating spatial information (spatial RDD) has been employed rather frequently (Keele & Titiunik, 2015; Dell, 2010). Using spatial

RDD, it becomes possible to isolate the causal effect of a policy through the identification of cities along the border of the policy effect and identify the effect of geographical localization accurately. This method sets a new standard in the evaluation of the effectiveness of regional development and tourism policy (Dong et al., 2019).

In the study of the relationship between the development of tourism and regional inequality, the role of machine learning algorithms has also gained increasing significance. Using algorithms involving Random Forest, XGBoost, and GWR (Geographically Weighted Regression) allows researchers to address the complications of multiple factors in the development of tourism and identify spatial patterns (Du et al., 2023). By combining POI information and information from social media sites, the above algorithms can accurately predict the density of tourism development in cities and intercity differences and the impact of policy intervention (Xu, 2022).

In summing up the existing modern research literature, the complexity of the data level involved in analyzing the interaction of tourism and regional policy problems and the significance of spatial causal analytics are revealed. The WDS and other regional initiatives represent direct policy experiments at which the problem of regional inequality in the development of tourism in the PRC can be mitigated. To correctly interpret the effect of the described regional initiatives in concrete empirical research will require novel research designs involving spatial data (data of POI, nighttime lights data, and big social media data), together with the application of machine learning methodologies.

Therefore, although there has been relevant research concerning the interrelated topics of tourism, regional policy, and regional economic inequality from diverse perspectives, there has been insufficient research concerning the effect of the Western Development Strategy upon the tourism sector from the viewpoint of spatial RDD in the context of a causal model and the spatial distribution of the tourism infrastructure of cities from the intersection of POI big data and the application of ML algorithms. This paper aims to fill this research gap.

Materials and methods

The research examines the relationships existing between regional policy, tourism, and city infrastructure at two interrelated scales: the national and regional level as framed within the Western Development Strategy (WDS), and the intra-urban level in

the central districts of the city of Beijing.

The research question being asked is: What is the impact of regional policy on the development of tourism and regional disparities, and to what extent can the distribution of tourism and leisure facilities in a large city be predicted through the usage of POI big data and the density of the population? The hypothesis of this research is that the WDS has a positive impact on the development of tourism due to its supporting role in the development of the region's infrastructure and thus leads to the reduction of regional disparities, and at the same time the distribution of tourism and leisure facilities can be predicted.

From the methodological point of view, the research combines three elements: (1) a descriptive analysis of national and regional statistics, (2) the synthesis of existing spatial RDD research concerning the WDS, and (3) the micro-level model of POI big data and the CART algorithm used in the context of Beijing.

Study areas and data

The macro-level analysis covers all regions affected by the OBD. Beijing was deliberately chosen for the micro-level study, even though it is not a target city for the OBD. As a global metropolis with a developed tourism sector and high data availability (POI, infrastructure, population), Beijing serves as an ideal testing ground for the proposed POI methodology and machine learning. The ideas and models obtained in Beijing are designed to be used for analysing and planning tourism infrastructure in other cities, including in western China, within the framework of the WDS.

In the macro approach, the research area extends to the land of China with the emphasis being on the regions defined in the WDS. The relevant data concerning earnings from domestic and incoming tourism, the number of people employed in tourism and the services sector, as well as the level of relative poverty from the years 2000–2020 were collected from the government publication of the National Statistical Office of China (China Statistical Yearbook). The purpose of the data collection was to develop narrative statistical tables concerning the earnings and the fall of relative poverty levels of the regions of the west.

A micro-level study will target the main urban districts of Beijing because this region constitutes one of the most advanced and complex environments of its type in the whole of China. Three main sources of data were used:

- POI data from the AutoNavi (Amap) platform, containing the coordinates of 566,932 facilities as of October 2023.

- population data from the WorldPop project in the year 2020, with a spatial resolution of 100 meters;

- urban infrastructure and transport information from the official statistical reports as well as OpenStreetMap.

The study area was partitioned into a regular grid of squares of size 1 x 1 km. This resulted in the formation of 1548 valid grid squares. The number of facilities and the existence of facilities for each of the grid squares were measured through a series of points of interest (POI) classifications based on the functional classification of the city.

Macro-level component: WDS, tourism and regional inequality

The macro-level research investigates the causal effect of the Western Development Strategy (WDS) of China on the development of the tourism industry.

In previous researches, the hypothesis that there is a larger contribution of tourism to the GRP in regions located inside the WDS than in their neighboring regions has been tested. For the current article, instead of re-estimating the previous models, the results of the previous researches will be used.

A large number of studies used spatial Regression Discontinuity Design (spatial RDD) to compare regions inside the WDS framework to those regions which lie outside the framework. This method takes advantage of the policy boundary and controls the initial similarity of the territories to better identify the causal effect of regional policy on the growth of tourism income.

In our research, the above-mentioned findings at the macro-level of research are combined to outline the general trends of tourism development during the WDS. Proceeding from this general outline of the trends of tourism development during the WDS, the micro-level research gives a particular emphasis to the example of the city of Beijing and utilizes the big data of the points of interest and the possibilities of machine learning algorithms applied to this data to identify the spatial distribution of the tourism infrastructure of the city.

Micro-level component: POI big data and CART model for Beijing

The case study region selected was the city of Beijing, which is the political and cultural capital

of the People's Republic of China. This city reflects one of the regions in the country which has been heavily urbanized, whereby the development of tourism and recreation has also been spatially concentrated. The region of study will be the urban region of the city of Beijing.

The study area was partitioned into a uniform grid of cells of size 1 × 1 km. A total of 1,548 grid cells were defined, enabling the distribution of facilities in the city to be examined in a relatively homogeneous fashion. Indicators were summed together at the level of each cell regarding the factors of population, tourism facilities, and public service facilities.

The data sources and characteristics of the data are:

- POI data from the AutoNavi (Amap) platform – 566,932 spatial points as of October 2020, representing the geographical locations of particular facilities in various sectors.

- population data from the WorldPop project (2020) – raster data of population density with a spatial resolution of 100m.

All points of interest were coded under 14 primary groups, which included transport infrastructure, educational institutions, healthcare facilities, public organizations, retail, culture, household services, facilities for leisure and tourism, and others. Per grid cell, the existence and non-existence of the above interest facility types were noted through binary coding (0 – absent, 1 – existing).

The research work involved various stages:

1. Spatial grid formation and POI data integration. The count and distribution of POI points were calculated for each of the 1 × 1 km grid cells by aggregating the points within each grid cell.

2. Binary Encoding & Dataset Creation. The grid cells representing regions containing tourism & leisure activities and regions without tourism & leisure activities were coded through binary indicators.

3. Balancing the data and the development of the machine learning model. An equal number of samples were chosen as positive (when the facility existed) and negative (when the facility did not exist).

4. Application of the Classification and Regression Tree (CART) algorithm. This approach was employed in this study to evaluate the effect of each type of infrastructure studied on the location of tourism facilities.

5. Generating a predictive map. Using the resultant model, a total of 629 sites of high potential for the development of tourism facilities were identified.

6. Model validation. The model resulted in predictive accuracy of 83.5%, which shows that the model was reliable.

7. Hypothesis testing. The above steps were intended to test the hypothesis that the spatial pattern of tourism and leisure facilities is statistically significantly related to the density of hotels, shops and service enterprises, transport accessibility, and the density of the population.

The new methodological approach has various benefits over conventional data gathering methodologies:

- the capability of processing mass data in a short period of time;
- a high level of spatial precision (ranging from 100 m to 1 km).
- a reduction in the impact of human subjectivity because of the application of machine learning.

In the context of the study, the pre-processing of the data and descriptive statistics, spatial statistics (Moran's Index, MSA), classical regression models, as well as models based on the CART algorithm from the field of machine learning were used collectively.

Certain limitations can be noted in the study: the incompleteness of the POI coverage and the rate of data update may cause slight distortions in the model results. However, the results achieved allow

the development of a model of spatial distribution of tourism facilities in Beijing from a scientific point of view.

In general, the combined method involving spatial analytics methodologies and machine learning has proven to be rather effective at planning the tourism infrastructure of large cities. The combined method involving POI big data and maps of the population density of regions can be used for decision-making in planning the tourism sector and can also be applied elsewhere.

Results and discussion

The results of the study reveal clear spatial regularities in the distribution of tourism and leisure facilities within the core urban area of Beijing. By combining POI data with population-density information and conducting the analysis at the level of a 1×1 km grid, it was found that tourism facilities are markedly concentrated in the central parts of the city, while they occur far more sparsely in peripheral zones. This pattern reflects the centre-periphery inequality characteristic of metropolitan structures, as noted by Zhang (2018) and Tan et al. (2020). On the basis of these data, a detailed geographic map of the spatial configuration of tourism and leisure facilities was produced (Li, X., 2021: 1213–1231).

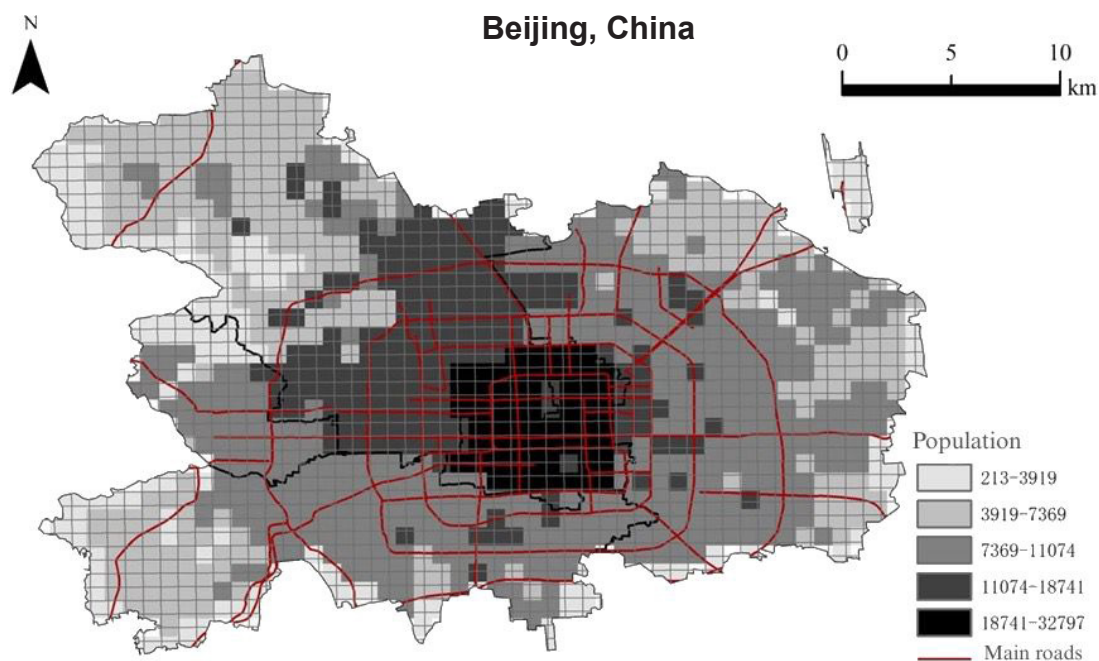


Figure 3 – Prospective sites for the location of new tourism and leisure facilities within the urban area of Beijing (population)

Note – compiled by the author based on Li, X. (2021: 1213–1231).

The POI information of Amap (AutoNavi) contains 566,932 points of interest organized into 14 groups. The data encompasses the city's infrastructure. The main groups are public services, transportation, and household facilities of infrastructure. The entertainment and tourism sector mainly comprises the Dongcheng, Xicheng, and Haidian districts. In the regions mentioned above, the main factor that directly contributes to the development of the tourism sector can be observed as the high density of the region's human population. Using WorldPop information, about 50.2% of the city's population lives in the above regions (He, D., 2021: 12252).

The trends observed are consistent with the findings of Croes & Vanegas (2008) and Yang et al. (2021), which stress the significance of tourism in job creation and income diversification. However, the results of the current study confirm that the extent of this change surpasses national levels and thus reflects the multiplicative impact of the regional policy.

The use of the Classification and Regression Tree (CART) algorithm helped the model accurately predict the possible locations of tourism and leisure facilities in the city. In the training data set, the number of "positive" and "negative" cells was chosen equally from the data set. The algorithm has detected 629 locations of high potential, which are mainly concentrated around the transport network and the city center. The main factors that contribute to the distribution of tourism and leisure facilities in the city are the transport network, residential density, and the provision of public services.

The relevance of hotels and shopping centers relates to the findings of Gao et al. (2017) and Du et al. (2023). They indicate the strong relationship that exists between the density of tourism in cities and the agglomeration of services and shopping centers. Additionally, our model puts a greater significance on the role of population density than the previous model did in the spatial distribution of residential buildings and tourism-leisure facilities.

The model resulted in a predictive accuracy level of 83.5%, which indicates the immense accuracy of the CART model technique used in the study and its ability to accurately predict the tourism potential of the urban area. Moreover, the model accurately described the characteristics of the sizes of the various types of infrastructural components and their contribution to the probabilities of the locations be-

ing tourism sites. This indicates a strong relationship that exists between the levels of the city's infrastructural development and the level of tourism.

To illustrate the application of POI data classification in urban studies, Table 4 presents an example from the existing literature that details the classification of objects in Guangzhou (adapted from Li, X., 2025). While the absolute figures are specific to Guangzhou and its unique context, this classification scheme illustrates the type of structural analysis that our study conducts for Beijing. The key point for comparative analysis of cities is not to directly compare the final indicators, but to understand the relative weight and composition of various functional categories (e.g., transport, trade, tourism) in the urban infrastructure.

By comparing the results of the CART model to the case of Beijing, it can be observed that the results of the model regarding the role of the density of hotels and the accessibility of transport in the formation of the distribution of tourism and leisure facilities match the findings of Gao et al. The model results also confirm the role of the density of the population in defining the spatial distribution of the tourism facility distribution: in the high-density central part of the city, the density of the tourism facilities reaches its maximum value. The model results also indicate the existence of high-potential but currently under-explored regions of the peripheral residential districts of the city. Therefore, the results of the model allow planners to identify the regions of priority allocation of the newly emerging tourism and leisure facilities.

As shown in Table 4 (adapted from Li, X., 2025), the distribution of POI categories for Guangzhou shows, for example, that corporate facilities form the dominant group. This shows the rapid growth of businesses and industries in the city. This is followed by transport facilities at 72,247 and food and beverages at 71,080. These three comprise the basic infrastructural elements that contribute to the city's tourism attractiveness. The science and education facilities also come in at a high number of 58,500, establishing the city as the intellectual and cultural hub that it is. However, the grouping that relates directly to recreation and tourism has a low number of only 7,366 facilities. However, each one of them has a crucial role in establishing the city's image as a tourist destination (Chen, R., 2020: 637).

Table 4 – Categories of POI facilities in Guangzhou's urban infrastructure and their influence on tourism

Level I category	Level II category	Facility type	Number of POI (units)
Core service facilities	Transport facilities	Airports, railway stations, metro stations, bus terminals, etc.	72 247
	Science, education and culture facilities	Schools, colleges, cultural centres and research institutes	58 500
	Medical facilities	Hospitals, clinics, pharmacies and emergency medical centres	23 278
	Public facilities	Public toilets	15 717
	Household service facilities	Post offices, laundries, beauty salons, offices, etc.	44 040
	Finance and insurance facilities	Banks, ATMs and insurance companies	21 295
Commercial service facilities	Hotels	Hotels, hostels and serviced apartments	4 568
Administrative facilities	Retail	Supermarkets, markets and shopping centres	7 550
	Food and beverage establishments	Restaurants, fast-food outlets and cafés	71 080
	Governmental and public organisations	Government bodies, administrative offices and social institutions	46 016
	Corporate facilities	Companies, cooperatives, agricultural and horticultural organisations	132 613
	Commercial residential buildings	Residential buildings, villas and industrial parks	31 455
Leisure and entertainment facilities	Sports and recreation	Stadiums, cinemas, sanatoriums and playgrounds	31 279
	Tourism and leisure facilities	Tourist attractions, museums, parks, aquariums and resorts	7 366
Total			566 932

Note – compiled by the author

The findings indicate that the intensity of tourism and leisure facilities' distribution is concentrated in the inner districts, while the number of facilities drops considerably towards the outskirts of the city. The distribution of the facilities can be explained in terms of 'point clustering in the central districts and dispersion in the outer districts,' where the facilities are concentrated in the form of points in the central districts, while the points are dispersed in the outer districts. The optimized model used the machine learning approach to identify suitable sites of 629 locations out of the 1,548 valid grid cells. The classification accuracy of the model showed that 83.5% of the predicted locations actually had the facilities.

The model has also noted particular off-grid regions as having a high level of development potential: Various regions in the outer edge of Haidian

District and the Chaoyang District's Western region demonstrated the capability of development even though they are not close to the arterial road network (Deng, T., 2019: 1-16). Out of the 373 grid cells that existed along the 102 streets in the high-density regions, the target locations of high development priority were chosen to be 240. They mostly lie in Dongcheng, Xicheng, Chaoyang, Haidian, FengTai, and Shijingshan districts and others in the peripheral regions.

The predictive analysis shows that the application of POI data and the approach of ML algorithms enables the objective optimization of the spatial distribution of tourism and recreation facilities in the city to a large extent, reducing the level of subjectivity in the decision-making process. The decision model built on the CART algorithm presents explicit recommendations regarding the location of new fa-

cilities, which demonstrates its high practical value for the management of the city's infrastructure and tourism. Figure 3 shows the final locations of the suggested sites: in total, 240 new tourism facilities are expected to be built in the high-density regions (marked in green color).

The results of the statistical dynamics conclusively show the impact of tourism on regional economic development and social factors under the WDS. During the years from 2000 to 2020, the growth of the number of people employed in the tourism industry greatly outpaced the average growth of the general economy, supporting the find-

ing that tourism has played a role in developing the labor market through the development of the service sector. The findings also support the views of Croes & Vanegas and Li regarding the impact of tourism on the labor market.

In addition, the fact that the level of poverty has dropped considerably in the WDS regions attests to the indirect impact of tourism in redistributing wealth, as described in the work of Fang and others. On the other hand, the findings in this study also confirm that the economic base and transport infrastructure of regions where the role of tourism has grown have played an important role.

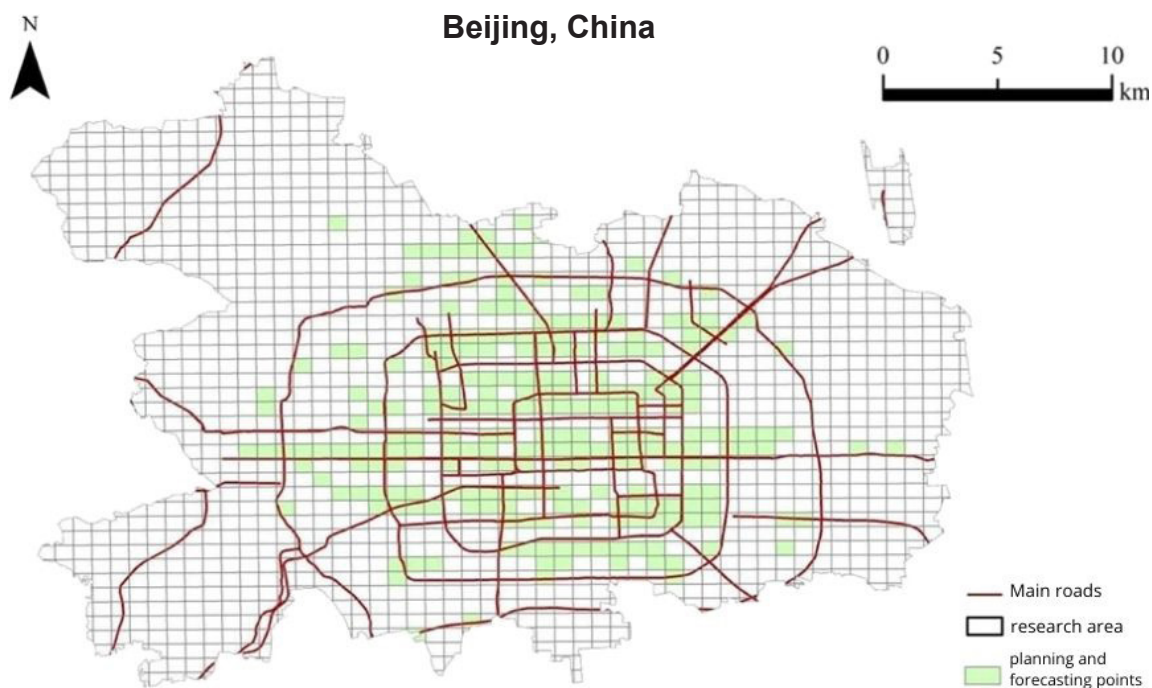


Figure 4 – Prospective sites for the location of new tourism and leisure facilities within the urban area of Beijing (green grid cells), showing main roads, study area, and planning points

Note: Map of Beijing, China

Note – compiled by the author based on the data source

Figure 3 shows, in green, the grid cells that the model identifies as promising sites for the location of new tourism and leisure facilities within the main urban districts of the city. This visualisation clearly reflects the influence of infrastructural factors in the city centre and in high-density residential areas – in particular, transport, retail, and public services – on the siting of such facilities. At the same time, the presence of green cells in some peripheral districts indicates locations that may be considered as potential areas for future tourism infrastructure development.

These results suggest that, within the framework of the WDS, tourism contributes at the macro level to reducing regional inequality, while the Beijing case illustrates, at the micro level, the spatial patterns generated by infrastructure and population density.

By combining macro-level (national and regional) WDS dynamics with micro-level (Beijing) spatial analysis, it becomes possible to discern the multi-level linkages between tourism policy and urban infrastructure. In the long term, regional policy can support tourism as a means of promot-

ing employment and reducing poverty, whereas at the micro scale, the configuration of infrastructure, transport accessibility, and population density determines which specific districts become attractive for tourism development. This two-level perspective is crucial for data-driven planning: where national strategy designates tourism as a priority sector, cities can employ POI big data and machine-learning methods to develop concrete spatial solutions for investors and local authorities.

Conclusion

This study used a two-level analytical system. First, it assessed the impact of Western development strategies on tourism growth and regional inequality at the macro level. Second, using Beijing as a representative developed city, it demonstrated the application of POI big data and machine learning for spatial planning of tourist attractions at the micro level. Although Beijing itself is not a direct beneficiary of the WDS, the methodology developed here is directly applicable to cities in western China, offering a data-driven tool to support the strategic goals of the WDS by optimising investment in tourism infrastructure and reducing intra-regional disparities.

In this research work, the analysis of the geographical distribution of tourism and leisure facilities in the core districts of the city of Beijing has been carried out using the POI data and the CART algorithm. The findings of this research work confirm the high concentration of tourism and leisure facilities in the city center and the significant impact of infrastructural attributes – hotels, shopping centers, transportation infrastructure, and public services – as well as the distribution of the city's population. The findings of the research work can also be applied to the wider concept of smart tourism.

The model's predictive accuracy was at 83.5%, thus validating the effectiveness of ML models in analyzing tourism potential within the city space. Moreover, the model suggested the possible locations in the peripheral regions, thus being instrumental in informed decision-making regarding the location of new infrastructure development. The predictions were effective in identifying regions within the outer districts to which the boundaries of promising locations in Dongcheng, Xicheng, Chaoyang, Haidian, and Fengtai could be committed.

Therefore, the research goal has been accomplished, and the primary hypothesis has been con-

firmed: the hypothesis according to which the built environment of the city and the density of the city's population statistically significantly affect the geographic concentration of the points of interest of the tourism and leisure sector has been proven correct. The paper has also demonstrated the effectiveness of the combination of POI big data and the CART model in this context.

Concerning the smart tourism cities' point of view, the study has clearly shown the applications of data and machine learning algorithms regarding the spatial allocation of tourism and leisure facilities. The results of the study demonstrated that the local infrastructure and the residents' distribution are the main factors determining the location of new facilities. The paper's authors also noted the limitations of the current method's ability to provide a precise distinction of each type of facility and emphasized the necessity of a more detailed research approach in the future. In addition, it has been suggested that the next studies should combine the applications of the novel technologies of big data, the Internet of Things (IoT), and artificial intelligence.

In general, the research provides a set of findings of significance both in practice and in science concerning the development of urban tourism and the identification of efficient management strategies. The findings of the research provide novel methods of spatial pattern identification in the context of urban tourism and can be used to facilitate decision-making of city administrations and the tourism industry.

Conflict of Interest Statement

The authors declare no potential conflicts of interest regarding the research, authorship, or publication of this article.

Acknowledgments

(1) This research was funded by the Science Committee of the Ministry of Science and Higher Education of the Republic of Kazakhstan (Grant No. AP26198345, title: "Reducing socio-economic inequality in the regions of Kazakhstan through investment in and improvement of the organization of the healthcare system"), and (2) within the framework of writing a thesis of the first and second co-author's article on an educational grant from the Ministry of Science and Higher Education of the Republic of Kazakhstan.

References

- Chen, R., Yan, H., Liu, F., Du, W., & Yang, Y. (2020). Multiple global population datasets: Differences and spatial distribution characteristics. *ISPRS International Journal of Geo-Information*, 9(11), 637.
- Croes, R., & Vanegas, M. (2008). Cointegration and causality between tourism and poverty reduction. *Journal of Travel Research*, 47(1), 94–103.
- Demurger, S., Sachs, J. D., Woo, W. T., Bao, S., Chang, G., & Mellinger, A. (2002). Geography, economic policy, and regional development in China. *Asian Economic Papers*, 1(1), 146–197.
- Deng, T., Hu, Y., & Ma, M. (2019). Regional policy and tourism: A quasi-natural experiment. *Annals of Tourism Research*, 74, 1–16.
- Fan, C. C., & Sun, M. (2008). Regional inequality in China, 1978–2006. *Eurasian Geography and Economics*, 49(1), 1–18.
- Fang, Y., Yin, J., & Wu, B. (2021). Can tourism development improve urban livability? A double machine learning approach. *Journal of Destination Marketing & Management*, 20, 100568.
- Gao, S., Janowicz, K., & Couclelis, H. (2017). Extracting urban functional regions from points of interest and human activities on location-based social networks. *Transactions in GIS*, 21(3), 446–467.
- Gibson, J., & Boe-Gibson, G. (2021). Nighttime lights and county-level economic activity in the United States: 2001–2019. *Remote Sensing*, 13(14), 2741.
- Grewal, B. S. (2011). China's economic growth and its regional development strategy: The case of Western Development. *Journal of Contemporary China*, 20(71), 681–699.
- He, D., Chen, Z., Ai, S., Zhou, J., Lu, L., & Yang, T. (2021). The spatial distribution and influencing factors of urban cultural and entertainment facilities in Beijing. *Sustainability*, 13(21), 12252.
- Li, X., & Law, R. (2020). Network analysis of big data research in tourism. *Tourism Management Perspectives*, 33, 100608.
- Li, X., Li, H., Pan, B., & Law, R. (2021). Machine learning in internet search query selection for tourism forecasting. *Journal of Travel Research*, 60(6), 1213–1231.
- Li, X., Yang, T., Meng, B., Chen, S., & Zhang, S. (2025). Analysis of tourist behavior patterns and perceptions in Beijing based on user-generated content data. *Applied Spatial Analysis and Policy*, 18(3), 1–25.
- Liu, M., & Hao, W. (2020). Spatial distribution and its influencing factors of national A-level tourist attractions in Shanxi Province. *Acta Geogr. Sin.*, 75(04), 878–888.
- Loh, W. Y. (2011). Classification and regression trees. *Wiley Interdisciplinary Reviews: Data Mining and Knowledge Discovery*, 1(1), 14–23.
- Lu, J. (2011). Evaluation of the Western Development Strategy: Effectiveness, challenges and the way forward. *Chinese Economy*, 44(5), 6–24.
- Luo, Q., Liu, Y., Bi, M., Kuai, X., Tian, Q., Sun, Y., & Zhuang, S. (2024). Taste mapping: Navigating the spatiotemporal link between diet and colorectal cancer. *IEEE Access*, 12, 17735–17747.
- National Bureau of Statistics of China. (2010). *China statistical yearbook 2010*. China Statistics Press.
- Qian, J., Liu, Z., Du, Y., Liang, F., Yi, J., Ma, T., & Pei, T. (2021). Quantifying city-level dynamic functions across China using social media and POI data. *Computers, Environment and Urban Systems*, 85, 101552.
- Qin, X., Wei, Y. D., Wu, Y., & Huang, X. (2023). Regional development and inequality within city regions: A study of the Yangtze River Delta, China. *Geographical Review*, 113(3), 359–385.
- Yang, Y., Fik, T., & Li, X. (2021). Tourism and regional income inequality: Evidence from China. *Annals of Tourism Research*, 88, 103163.
- Yi, D., Yang, J., Liu, J., Liu, Y., & Zhang, J. (2019). Quantitative identification of urban functions with fishers' exact test and POI data applied in classifying urban districts: A case study within the sixth ring road in Beijing. *ISPRS International Journal of Geo-Information*, 8(12), 555.
- Wang, C., & Wei, Y. (2020). Does the Western Development Strategy promote enterprise investment? Evidence from China. *China Economic Review*, 60, 101399.
- Wu, S., Wang, J., Jia, Y., Yang, J., & Li, J. (2025). Planning and layout of tourism and leisure facilities based on POI big data and machine learning. *PLOS ONE*, 20(3), e0298056.
- Zheng, H., Huang, Y., & Wang, S. (2022). Does the Western Development Strategy promote regional economic growth? A retrospective analysis with a new econometric approach. *Economic Modelling*, 116, 106024.

Information about authors:

Spankulova Lazat Seitkazievna – Doctor of Economic Sciences, Professor, Al-Farabi Kazakh National University (Almaty, Kazakhstan, e-mail: spankulova.lazat@mail.ru);

Elai Erbolat – PhD Student, Abai Kazakh National Pedagogical University (Almaty, Kazakhstan, e-mail: erbolatelai@mail.ru);

Dauletkhanova Yerkezhan Ruslankyzy – PhD Student, Department of Recreational Geography and Tourism, Al-Farabi Kazakh National University (Almaty, Kazakhstan, e-mail: dauletkhanova_e@mail.ru).

Авторлар туралы мәлімет:

Спанкулова Лазат Сейтказиевна – экономика ғылымдарының докторы, профессор, әл-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университеті (Алматы, Қазақстан, e-mail: spankulova.lazat@mail.ru);

Елай Ерболат – PhD-докторант, Абай атындағы Қазақ ұлттық педагогикалық университеті (Алматы, Қазақстан, e-mail: erbolatelai@mail.ru);

Дәулетханова Еркежан Рүсланқызы – рекреациялық география және туризм кафедрасының PhD-докторанты, әл-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университеті (Алматы, Қазақстан, e-mail: daulethanova_e@mail.ru).

Сведения об авторах:

Спанкулова Лазат Сейтказиевна – доктор экономических наук, профессор, Казахский национальный университет имени аль-Фараби (Алматы, Казахстан, e-mail: spankulova.lazat@mail.ru);

Елай Ерболат – PhD-докторант, Казахский национальный педагогический университет имени Абая (Алматы, Казахстан, e-mail: erbolatelai@mail.ru);

Дәулетханова Еркежан Рүсланқызы – PhD-докторант кафедры рекреационной географии и туризма, Казахский национальный университет имени аль-Фараби (Алматы, Казахстан, e-mail: daulethanova_e@mail.ru).

Received: October 1, 2025

Accepted: December 02, 2025

5-бөлім

**ЖОҒАРЫ МЕКТЕПТЕГІ ГЕОГРАФИЯЛЫҚ
БІЛІМ БЕРУ МӘСЕЛЕЛЕРІ**

Section 5

**ISSUES OF GEOGRAPHIC EDUCATION
IN HIGHER EDUCATION**

Раздел 5

**ВОПРОСЫ ГЕОГРАФИЧЕСКОГО
ОБРАЗОВАНИЯ В ВЫСШЕЙ ШКОЛЕ**

**O. Amangeldi^{1*}, K.D. Duisebaeva¹,
A. Kyrbassov², N. Umirzakova¹, T. Kurt³**

¹Almaty Humanitarian Economic University, Almaty, Kazakhstan

²Abai Kazakh National Pedagogical University, Almaty, Kazakhstan

³Gazi University, Ankara, Turkey

*e-mail: ozerke1990@gmail.com

GEOGRAPHICAL CULTURE INDEX AS A TOOL FOR ASSESSING GEOGRAPHICAL THINKING IN SCHOOL AND UNIVERSITY GEOGRAPHY EDUCATION

This study discusses approaches to assessing and developing geographical culture, based on the Geographical Culture Index (GCI) model. The study aims to diagnose the main components of geographical culture (C1-C5) and determine the effectiveness of pedagogical interventions at the school and university level.

The study was conducted at School Gymnasium No. 81 in the Bostandyk district of Almaty and at the Department of Pedagogy of Natural Science and Physical Culture at the Almaty Humanitarian-Economic University. A total of 239 people voluntarily participated in the study, including 143 10-11th grade students and 96 1st-2nd year students specializing in «6B01503 – Training of Geography Teachers».

A mixed-methods approach was used as the methodological framework: quantitative data were analyzed using ANOVA, while qualitative results were assessed based on classroom observation and reflective interviews. Cronbach's coefficient $\alpha = 0.82$ confirmed the instrument's internal consistency and reliability.

The results showed positive dynamics in all components: spatial thinking (+12%), cartographic literacy (+15%), application of methods (+16%), data handling and modelling (+16%), and geographical image and worldview (+17%). The results of the intervention confirmed the effectiveness of the GCI model in forming and assessing geographical culture at school and university levels.

The study's conclusions emphasize the importance of integration and value-based approaches in geographical education, identifying new areas of pedagogical diagnostics.

Keywords: geographical culture, Geographical Culture Index (GCI), spatial thinking, cartographic literacy.

**О. Амангелди^{1*}, К.Д. Дүйсебаева¹,
А. Қырбасов², Н. Умирзакова¹, Т. Күрт³**

¹Алматы гуманитарлық-экономикалық университеті, Алматы, Қазақстан

²Абай атындағы Қазақ ұлттық университеті, Алматы, Қазақстан

³Гази университеті, Анкара, Түркия

*e-mail: ozerke1990@gmail.com

Географиялық мәдениет индексі – мектеп және жоғары оқу орындарындағы географиялық ойлауды бағалау құралы ретінде

Мақалада Geographical Culture Index (GCI) моделі негізінде географиялық мәдениетті бағалау және дамыту тәсілдері қарастырылған. Зерттеудің мақсаты – мектеп пен жоғары оқу орындары деңгейінде географиялық мәдениеттің негізгі компоненттерін (C1-C5) диагностикалау және педагогикалық интервенцияның тиімділігін анықтау.

Зерттеу Алматы қаласы, Бостандық ауданы № 81 мектеп-гимназиясында және Алматы гуманитарлық-экономикалық университетінің «Жаратылыстану педагогикасы және денешынықтыру» кафедрасы базасында жүргізілді. Барлығы $N = 239$ қатысушы зерттеуге ерікті түрде қатысты, олардың ішінде 10-11-сыныптың 143 оқушысы және «6B01503 – География мұғалімдерін даярлау» мамандығының 1-2 курсына оқитын 96 студент бар.

Әдістемелік негіз ретінде аралас әдіс (mixed-methods) қолданылды: сандық деректер ANOVA талдауы арқылы өңделсе, сапалық нәтижелер сабақ барысындағы бақылау және рефлексиялық сұхбаттар негізінде бағаланды. Cronbach's $\alpha = 0.82$ көрсеткіші GCI құралының ішкі сәйкестігі мен сенімділігін дәлелдеді.

Нәтижелер бойынша барлық компоненттерде оң динамика байқалды: кеңістіктік ойлау (+12%), картографиялық сауаттылық (+15%), әдістерді қолдану (+16%), деректер мен модель-

деу (+16%) және географиялық бейне мен дүниетаным (+17%). Интервенция нәтижелері GCI моделінің мектеп және жоғары оқу орындары деңгейінде географиялық мәдениетті қалыптастыру мен бағалауда тиімді құрал екенін көрсетті.

Зерттеу қорытындылары географиялық білім беруде интеграциялық және құндылықтық тәсілдердің маңыздылығын айқындап, педагогикалық диагностиканың жаңа бағыттарын ұсынады.

Түйін сөздер: географиялық мәдениет, географиялық мәдениет индексі (ГМИ), кеңістіктік ойлау, картографиялық сауаттылық.

О. Амангелди^{1*}, К.Д. Дүйсебаева¹,
А. Кырбасов², Н. Умирзакова¹, Т. Курт³

¹Алматинский гуманитарно-экономический университет, Алматы, Казахстан

²Казахский национальный университет имени Абая, Алматы, Казахстан

³Университет Гази, Анкара, Турция

*e-mail: ozerke1990@gmail.com

Индекс географической культуры как инструмент оценки географического мышления в школьном и вузовском географическом образовании

В статье рассматриваются подходы к оценке и развитию географической культуры на основе модели Geographical Culture Index (GCI). Цель исследования – диагностировать основные компоненты географической культуры (C1–C5) и определить эффективность педагогической интервенции на уровне школы и вуза.

Исследование проведено на базе школы-гимназии № 81 Бостандыкского района города Алматы и кафедры «Педагогика естествознания и физическая культура» Алматинского гуманитарно-экономического университета. В исследовании добровольно приняли участие N = 239 человек, среди которых 143 учащихся 10-11-х классов и 96 студентов 1-2 курсов специальности «6B01503 – Подготовка учителей географии».

В качестве методологической основы использован смешанный подход (mixed-methods): количественные данные были обработаны с применением дисперсионного анализа (ANOVA), а качественные результаты оценены на основе наблюдения за учебным процессом и рефлексивных интервью. Коэффициент Cronbach's $\alpha = 0.82$ подтвердил внутреннюю согласованность и надежность инструмента.

Результаты показали положительную динамику по всем компонентам: пространственное мышление (+12%), картографическая грамотность (+15%), применение методов (+16%), работа с данными и моделирование (+16%), географический образ и мировоззрение (+17%). Результаты интервенции подтвердили эффективность модели GCI в формировании и оценке географической культуры на школьном и вузовском уровнях.

Выводы исследования подчеркивают значимость интеграционного и ценностного подходов в географическом образовании и обозначают новые направления педагогической диагностики.

Ключевые слова: географическая культура, индекс географической культуры (ИГК), пространственное мышление, картографическая грамотность.

1. Introduction

Currently, the main goal of geographical education is to foster an environmentally and culturally responsible citizen who has a deep understanding of the interplay between nature and society and can think spatially.

According to the International Charter for Geographical Education (CGE, 1992: 4), geography is an important part of education for all societies, enabling the study of human–environment interactions at global and local levels. The document emphasizes the core mission of geographical education: to develop human spatial cognition and foster an informed attitude towards global environmental and social issues.

Chang and Kidman (2019) argue that the purpose of geographical education is to transmit knowledge and to develop pedagogical and assessment strategies that foster critical and spatial thinking among students (Chang & Kidman, 2019: 2).

Amrullaeva and Muzdybaeva (2021), meanwhile, emphasize the importance of geography education in achieving the Sustainable Development Goals, identifying its potential in fostering environmental responsibility and a culture of global thinking (Amrullaeva & Muzdybaeva, 2021: 14).

Therefore, the content and methodology of geographical education must be geared towards nurturing individuals who are well-equipped to address the global challenges of our time, by fostering spa-

tial thinking, environmental awareness, and a broad cultural outlook among students.

In the era of globalization, the relationship between humans and the environment is evolving, and the significance of geographical culture is growing (Anderson, 2021: 15). Geographical culture is a complex system that encompasses the human capacity to perceive and depict space and to understand the interplay of natural and social phenomena.

According to V.P. Maksakovsky, geographical culture is an integral part of an individual's general culture and is expressed through four main components: geographical thinking, the language of geography, research methods, and the geographical representation of the world (Maksakovsky, 1998). These components determine a person's level of spatial thinking and cartographic literacy, as well as their ability to connect with the environment.

Forming geographical culture is one of the strategic objectives of geography education in schools and universities. Research shows that students' ability to think geographically is related not only to knowledge content but also to the effectiveness of assessment and measurement methods. Mehren & Rempfler (2022) emphasized the importance of a systematic approach to evaluating geographical knowledge, proposing a novel methodology to measure students' capacity to grasp spatial and causal relationships (Mehren & Rempfler, 2022: 22).

Similarly, Virranmäki (2022) reveals the potential of geography education to foster analytical, critical, and creative thinking among students. He emphasizes that a geographical knowledge assessment system only produces effective results when combined with the development of higher-level thinking skills in students (Virranmäki, 2022: 15).

Taking these needs into account, this study proposes a Geographical Culture Index (GCI) model for the first time. This model is the author's methodology for comprehensively assessing students' and learners' geographical culture and determining its developmental effectiveness. The GCI model includes the five main components of geographical culture:

- Spatial and geographical thinking;
- Cartographic literacy,
- Use of geographical methods;
- Data and modelling ability;
- Geographic visualization.

The research focuses on the geographical education process at school and university level.

The subject is geographical culture and spatial thinking among students.

The research aims to determine the level of geographical culture among school and university students and to experimentally test the effectiveness of the author's Geographical Culture Index (GCI) model.

Objectives of the study:

- Analysing the theoretical foundations of the concept of geographical culture.

- Justifying the structural components of the GCI model.

- Assessing the level of geographical thinking and cartographic literacy among students based on the GCI model.

- Statistical analysis of the research results using ANOVA and ANCOVA methods.

- Determining the pedagogical effectiveness of implementing the GCI model in the educational process.

The research question is: "How effective is the proposed Geographical Culture Index (GCI) model for assessing and developing the level of geographical culture among school and university students?"

The hypothesis of the study is that if the GCI model is used in the educational process, it will contribute to improving students' and learners' geographical thinking ability, cartographic literacy, and spatial analysis.

The scientific novelty of the study lies in:

- The GCI model for assessing geographical culture was first proposed as an author's methodology and experimentally tested.

- The structural components of geographical culture have been scientifically substantiated, and a system of pedagogical measurements has been developed.

- The effectiveness of developing students' spatial thinking and cartographic abilities with the help of the GCI model has been proven.

The study involved students from grades 10 and 11 at school-gymnasium No. 81 in the Bostandyk District of Almaty, as well as students from years 1 and 2 of the Department of Pedagogy of Natural Sciences and Physical Culture at the Almaty Humanitarian-Economic University, specializing in the training of geography teachers. The experiment was conducted during April-May of the 2024-2025 academic year.

The results of the study allow pedagogical decisions to be made with the aim of improving the content of geographical education at the school and university levels, updating teaching methods, and developing geographical culture. At the present stage, improving the content of geographical edu-

cation and updating teaching methods is the main condition for improving the quality of education. Developing geographical culture and forming spatial thinking requires an effective combination of pedagogical approaches. In geography teaching, the relationship between content, research and experience is a key mechanism for developing students' critical and analytical abilities (Puttick, 2022: 900). Using innovative pedagogical technologies, such as project-based and problem-based learning methods, activates logical and creative thinking (Belov, 2025: 6). Introducing digital and geoinformation technologies into the educational process improves the quality of geography teaching and creates conditions for enhancing teachers' professional competencies (Usenov et al., 2023: 155).

In this context, integrating modern pedagogical approaches and information technologies is an effective way to develop students' geographical culture and spatial thinking.

2. Literature review

The following areas have been covered by scientific approaches to the research topic and analyses of previous studies.

The issue of the formation of geographical culture and the education of the younger generation remains relevant in the broader context of modern society. According to V. P. Maksakovsky, a lack of geographical education at all levels, from ordinary citizens to managers, creates significant difficulties in the implementation of socio-economic decisions. He also highlights the importance of developing geographical thinking, spatial outlook, and geographical culture in society (Maksakovsky, 1998).

Geographical culture is a system of knowledge and values that reflects the interaction between humans, society, and the environment. It enables us to understand, depict and model regularities in natural and social spaces. It enables individuals to understand the spiritual and moral links between nature and society and fosters environmental responsibility. In Maksakovsky's works, geographical culture is characterized by four main components: geographical thinking, the language of geography, methods of geographical study, and the geographical worldview (Maksakovsky, 1998: 1-3).

Geographical culture is not merely a body of knowledge; it is also a spiritual value that fosters an attitude of creativity, analysis, and environmental responsibility in individuals (Abdurakhmonov, 2021: 77). It explains how humans interact with

the environment and how these connections impact beliefs and social structures. Geographical culture plays a special role in geography education, contributing to students' understanding of how people, places, and the environment interact. By focusing on cultural diversity, geography encourages learners to respect the origins, traditions, and beliefs of different peoples, fostering tolerance and shared values (Singha & Beyond, 2019: 1567). Furthermore, incorporating students' personal cultural experiences into the learning process boosts their engagement with the subject and strengthens the connection between knowledge and real-life applications (Karadeniz, 2020: 45).

From this perspective, the formation of geographical culture is one of the main objectives of geography teaching. It contributes to the personal development of schoolchildren and to the strategic goal of general education: the spiritual and intellectual development of the individual (Baransky, 1934: 10). The structure of geographical culture is based on scientific and general geographical knowledge in the field of modern geography. Its most important component is geographical thinking. Geographical thinking is the human ability to understand spatial cause-and-effect relationships and analyze natural and socio-economic processes in an integrated way. This concept is manifested in two main characteristics: cartographic thinking, which is the ability to recognize geographical conditions on a map and predict how processes will develop, and complex thinking, which is the ability to understand the interrelation of natural and socio-economic processes. This concept was first introduced in 1938 by N.N. Baransky, who emphasized the need to analyse geographical thinking on the basis of a territorial approach. Over the last half a century, the emergence of new theories and methods in geographical science has required 'new geographical thinking' (Maksakovsky, 1998).

Modern research considers the development of geographical culture and spatial thinking through new methodological and technological aspects. Gintsyak (2024: 53) emphasizes the importance of mastering fundamental concepts such as maps, scales, and directions through practical exercises, offering effective strategies for nurturing spatial thinking skills in schoolchildren. Kaymuldinova et al. (2024) analyzed the professional and cognitive aspects of developing cartographic competence in higher geographical education, noting that this competence forms an integral part of geographical culture. Duarte et al. (2022) proposed approaches to as-

sessing spatial thinking based on GIS technologies, which have been shown to positively impact the quality of education in higher education institutions.

In recent years, the problem of assessing geographical thinking has become one of the main areas of focus in pedagogical research. Abdulvagabova (2023: 12) considers geographical education to be the primary mechanism through which an individual's cultural worldview is formed. Hickman (2022) demonstrates that spatial analysis and data handling skills have a direct impact on the quality of knowledge and determine the effectiveness with which GIS and quantitative data analysis methods are integrated into the development of spatial thinking. Lee and Jo (2022), meanwhile, describe international approaches to assessing geographical thinking that are based on systematic and critical thinking, emphasizing the importance of improving assessment criteria.

Innovative pedagogical technologies have a significant impact on the development of geographical culture. Gaipova et al. (2023) demonstrated that innovative technologies such as virtual excursions, interactive maps, and geographic information systems can enhance students' spatial analysis and critical thinking abilities in geography lessons. Alimkulov (2025) noted the effectiveness of STEAM, project-based, and problem-based learning methods in developing the project competencies of future geography teachers, demonstrating that these approaches enhance professional training and foster innovative thinking. Zbereanu (2024) empirically demonstrated the positive impact of introducing digital technologies in school geography lessons on learning outcomes, showing increased student motivation and engagement.

In general, recent research shows that geographical culture development is closely related to educational content, innovative teaching methods, spatial thinking assessment systems, and pedagogical technologies. These findings provide a scientific basis for developing the Geographical Culture Index (GCI) model, defining a new methodological approach to comprehensively assessing and developing geographical culture.

Research from the last five years (2020-2025) explains the development of geographical culture in terms of both the content of knowledge and the influence of innovative pedagogical approaches and digital technologies. This approach strengthens the methodological basis for developing the GCI model.

Analysis of the current literature shows that, while the structure and content of geographical culture have been thoroughly considered, precise measurement mechanisms and diagnostic models remain to be unified. Although Maksakovsky and his followers proposed a theoretical framework of geographical culture, the methodology of its quantitative assessment and the system of indicators adapted to the educational context have not yet been fully developed. Furthermore, although foreign studies have considered the development of spatial thinking and cartographic literacy through learning technologies (Kidman, 2019; Virmani, 2022), these studies have systematically failed to describe the relationship between cultural components and their integrative influence.

This study is therefore the first to adapt the GCI model based on the five components of geographical culture and test it at the school and university levels.

3. Materials and Methods

3.1. Participants

The study was conducted among students in years 10 and 11 of general education schools in Almaty, as well as students in years one and two of university. The research was carried out at School-Gymnasium No. 81 in the Bostandyk district of Almaty and at the Department of Natural Science Pedagogy and Physical Culture at the Almaty Humanitarian-Economic University. The experiment took place during April-May of the 2024-2025 academic year.

A total of 239 participants voluntarily took part in the study, including 143 secondary school students in years 10 and 11 and 96 university students specializing in the training of geography teachers. All participants were selected from among those studying geography.

Selection criteria:

Students studying geography.

- above-average academic performance;

- give consent to voluntarily participate in the study.

The data of the study participants are summarized in table 1 below.

As shown in Table 1, the study involved a total of 239 participants, 60% of whom were schoolchildren. The participation of university students enabled the evaluation of geographical culture at the highest level of education. These data ensure the reliability of the research results.

Table 1 – Composition of the study participants (compiled by the authors)

No	Group / Class	Female	Male	Total
1	Grade 10 “A”	14	11	25
2	Grade 10 “O”	13	14	27
3	Grade 10 “B”	10	6	16
4	Grade 10 “A”	14	13	27
5	Grade 10 “O”	13	12	25
6	Grade 10 “B”	13	10	23
	Total	77	66	143
7	1 st -year university studens	29	28	57
8	2 nd -year university studens	21	18	39
	Total (university students)	50	46	96
	Overall total	127	112	239

3.2 Research Design

The research was conducted using an experimental design based on a mixed-method approach. This approach enabled a thorough characterization of the complex pedagogical and spatial-geographical features of the research subject, combining quantitative and qualitative data.

The study used the Geographical Culture Index (GCI) model, and its effectiveness was evaluated by comparing the results of the pre- and post-tests. The aim was to compare the geographical cultural levels of learners before and after the intervention.

The application of mixed methods was based on the integrated analysis of transformational learning approaches in educational geography, as described by Jones & Walker (2019), and on the principle of enhancing the relationship between qualitative and quantitative geoinformatics analysis data, as proposed by Yoon & Lubienski (2017). Additionally, as demonstrated by Soler & Aliaga-Aguza (2025), mixed methods are recognised as an effective tool for evaluating pedagogical values and methodological strategies.

The research process consisted of three main stages:

- Initial diagnosis (GCI-pre): determining the initial level of geographical culture of the participants;
- The pedagogical intervention learning stage: conducting special classes that included components of the GCI model (spatial thinking, cartographic literacy, working with data, modelling and geographic video);
- Final diagnosis (GCI-post): comparing the results after the intervention with the initial data and

conducting statistical analyses (ANOVA and ANCOVA).

This approach enabled the effectiveness of the GCI model in developing students’ geographical culture to be evaluated comprehensively, based on the principles of systematicity and triangulation inherent in mixed-methods research.

3.3 GCI Model and Data Collection Methods

The Geographical Culture Index (GCI) model, which was developed by the author, is a methodological tool used to comprehensively assess the level of geographical culture among students. The model is theoretically based on V.P. Maksakovsky’s (1998) four components of geographical culture: geographical thinking, spatial orientation, ecological culture, and geographical image. However, in light of modern educational requirements and the updated curricula of the Republic of Kazakhstan, the model has been supplemented with a fifth component.

The teaching content, based on the spiral principle of the modern education system, ensures the sequential continuation of geographical knowledge in grades 7-11. In this regard, the GCI model includes five main components aimed at forming geographical culture in students.

Spatial-geographical thinking: describes learners’ ability to compare spatial phenomena, analyze maps, and establish cause-and-effect relationships.

Cartographic literacy includes skills in reading and analysing graphic information on geographical maps and symbols (C2).

Use of geographical methods shows the level of proficiency in measuring, observing, experimenting, and studying natural and social phenomena (C3).

- Data work and modelling: assesses the ability to analyze statistical and numerical data, produce diagrams, and create models (C4).

- Geographical image and worldview: covers the nature of society and the interconnected culture of perception in spatial environments, as well as environmental and civic responsibility (C5).

The GCI model's theoretical novelty lies in its introduction of a system for assessing geographical culture. This approach enables individual and aggregate indicators for each component to be calculated for learners.

The GCI formula is as follows:

$$GCI = \frac{C1 + C2 + C3 + C4 + C5}{5}$$

where C1-C5 are the mean scores calculated for each component.

The quantitative results of the GCI index assess participants' level of geographical knowledge on a four-level scale ranging from low to high (low, medium, sufficient, high).

The GCI model corresponds to the strategic directions of geographical education as defined in the National Academy of Education's methodological and instructional letter named after I. Altynsarin for the academic year 2025-26 (Ministry of Education of the Republic of Kazakhstan, 2025) This document outlines the main goal of teaching geography in modern Kazakhstani schools: the formation of geographical culture and the development of spatial thinking. In this regard, the GCI index is introduced as a new scientific tool that meets the requirements of the national education standard and updated curriculum.

Mixed methods were employed to collect the data. Quantitative data were obtained through surveys and diagnostic tests, while qualitative data were collected via observations, open-ended questions, essays, and analyses of teachers' and students' opinions. All information was collected on the basis of a prior agreement and in accordance with the principles of confidentiality.

3.4 Data Analysis

The data obtained during the study were analyzed using a mixed-methods approach, combining quantitative and qualitative techniques. This approach enabled a thorough interpretation of the results and an impartial evaluation of the effectiveness of the GCI model.

The quantitative analysis of the data involved:

GCI test scores were evaluated using a scoring system for each component (C1-C5), and the participants' overall index was calculated using the above formula. The arithmetic mean (mean), standard deviation (SD), and percentage for each component were determined.

Analysis of variance methods were used to determine the differences between the GCI pre- and post-stage results:

- ANOVA (analysis of variance) was used to assess the level of change in scores within the same group;

- ANCOVA (analysis of covariance) was used to analyze the initial level of the trainees and compare the results before and after the intervention.

In the analyses, a value of $p < 0.05$ was accepted as reflecting statistical significance. The results were presented in charts and tables, and when interpreting them, the contribution and dynamics of changes in each component were considered individually.

Qualitative Data Analysis:

Students' responses to open-ended questions, observation protocols, and essay texts were used as qualitative data. These materials were processed using content analysis and grouped into recurring themes and semantic categories.

The analysis examined students' reflective thinking, their practical impressions of participating in the GCI model, and the dynamics of geographical culture formation. The qualitative data complemented the interpretation of the quantitative results, serving as proof of the model's pedagogical effectiveness.

Validity and reliability:

All diagnostic tools were pretested. The internal consistency of the questionnaires and test items was assessed using the Cronbach's alpha coefficient (the accepted level is $\alpha \geq 0.7$). The reliability of the qualitative data was ensured by comparing the study results with those from different sources (triangulation) and expert judgement.

Overall, the data processing and analysis stage revealed the relationship between the structural components of the GCI model, the level of students' spatial-geographical thinking development, and the effectiveness of the pedagogical intervention.

3.5 Ethical Considerations and Limitations

All academic honesty and research ethics requirements were observed during the study. All participants were informed of the purpose and content

of the study in advance and gave their consent to participate voluntarily. The results of the questionnaires and diagnostic tests were kept confidential, and no personal data was disclosed.

The ethical principles were fulfilled in accordance with the scientific research rules of the Republic of Kazakhstan and the university's internal code of ethics. All data were used for scientific purposes only, and the results did not permit the personal characteristics of the participants to be revealed during interpretation.

The study's limitations mainly depended on the sample size and the time taken to collect the data. As the study was conducted in one school and one higher education institution in Almaty, the findings may be difficult to disseminate across the whole country. Additionally, the use of mixed methods was time-consuming and resource-intensive, resulting in unequal sizes of the control and relative groups.

However, these limitations did not significantly affect the scientific value or practical significance of the research results or the GCI model.

3.6 Assessment Instrument for Geographical Culture Index

To determine pupils' and students' level of geographical culture, a special diagnostic test has been developed. Designed according to the five components of the GCI model, the test aims to assess students' competence in each component.

The purpose is to provide a comprehensive measurement of students' geographical cultural development (C1-C5).

The test consists of 30 tasks (six for each component). Each task aims to identify students' theoretical knowledge, practical skills, and spatial analysis skills.

GCI components and task templates:

C1. Spatial thinking:

1. Identify the pattern of the location of major cities in Kazakhstan on a map.
2. Explain the relationship between rivers and mountain ranges on a map.

C2. Cartographic Literacy:

1. Map the symbols of minerals on a map.
2. Identify the intersection of the 45th parallel and the 60th meridian on an atlas.

C3. Use of geographic methods:

1. Make a simple plan for recording plant species in a schoolyard.
2. Complete a short observation report (e.g., three days of weather monitoring).

C4: Data and statistical analysis (data and statistics):

1. Analyze the graph showing Kazakhstan's population dynamics.
2. Draw conclusions from a graph representing monthly rainfall.

C5. Modelling and geographic images:

1. Create a model of urban population growth, considering the associated transport and environmental impacts.
2. Predict how climate change will affect agriculture.

The evaluation scale is given in Table 2 below.

Table 2 – Geographical Culture Index Rating Scale (compiled by the authors)

Level	Percentage range	Description
Low level	0-40%	The geographical culture is at an emerging stage; knowledge and understanding are limited to basic concept and fragmented representations.
Moderate level	41-60%	Core geographical concepts and methods are partially formed the ability to apply knowledge is inconsistent.
Sufficient level	61-75%	Geographical knowledge and spatial thinking are systematically developed and applied with confidence.
High level	76-100%	All components of geographical culture are comprehensively mastered; spatial reasoning and problem-solving skills are demonstrated at a creative and analytical level.

The test results were calculated using the GCI index formula.

This diagnostic tool was tested at the experimental stage and found to be valid using Cronbach's alpha coefficient ($\alpha = 0.82$).

The structure of the test and the evaluation system fully correspond to the educational objectives set out in the instructional letter on education and methodology of the National Academy of Education named after I. Altynsarin (Ministry of Education of the Republic of Kazakhstan, 2025). This defines the formation of geographical culture and the development of spatial thinking as a strategic goal of geography teaching.

Therefore, the Geographical Culture Index (GCI) is a new, evidence-based tool that will be presented as a pedagogical innovation and incorporated into the education system in this study.

4. Results and Discussion

This study assessed the Geographical Culture Index (GCI) in five components: spatial-geographical thinking (C1), cartographic literacy (C2), use of geographical methods (C3), data and modelling (C4), and geographical image and worldview (C5). The intervention structure consisted of within-subject assignments, short research projects, and map- and data-based analyses. The pre-test

results characterized the baseline level of the students, while the post-test demonstrated the effect of the intervention. The data were analysed using a mixed-method approach: the quantitative analysis examined average percentages and magnitudes of change, while the qualitative analysis examined attendance, reflective responses, and work samples. The comparative results presented in Table 3 therefore show that gains were made in all components after the intervention. Particularly high momentum was observed in areas C3 and C5, suggesting the effectiveness of systematically introducing methodological actions (e.g., measurements, observations, and working with field data) and spatial image modelling during training.

The table illustrates several important trends. Foremost among these is the clear advancement of a set of skills (C2), such as map reading, understanding of scale and projections, and the use of symbols. This advancement is the result of systematic time devoted to practical tasks and map analytics. Additionally, the rise in data and modelling (C4) has been achieved by strengthening interdisciplinary links with mathematics and informatics. Thirdly, the increase in C5 involved tasks that required a holistic approach to content topics (nature, society, and the economy). The overall index increased from 63% to 78%, indicating the intervention's impact on learning outcomes.

Table 3 – Comparative results of GCI components (pre/post) (compiled by the authors)

GCI components	Description	GCI-pre (%)	GCI-post (%)	Δ (Change)
C1	Spatial geographical thinking	62	74	+12
C2	Cartographic literacy	64	79	+15
C3	Use of geographical methods	66	82	+16
C4	Data work and modeling	61	77	+16
C5	Geographical image & worldview	63	80	+17
Average index (GCI)		63	78	+15

The visualization below presents the pre/post comparison of the components of the GCI model as a radial diagram. This clearly shows the pattern of growth and which components were the leading drivers.

The expansion of the Post area from the Pre area in the diagram confirms progress in all directions, with the greatest contribution coming from the C3 and C5 components. This makes it easy to interpret the results and make a pedagogical decision quickly.

Visual interpretation complements tabular analysis, allowing the effective elements of the intervention architecture to be highlighted.

The mean overall GCI value increased from 63 percent to 78 percent, indicating a 15 percent difference. This index indicates significant development in the main components of geographic culture, such as spatial thinking, cartographic literacy, data handling, modelling, and geographic video.

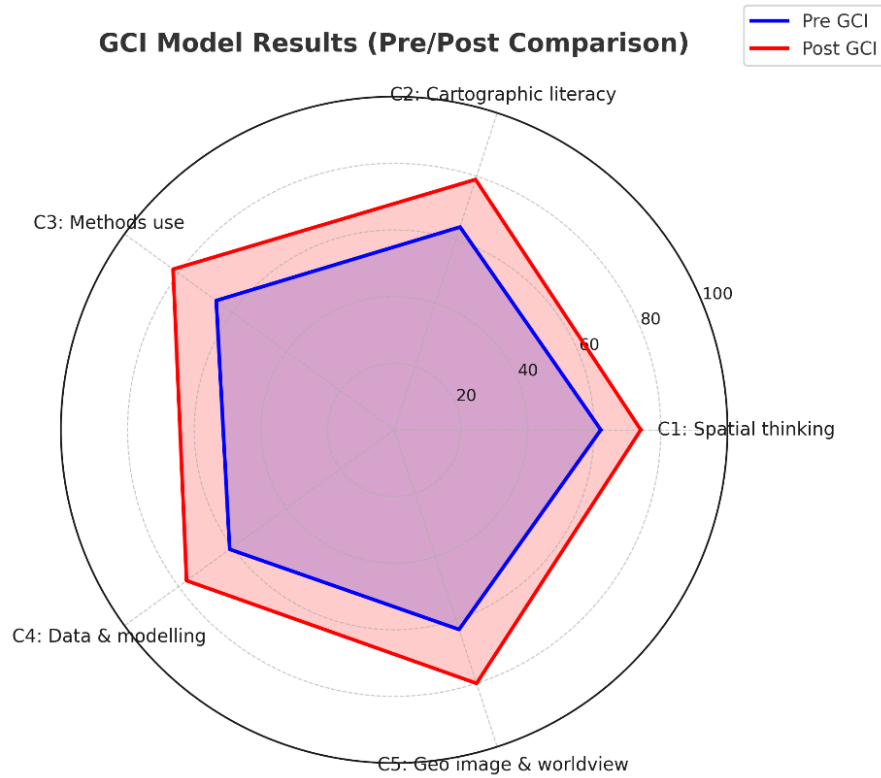


Figure 1 – Visualization of GCI model results (pre/post test comparison)
(compiled by the authors)

The study's results showed that implementing an integrative approach in the educational process improves students' spatial thinking, analytical skills, and ability to model geographical information. Thus, the GCI model was identified as a diagnostic and pedagogically effective tool for assessing and developing geographical culture.

The internal consistency score was used to assess the reliability of the GCI instrument. Each GCI (C1-C5) showed a correlation between components and heterogeneity of responses, with $\delta = 0.82$.

The calculation formula is as follows:

$$\alpha = \frac{k}{k-1} \times \left(1 - \frac{\sum \sigma_i^2}{\sigma_t^2} \right)$$

Where k is the number of tasks, σ_i^2 is the variance of each task, and σ_t^2 is the total variance.

The result is $\alpha = 0.82$, indicating a very good level of reliability (an internal reliability level of 0.2-0.9 is considered high). Consequently, the GCI indicators have high internal consistency, and the test is stable and suitable for measuring intervention outcomes.

One-way ANOVA (one-factor analysis of variance) was used to determine the differences between the students' Geographic Culture Index (GCI) results before and after the intervention. This method enables us to assess the impact of the intervention.

Model pattern:

$$GCI_{post} = \mu + Intervention + \epsilon$$

Where μ is the overall mean, intervention is the experimental effect factor, and ϵ is the random error.

The analysis showed that the difference in GCI scores before and after the intervention was significant ($F(1, 180) = 4.95$, $p < 0.001$, $\eta^2 = 0.17$). This indicates that the intervention impacted all components of geographic culture (C1-C5). Calculated Cronbach's alpha ($\alpha = 0.82$) proves that the GCI instrument used has a high level of internal consistency.

Diagnosis of the GCI showed clear differences between pre- and post-intervention scores for the five components of geographical culture: spatial thinking, cartographic literacy, use of methods, data and modelling, and geographical representation and

worldview. Positive dynamics were recorded in all areas, with an average increase of 15 percentage points, which was particularly evident in the method use (C3) and geographical representation (C5) components. ANOVA results proved that this difference was statistically significant ($F(1, 180) = 4.95$, $p < 0.001$, $\eta^2 = 0.17$), indicating a moderate yet robust intervention effect. The Cronbach score $\alpha = 0.82$ indicates the high internal consistency of the GCI instruments used. This result substantiates the reliability of the research methodology and the pedagogical validity of the model.

The comparison of GCI results is consistent with international findings. Metoyer & Bednarz (2015) demonstrated that spatial thinking forms the basis of geographical thinking and that introducing geographical information technology in the classroom enhances students' ability to imagine and analyze spatially. In this sense, the 12% increase in spatial-geographical thinking (C1) observed in our study is consistent with their findings. Jo & Hong (2018) highlight the link between developing geographic information thinking skills and increased civic responsibility. This is supported by the increase in components C4 (data and modelling) and C5 (geographic video) observed in our study.

Nazarenko (2019) considers map literacy to be the basis of communication and security, demonstrating that map reading skills are sociocultural rather than purely technical. The growth of the C2 component (+15%) in the GCI results supports this idea, demonstrating that working with maps has become a means not only of spatial understanding but also of building a culture of effective geographic information communication. These results also complement Valieva's (2023) findings on pupils' cartographic literacy. She showed that cartographic reading and analysis are underdeveloped in school geography through a questionnaire study, and our intervention produced results that compensated for this deficiency.

Combining Maksakovsky's concept with a description of four structural components of geographical culture in higher education (geographical thinking, methods, cartographic literacy, and language of geography) is achieved by Appoeva & Bayramkulova (2020). GCI model builds on this framework to include geographical image and worldview as a fifth component, in line with current educational requirements. In their study, students' cartographic and cognitive skills grew in stages, which is consistent with the results of our GCI post.

The most effective way to develop geographical skills, as identified by Kozlova (2020), is through a teaching approach that involves students conducting their own research and completing research tasks. This concept is also integral to our intervention design, with elements of inquiry and research (e.g., fieldwork and data analysis) strengthening students' methodological skills and ensuring growth in C3 and C4. Thus, systematically applying research activities in the classroom increased the qualitative measure of geographic culture in the GCI model.

The philosophical underpinnings of our research direction are closely aligned with the Transformative Sustainable Curricula (TSC) model pioneered by Granados-Sánchez (2022). Its stages, "Adaptation-Reform-Transformation", enable us to characterize the practical transformation of the GCI model.

Granados-Sánchez's (2022) Transformative Sustainable Curricula (TSC) model is intertwined with our line of inquiry at a philosophical level. The practical transformation of the GCI model can be characterized using its stages, which are Adaptation, Reform and Transformation. Our intervention is close to the "Reform" level: educational content has been updated, and students have developed systemic and constructive thinking skills by interacting with data, maps, and models. In the future, to move to the "Transformation" level of the TSC model, the links between the curriculum and society need to be expanded, increasing the social impact of geographic culture.

In general, the results obtained coincide with the main conclusions of foreign authors: geographical culture is characterized by the development of spatial and cartographic thinking, working with data and models, and forming an ecologically valuable worldview. The GCI model has proven to be an effective tool for measuring and analysing these indicators.

Furthermore, the results of the study demonstrate the importance of the combined application of qualitative and quantitative methods when assessing the formation of geographical culture. This approach aligns with the concept of 'transformative learning' as outlined by Granados-Sanchez (2022) and Sterling (2012): Geography should be viewed not only as a subject but also as an experiential domain capable of altering worldviews.

The results of this study expand the role of geography in today's education system. The GCI model enables the transformation of educational content and learning experiences by developing V. P. Mak-

sakovsky's four components. It is presented for the first time in the context of Kazakhstan as a tool for the systematic assessment of the pedagogical diagnosis of geographical culture.

Conclusion

The results of the study demonstrated the effectiveness of the Geographical Culture Index (GCI) model in providing a comprehensive assessment of the various components of geographical culture (spatial thinking, cartographic literacy, the use of geographical methods and data, modelling, and geographical imagery and worldviews). The intervention produced positive results for all components, with the overall index rising from 63% to 78%. ANOVA analysis revealed a statistically significant difference ($F(1, 180) = 4.95$, $p < 0.001$, $\eta^2 = 0.17$), while Cronbach's $\alpha = 0.82$ confirmed the reliability of the GCI instruments.

The GCI model enables an integrative approach to be implemented in geographical education, extending Maksakovsky's four-component theory in five directions that meet modern educational requirements. The study's results proved that developing spatial and cartographic thinking, modelling, research skills, and an ecological outlook is a crucial strategic direction in geography teaching. Thus, the

GCI model is presented as an innovative and practical tool for diagnosing and developing geographical culture in the Kazakhstani education system.

Recommendations

In line with the Ministry of Education of the Republic of Kazakhstan's strategic objectives, which prioritize the development of geographical knowledge and thinking in education, it is recommended that the five-component structure of the Geographical Culture Index (GCI), as presented in this study, be incorporated into geography teaching at the school and university level.

Teachers and educators are encouraged to use the GCI model as a diagnostic and monitoring tool to regularly assess students' level of geographical culture through control testing and comparative analysis. This will enable the dynamics of students' spatial and cartographic literacy, analytical and modelling skills, and ecological and civic worldview to be tracked.

As the GCI is a new term and methodological tool in pedagogical geography, further research is also recommended to deepen its theoretical foundations, test it in various educational contexts, and expand its application to other regions and academic levels.

References

- Abdulvagabova, S. A. (2023). Geographical education as the basis for the formation of geographical culture. In *Modern geographical education: Problems and development prospects* (pp. 10–13). [in Russian].
- Abdurakhmonov, B. M. (2021). Formation of geographical culture through a complex of teaching aids. *Economics and Society*, 1–2(80). Retrieved from <https://clck.ru/3M7wwB> [in Russian].
- Alimkulov J. Innovative methods in geography education: strategies for developing project-based competency among future teachers // *Economics and society*. 2025. №3-2 (130). URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/innovative-methods-in-geography-education-strategies-for-developing-project-based-competency-among-future-teachers>
- Amrullaeva, S. A., & Muzdybaeva, K. K. (2021). Geographical education as a tool for achieving sustainable development goals. *Bulletin of Abai KazNPU. Series "Geographical and Environmental Sciences"*, 4(70), 14–18. [in Russian].
- Anderson, J. (2021). *Understanding cultural geography: Places and traces* (3rd ed.). London: Routledge. – 280 p. <https://doi.org/10.4324/9780367814816>
- Appoeva, L. I., & Bayramkulova, B. O. (2020). Formation of geographical culture of students at the university. *International Journal of Experimental Education*, (6), 50–53. [in Russian].
- Baransky, N. N. (1934). On teaching economic geography. *Geography at School*, (1), 3–13. [in Russian].
- Belov, V. O. (n.d.). Innovative pedagogical technologies in the process of forming logical actions among students in geography lessons. *Scientific-Methodological Journal*, 6–10. [in Russian].
- Chang C.H., Kidman G. Curriculum, pedagogy and assessment in geographical education – for whom and for what purpose? // *International Research in Geographical and Environmental Education*. – 2019. – Vol. 28, No. 1. – P. 1–4. <https://doi.org/10.1080/10382046.2019.1578526>
- Commission on Geographical Education of the International Geographical Union (CGE IGU). *International Charter on Geographical Education*. – 1992. – 2016 edition. – 6 p.
- CGE IGU (Commission on Geographical Education of the International Geographical Union). (2016). *International Charter on Geographical Education*. International Geographical Union, 6 p.

- Duarte, L., Teodoro, A. C., & Gonçalves, H. (2022). Evaluation of Spatial Thinking Ability Based on Exposure to Geographical Information Systems (GIS) Concepts in the Context of Higher Education. *ISPRS International Journal of Geo-Information*, 11(8), 417. <https://doi.org/10.3390/ijgi11080417>
- Gaipova, R., Turdybekova, Z., & Bayramova, A. (2023). The use of innovative technologies in geography teaching. *Economics and Society*, 12(115)-1. Retrieved from <https://cyberleninka.ru/article/n/ispolzovanie-innovatsionnyh-tehnologiy-v-prepodavanii-geografii> [in Russian].
- Gintsyuk, S. V. (2024). Formation of students' spatial thinking skills in geography lessons. *Editorial Board Proceedings*, 53–57. [in Russian].
- Granados-Sánchez, J. (2022). Levels of Transformation in Sustainable Curricula: The Case of Geography Education. *Sustainability*, 14(8), 4481. <https://doi.org/10.3390/su14084481>
- Hickman, J. (2022). Spatial thinking and GIS: developing and assessing student competencies. *International Research in Geographical and Environmental Education*, 32(2), 140–158. <https://doi.org/10.1080/10382046.2022.2138172>
- Jo, Injeong and Hong, Jung Eun (2018) "Geography Education, Spatial Thinking, and Geospatial Technologies: Introduction to the Special Issue," *International Journal of Geospatial and Environmental Research*: Vol. 5: No. 3, Article 1. Available at: <https://dc.uwm.edu/ijger/vol5/iss3/1>
- Jones, J., & Walker, S. L. (2019). Transformative learning in community college human geography: a mixed methods study. *Journal of Geography in Higher Education*, 43(4), 452–467. <https://doi.org/10.1080/03098265.2019.1660865>
- Karadeniz, C. B. Assessment for Awareness and Perception of the Cultural Heritage of Geography Students / C. B. Karadeniz // Review of International Geographical Education (RIGEO). – 2020. – T. 10, № 1 (Special issue). – P. 40–64. – [Electronic resource]. – Available: <http://www.rigeo.org/vol10no1/Number1Spring/RIGEO-V10-N1-2.pdf>
- Kaymudinova, K. D., Beykitova, A. N., Sabdenaliyeva, G. M., & Zhandosova, G. O. (2024). Cartographic competence in higher geography education research: A review of the subject field. *Higher Education in Russia*, 33(4), 144–168. [in Russian].
- Kozlova, G. V. (2020). Research activity of students in the study of geography. In *Modern geographical education: Problems and development prospects* (pp. 72–74). [in Russian].
- Lee, J., Jo, I. (2022). Assessing Spatial Skills/Thinking in Geography. In: Bourke, T., Mills, R., Lane, R. (eds) *Assessment in Geographical Education: An International Perspective. Key Challenges in Geography*. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-030-95139-9_4
- Maksakovsky, V. P. (1998). *Geographical Culture: A Textbook for Universities*. Moscow: Vlasov. [in Russian].
- Mehren, R., & Rempfler, A. (2022). Assessing systems thinking in geography. In Bourke, T., Mills, R., & Lane, R. (Eds.), *Assessment in Geographical Education: An International Perspective* (pp. 19–34). Cham: Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-030-95139-9_2
- Metoyer, S. K., Bednarz, S. W., & Bednarz, R. S. (2015). Spatial thinking in education: Concepts, development, and assessment. In *Geospatial technologies and geography education in a changing world: Geospatial practices and lessons learned* (pp. 21–33). Tokyo: Springer Japan.
- Ministry of Education of the Republic of Kazakhstan. (2025). Methodological guidelines for general education schools for the 2025–2026 academic year. Astana: MOE RK. [in Kazakh].
- Nazarenko, T. (2019). Cartographic Literacy as a Condition of Communication and Security. *Intercultural Communication*, 1(6), 117–137.
- Puttick, S. (2022). Geographical education I: fields, interactions and relationships. *Progress in Human Geography*, 46(3), 898–906. <https://doi.org/10.1177/03091325221080251>
- Singha, T. Beyond The Textbook: Incorporating Culturally Responsive Teaching In Geography / Tuhin Singha // Ilkogretim Online – Elementary Education Online. – 2019. – T. 18, № 3. – Б. 1564–1571. – DOI: 10.17051/ilkonline.2019.612787.
- Soler, S., & Aliaga-Aguza, L. M. (2025). Active Methodologies, Educational Values, and Assessment Strategies in Master's Theses: A Mixed-Methods Study by Gender and Educational Level in Geography and History Teacher Education. *Trends in Higher Education*, 4(3), 42. <https://doi.org/10.3390/higheredu4030042>
- Valieva, E. S. (2023). Formation of cartographic literacy in the process of studying geography at school (based on a survey). In *Lomonosov Scientific Readings of Students and Young Scientists of the Higher School of Natural Sciences and Technologies SAFU* (p. 67). [in Russian].
- Virranmäki, E. (2022). *Geography's ability to enhance powerful thinking skills and knowledge*. Nordia Geographical Publications, 51(1). Geographical Society of Northern Finland. <https://doi.org/10.30671/nordia.113997>
- Yoon, E.-S., & Lubienski, C. (2017). Thinking Critically in Space: Toward a Mixed-Methods Geospatial Approach to Education Policy Analysis. *Educational Researcher*, 47(1), 53–61. <https://doi.org/10.3102/0013189X17737284> (Original work published 2018)
- Zboreanu, G. (2024). The effects of using digital technologies on high school geography learning. *Journal of Innovation in Psychology, Education and Didactics*, 28(1), 47–60. <https://doi.org/10.29081/JIPED.2024.28.1.05>
- Usenov, N., Layshanov, S., Abikbaev, E., & Issakov, Y. (2023). Experience in using geoinformation technologies in the secondary education system of developing countries. *Journal of Educational Sciences*, 75(2), 150–160. <https://doi.org/10.26577/JES.2023.v75.i2.014> [in Kazakh].

Information about authors:

Amangeldi Ozerke (corresponding author) – Senior Lecturer at the Department of Pedagogy of Natural Sciences and Physical Education, Almaty Humanitarian Economic University (Almaty, Kazakhstan, e-mail: ozerke1990@gmail.com);

Duisebayeva Kulzada – Candidate of Geographical Sciences, Almaty Humanitarian Economic University (Almaty, Kazakhstan, e-mail: kulzada.duisebayeva@gmail.com);

Kyrbassov Akzhan – Doctoral Student of Abai Kazakh National Pedagogical University (Almaty, Kazakhstan, e-mail: akjan_91@mail.ru);

Umirzakova Nagima – PhD, Senior Lecturer at the Department of Pedagogy of Natural Sciences and Physical Education, Almaty Humanitarian Economic University (Almaty, Kazakhstan, e-mail: Umirzakova-nagi@mail.ru);

Turker Kurt – PhD, Associate Professor, Faculty of Education, Gazi University (Ankara, Turkey, e-mail: turker@gazi.edu.tr).

Авторлар туралы мәлімет:

Амангелди Озерке (корреспондент автор) – жаратылыстану педагогикасы және денешынықтыру кафедрасының аға оқытушысы, Алматы гуманитарлық-экономикалық университет (Алматы, Қазақстан, e-mail: ozerke1990@gmail.com);

Дүйсебаева Кульзада – г. г. к., Алматы гуманитарлық-экономикалық университет (Алматы, Қазақстан, e-mail: kulzada.duisebayeva@gmail.com);

Қырбасов Ақжан – Абай атындағы ҚазҰПУ-дың докторанты (Алматы, Қазақстан, e-mail: akjan_91@mail.ru);

Умирзакова Нагима – PhD, жаратылыстану педагогикасы және денешынықтыру кафедрасының аға оқытушысы, Алматы гуманитарлық-экономикалық университет (Алматы, Қазақстан, e-mail: Umirzakova-nagi@mail.ru);

Туркер Күрт – PhD, білім беру факультетінің қауымдастырылған профессоры, Гази университеті (Анкара, Түркия, e-mail: turker@gazi.edu.tr).

Сведения об авторах:

Амангелди Озерке (корреспондент автор) – старший преподаватель кафедры педагогики естествознания и физической культуры, Алматинский гуманитарно-экономический университет (Алматы, Казахстан, e-mail: ozerke1990@gmail.com);

Дүйсебаева Кульзада – к. г. н., Алматинский гуманитарно-экономический университет (Алматы, Казахстан, e-mail: kulzada.duisebayeva@gmail.com);

Қырбасов Ақжан – докторант КазНПУ им. Абая (Алматы, Казахстан, e-mail: akjan_91@mail.ru);

Умирзакова Нагима – PhD, старший преподаватель кафедры педагогики естествознания и физической культуры, Алматинский гуманитарно-экономический университет (Алматы, Казахстан, e-mail: Umirzakova-nagi@mail.ru);

Туркер Күрт – PhD, ассоциированный профессор факультета образования, Университет Гази (Анкара, Турция, e-mail: turker@gazi.edu.tr).

Received: September 1, 2025

Accepted: December 5, 2025

АВТОРЛАРҒА АРНАЛҒАН АҚПАРАТ

ҚазҰУ Хабаршысы. География сериясында материалдарды жариялау Open Journal System, онлайн жіберу және рецензиялау жүйесі арқылы жүзеге асырылады. Жүйеге тіркелу және кіру «Материалдарды жіберу» бөлімінде қолжетімді.

Корреспонденция авторы журналға жариялау үшін ілеспе хат ұсынуға міндетті.

Мақалаға қойылатын талаптар:

Редакциялық коллегия журналдың ғылыми бағыттары бойынша бұрын жарияланбаған мақалаларды қабылдайды. Мақала журналдың функционал сайтына жүктеу арқылы ғана (Open Journal System немесе Editorial Manager) электронды форматта (doc, .docx, .rtf форматында) қабылданады.

Шрифт кеглі – 12 (аңдатпа, кілт сөздер, әдебиеттер тізімі – 10, кесте мәтіні – 9-11), шрифт – Times New Roman, мәтін беттің ені бойынша тегістеу арқылы теріледі, аралығы – бір, абзац бойынша шегініс – 0,8 см, шеттері: үстіңгі және астыңғы – 2 см, сол және оң жақ – 2 см.

Сурет, кесте, графика, диаграмма және т.б. мәтін ішінде нөмір және атаумен белгіленеді. (Мысалы, 1-сурет – Сурет атауы). Суреттердің, таблица, графика мен диаграммалардың саны мақала көлемінің 20% -нан (кейбір жағдайда 30%) артық болмауы керек.

Мақала көлемі (атауы, авторлар бойынша ақпарат, аңдатпа, кілт сөз, әдебиеттер тізімін қоспағанда) әлеуметтік және гуманитарлық бағытта 3 000 сөзден кем, 7 000 сөзден артық емес және жаратылыстану және техникалық бағыттарда 1 500-7 000 сөз аралығында болуы шарт.

Авторлар жіберіліп отырған мақаланың/қолжазбаның бұрын соңды еш жерде жарияланбағаны, мақалада/қолжазбада басқа жұмыстардың мәтіндеріне сілтемесіз алынған кірме фрагменттердің жоқ екендігі туралы Open Journal System немесе Editorial Manager жүйесіндегі ілеспе хатта МІНДЕТТІ түрде жазу керек.

Мақала құрылымы (мақаланы рәсімдеу үшін ресми сайтындағы ҮЛГІ-ні қолданыңыз):

Бірінші бет:

Бірінші жол – FTAMP нөмірі (ерекше жағдайда ЭОЖ), мәтін беттің сол жақ шетімен тегістеледі, қаралау шрифт.

Мақала атауы (Тақырып) мақаланың мәні мен мазмұнын көрсетіп, оқырманның назарын аудару керек. Тақырып қысқа әрі ақпараттық, жаргондар мен Название должно быть кратким, информативным и не содержать жаргонизмов или аббревиатурасыз жазылуы тиіс. Тақырыптың орташа ұзындығы 5-7 сөз (кей жағдайда 10-12 сөз). Мақаланың тақырыбы қазақ, орыс және ағылшын тілдерінде берілуі керек. Тақырып қаралау шрифтті кіші әріптермен, беттің ортасымен тегістеледі.

Мақала автор(лар)ы – аты-жөнінің бірінші әріптері және тегі, жұмыс істейтін орны (аффилиация), қала, мемлекет, email – орыс, қазақ және ағылшын тілдерінде жазылады. Авторлар туралы ақпарат қалыпты шрифтті кіші әріптермен жазылып, беттің ортасында тегістеледі.

Аңдатпа көлемі 150-300 сөз қазақ, орыс, ағылшын тілдерінде жазылады.

Аңдатпа құрылымында келесі ақпарат міндетті түрде болуы керек:

- Зерттеу тақырыбы бойынша кіріспе сөз.
- Ғылыми зерттеудің мақсаты, негізгі бағыттары мен идеялары.
- Жұмыстың ғылыми және практикалық маңыздылығы бойынша қысқа ақпарат.
- Зерттеу әдістемесі бойынша қысқа ақпарат.
- Ғылыми зерттеудің негізгі нәтижелері, талдау және тұжырымдама.
- Жүргізілген зерттеу жұмысының маңыздылығы (аталған жұмыстың ғылымның сәйкес саласына енгізген үлесі)
- Жұмыс қорытындысының практикалық маңыздылығы.
- Кілт сөздер/сөз тіркестері – орыс, қазақ, ағылшын тілдерінде 3-5 сөз аралығында.

Келесі бет (жаңа бет):

Кіріспе келесіде берілген негізгі элементтерден тұрады:

Таңдалған тақырыптың негіздемесі; тақырып өзектілігі мен зерттеу проблемалары. Таңдалған тақырыптың негіздемесінде алдыңғы зерттеушілердің тәжірибелері негізінде проблемалық жағдайдың (зерттеу жұмыстарының жоқтығы, жаңа зерттеу нысанының пайда болғаны және т.б.) бар екендігі айтылады. Тақырыптың өзектілігі аталған зерттеу нысанының қойылған сұрақтарға толық жауаптардың болмаған жағдайда, тақырыптың теориялық және практикалық маңыздылығы арқылы дәлелденіп жалпыға ортақ мүдде арқылы анықталады.

Жұмыстың нысанын, пәнін, мақсаттарын, міндеттерін, тәсілдерін, әдістер, гипотезасын анықтау. Зерттеудің мақсаты тезисті дәлелдеумен, яғни зерттеу тақырыбын автор таңдаған аспектімен көрсетумен байланысты.

Материал мен әдістер – материалдар мен жұмыс барысының сипаттамасынан, сондай-ақ қолданылатын әдістердің толық сипаттамасынан тұруы керек

Зерттеу материалының сипаттамасы оның сапалық және сандық көрінісін қамтиды. Материалдың сипаттамасы – тұжырымдар мен зерттеу әдістерінің сенімділігін анықтайтын факторлардың бірі.

Бұл бөлімде проблеманың қалай зерттелгені сипатталады: бұрын жарияланған рәсімдеулерді қайталамай егжей-тегжейлер ақпарат беріледі; материалдар мен әдістерді қолдану кезінде міндетті түрде енгізілген жаңалықтар арқылы жабдықты сәйкестендіруді (бағдарламалық жасақтама) және материалдардың сипаттамасы қолданылады.

Ғылыми әдістеме келесілерден тұруы қажет:

- зерттеу сұрақтар(ы);
- алға қойылған гипотеза (тезис);

- зерттеу кезеңдері;
- зерттеу әдістері;
- зерттеу нәтижелері.

Әдебиеттерге шолу жасау бөлімінде – зерттеу тақырыбы бойынша ағылшын тілінде шетелдік авторлардың іргелі және жаңа еңбектер (кемінде 15 жұмыс), оларды ғылыми үлесі тұрғысынан талдау, сондай-ақ сіздің мақалаңызда толықтырылған зерттеу кемшіліктері беріледі.

Жұмысқа қатысы жоқ көптеген сілтемелердің болуы немесе сіздің жетістіктеріңіз туралы, алдыңғы жұмыстарыңызды көрсететін сілтемелерді қосуға болмайды.

Нәтижелер мен Талқылау бөлімінде сіздің зерттеу нәтижелеріңізді талдауы және талқылауы беріледі. Зерттеу барысында алынған нәтижелер туралы қорытынды беру арқылы негізгі мәні айқындалады. Бұл мақаланың маңызды бөлімдерінің бірі болып саналады. Онда жұмысыңыздың нәтижелерінің талдауы және алдыңғы жұмыстармен, талдаулармен және тұжырымдамаларымен салыстыру арқылы сәйкес нәтижелерді талқылау беріледі.

Қорытынды, тұжырымдама – жұмыстың осы кезеңдегі нәтижелерін жалпылау және қорытындылау; автор алға қойған тұжырымның растығын және алынған нәтижелерді ескере отырып, ғылыми білімнің өзгеруі туралы автордың қорытындысын растау. Қорытынды абстрактілі болмауы керек, оларды ұсыныстарды немесе одан әрі жасалатын жұмысты сипаттай отырып белгілі бір ғылыми саладағы зерттеу нәтижелерін жалпылау үшін қолдану керек.

Қорытындының құрылымында келесі сұрақтар болуы керек: Зерттеудің мақсаттары мен әдістері қандай? Нәтижелері қандай? Қандай тұжырымдар бар? Зерттемені енгізу, қолдану перспективалары мен мүмкіндіктері қандай?

Пайдаланылған әдебиеттер тізімі немесе библиографиялық тізім жаратылыстану және техникалық бағыттарға кем дегенде 10 атаулардан және әлеуметтік және гуманитарлық бағыттарға 15 атаулардан тұрады, ал ағылшын тіліндегі жалпы атаулар саны 50%-дан кем болмауы керек. Егер сілтемелер тізімінде кириллицада берілген еңбектер болса, сілтемелер тізімін екі нұсқада ұсыну қажет: біріншісі – түпнұсқада, екіншісі – романизацияланған алфавитте (транслитерация).

Романизацияланған әдебиеттер тізімі келесідей болуы керек: автор (лар) (транслитерация – <http://www.translit.ru>) → (жақшадағы жыл) → транслитерацияланған нұсқадағы мақала тақырыбы [мақала тақырыбының ағылшын тіліндегі аудармасы төрт бұрышты жақшада], орыс тіліндегі дереккөздің атауы (транслитерация немесе бар болған жағдайда ағылшын тілінде), шығыс деректер ағылшын тілінде белгілеулер арқылы жазылады.

Мысалы: Gokhberg L., Kuznetsova T. (2011) *Strategiya-2020: novye kontury rossiiskoi innovatsionnoi politiki* [Strategy 2020: New Outlines of Innovation Policy]. *Foresight-Russia*, vol. 5, no 4, pp. 8–30. Пайдаланылған әдебиеттер тізімі алфавиттік тәртіпте және тек мәтінге сілтеме жасалған жұмыстар FAHA жазылады.

Орыс және қазақ тілдеріндегі әдебиеттер тізімінің стилі ГОСТ 1-2003 “Библиографиялық жазба. Библиографиялық сипаттама. Жалпы талаптар және құрастыру ережелері” сәйкес жасалады.

Әлеуметтік және гуманитарлық бағытта романизацияланған әдебиеттер тізімін, ағылшын тіліндегі (басқа шет тіліндегі) дереккөздер рәсімдеу стилі – American Psychological Association (<http://www.apastyle.org/>), жаратылыстану және техникалық бағытқа – Chicago Style (www.chicagomanualofstyle.org).

Мысалы:

Кітап

1. Zadie Smith, *Swing Time* (New York: Penguin Press, 2016), 315–16.

2. Brian Grazer and Charles Fishman, *A Curious Mind: The Secret to a Bigger Life* (New York: Simon & Schuster, 2015), 12.

Журнал мақаласы

1. Susan Satterfield, “Livy and the Pax Deum,” *Classical Philology* 111, no. 2 (April 2016): 170.

2. Shao-Hsun Keng, Chun-Hung Lin, and Peter F. Orazem, “Expanding College Access in Taiwan, 1978–2014: Effects on Graduate Quality and Income Inequality,” *Journal of Human Capital* 11, no. 1 (Spring 2017): 9–10, <https://doi.org/10.1086/690235>.

3. Peter LaSalle, “Conundrum: A Story about Reading,” *New England Review* 38, no. 1 (2017): 95, Project MUSE.

Website материалы

1. “Privacy Policy,” Privacy & Terms, Google, last modified April 17, 2017, <https://www.google.com/policies/privacy/>.

2. “About Yale: Yale Facts,” Yale University, accessed May 1, 2017, <https://www.yale.edu/about-yale/yale-facts>.

3. Katie Bouman, “How to Take a Picture of a Black Hole,” filmed November 2016 at TEDxBeaconStreet, Brookline, MA, video, 12:51, https://www.ted.com/talks/katie_bouman_what_does_a_black_hole_look_like

Берілген бөлімде төмендегілерді ескеру қажет:

• Ғылымның осы саласында қолданылатын және автордың жұмысы негізделген ғылыми басылымдар, алдыңғы қатарлы зерттеу әдістерінен дәйексөздер келтіріледі.

• Өзіңіздің жұмысыңыздан дәйексөздерді келтіруді шамадан тыс қолданудан аулақ болыңыз.

• Сілтемелерді ТМД / КСРО авторларының басылымдарына шамадан тыс келтіруден аулақ болыңыз, әлемдік тәжірибені қолданыңыз.

• Библиографиялық тізімде мақала тақырыбы бойынша белгілі шетелдік авторлар мен зерттеушілер шығарған іргелі және ең маңызды жұмыстар болуы керек.

Әлеуметтік және гуманитарлық бағыттағы мәтіндерде дәйексөз келтірілген сілтемелер жұмыстың бірінші авторы, шыққан жылы: бет нөмір(лер)і жақша ішінде көрсетіліп беріледі. Мысалы, (Залесский 1991: 25). Әдебиеттер тізімінде бір автордың бір жылда жарық көрген бірнеше жұмысы келтірілген жағдайда, шыққан жылдың тұсына «а», «б» және т.б. әріптерді қосып жазу керек. Мысалы, (Садуова, 2001а: 15), (Садуова, 2001б, 22). Жаратылыстану бағытындағы мақалаларда сілтемелер сілтеме жасалған жұмыстардың мақала мәтінінде кездесетін кезеңіне байланысты нөмірленіп тік жақшада беріледі.

ИНФОРМАЦИЯ ДЛЯ АВТОРОВ

Публикация материалов в «Вестнике КазНУ. Серии географической» осуществляется с использованием Open Journal System, системы онлайн-подачи и экспертной оценки. Регистрация и авторизация доступны в разделе Отправка материалов.

Автор для корреспонденции обязан предоставить сопроводительное письмо на публикацию в журнале.

Требования к оформлению статьи:

Редакционная коллегия принимает ранее неопубликованные статьи по научным направлениям журнала. Статья представляется в электронном формате (в форматах .doc, .docx, .rtf) ТОЛЬКО посредством ее загрузки через функционал сайта журнала (Open Journal System).

Кегль шрифта – 12 (аннотация, ключевые слова, литература – 10, текст таблиц – 9-11), шрифт – Times New Roman, выравнивание – по ширине текста, интервал – одинарный, абзацный отступ – 0,8 см, поля: верхнее и нижнее – 2 см, левое и правое – 2 см.

Рисунки, таблицы, графики, диаграммы и др. представляются непосредственно в тексте с указанием нумерации и заглавия (Например, Рис. 1 – Название рисунка). Количество рисунков, таблиц, графиков и диаграмм не должно превышать 20% от всего объема статьи (в некоторых случаях до 30%).

Объем статьи (без учета названия, сведений об авторах, аннотации, ключевых слов, библиографического списка) должен составлять не менее 3 000 слов и не превышать 7 000 слов для социогуманитарных направлений, и 1 500-7 000 слов для естественнонаучных и технических направлений.

Авторы в обязательном порядке должны указать в сопроводительном письме в системе Open Journal System или Editorial Manager о том, что направляемая статья/рукопись нигде ранее не публиковалась, и что в статье отсутствуют заимствованные фрагменты текста из других работ без ссылок на них.

СТРУКТУРА СТАТЬИ:

Первая страница:

Первая строка – МРНТИ (Рубрикатор есть в открытом доступе онлайн <http://grnti.ru/> или, авторы так же могут получить Код МРНТИ в библиотеке), выравнивание – по левому краю, шрифт – полужирный.

Название статьи (Заголовок) должно отражать суть и содержание статьи и привлекать внимание читателя. Название должно быть кратким, информативным и не содержать жаргонизмов или аббревиатур. Оптимальная длина заголовка – 5-7 слов (в некоторых случаях 10-12 слов). Название статьи должно быть представлено на русском, казахском и английском языках. Название статьи представляется полужирным шрифтом строчными буквами, выравнивание – по центру.

Автор(ы) статьи – с указанием имени и фамилии, ученой степени, ученого звания, занимаемой должности, места работы, город, страна, контактный телефон, email. Сведения об авторах представляются обычным шрифтом строчными буквами, выравнивание – по центру.

Аннотация объемом 150-300 слов на русском, казахском и английском языках.

Структура аннотации включает в себя следующие обязательные пункты:

- Вступительное слово о теме исследования.
- Цель, основные направления и идеи научного исследования.
- Краткое описание научной и практической значимости работы.
- Краткое описание методологии исследования.
- Основные результаты и анализ, выводы исследовательской работы.
- Ценность проведенного исследования (внесенный вклад данной работы в соответствующую область знаний).
- Практическое значение итогов работы.
- Ключевые слова/словосочетания – количеством 3-5 на русском, казахском и английском языках.

Данные в начале статьи (название, авторы, абстракт, ключевые слова) даются на языке оригинала. Далее следует та же информация (без МРНТИ) на английском языке. Потом на казахском или русском (зависит от языка основной статьи).

Последующая страница (новая):

Введение состоит из следующих основных элементов:

Обоснование выбора темы; актуальность темы или проблемы. В обосновании выбора темы на основе описания опыта предшественников сообщается о наличии проблемной ситуации (отсутствие каких-либо исследований, появление нового объекта и т.д.). Актуальность темы определяется общим интересом к изученности данного объекта, но отсутствием исчерпывающих ответов на имеющиеся вопросы, она доказывается теоретической или практической значимостью темы.

Определение объекта, предмета, целей, задач, методов, подходов, гипотезы и значения вашей работы. Цель исследования связана с доказательством тезиса, то есть представлением предмета исследования в избранном автором аспекте.

Материал и Методы – должны состоять из описания материалов и хода работы, а также полного описания использованных методов.

Характеристика или описание материала исследования включает его представление в качественном и количественном отношении. Характеристика материала – один из факторов, определяющий достоверность выводов и методов исследования.

В этом разделе описывается, как проблема была изучена: подробная информация без повторения ранее опубликованных установленных процедур; используется идентификация оборудования (программного обеспечения) и описание материалов, с обязательным внесением новизны при использовании материалов и методов.

Научная методология должна включать в себя:

- исследовательский вопрос(-ы);
- выдвигаемую гипотезу (тезис);
- этапы исследования;
- методы исследования;
- результаты исследования.

В секции обзор литературы – должны быть охвачены фундаментальные и новые труды по исследуемой тематике зарубежных авторов на английском языке (не менее 15 трудов), анализ данных трудов с точки зрения их научного вклада, а также пробелы в исследовании, которые Вы дополняете в своей статье.

Недопустимо наличие множества ссылок, не имеющих отношения к работе, или неуместные суждения о ваших собственных достижениях, ссылки на Ваши предыдущие работы.

В разделе Результаты и Обсуждение – приводится анализ и обсуждение полученных вами результатов исследования. Приводятся выводы по полученным в ходе исследования результатам, раскрывается основная суть. И это один из самых важных разделов статьи. В нем необходимо провести анализ результатов своей работы и обсуждение соответствующих результатов в сравнении с предыдущими работами, анализами и выводами.

Заключение, выводы – обобщение и подведение итогов работы на данном этапе; подтверждение истинности выдвигаемого утверждения, высказанного автором, и заключение автора об изменении научного знания с учетом полученных результатов. Выводы не должны быть абстрактными, они должны быть использованы для обобщения результатов исследования в той или иной научной области, с описанием предложений или возможностей дальнейшей работы.

Структура заключения должна содержать следующие вопросы: Каковы цели и методы исследования? Какие результаты получены? Каковы выводы? Каковы перспективы и возможности внедрения, применения разработки?

Список используемой литературы, или Библиографический список состоит из не менее 15 наименований литературы, и из них 50% на английском языке. В случае наличия в списке литературы работ, представленных на кириллице, необходимо представить список литературы в двух вариантах: первый – в оригинале, второй – романизированным алфавитом (транслитерация).

Романизированный список литературы должен выглядеть в следующем виде: автор(-ы) (транслитерация - <http://www.translit.ru>) → (год в круглых скобках) → название статьи в транслитерированном варианте [перевод названия статьи на английский язык в квадратных скобках], название русскоязычного источника (транслитерация, либо английское название – если есть), выходные данные с обозначениями на английском языке.

Например: Gokhberg L., Kuznetsova T. (2011) Strategiya-2020: novye kontury rossiiskoi innovatsionnoi politiki [Strategy 2020: New Outlines of Innovation Policy]. *Foresight-Russia*, vol. 5, no 4, pp. 8–30. Список литературы представляется в алфавитном порядке, и ТОЛЬКО те работы, которые цитируются в тексте.

Стиль оформления списка литературы на русском и казахском языке согласно ГОСТ 7.1-2003 «Библиографическая запись. Библиографическое описание. Общие требования и правила составления».

Стиль оформления Романизированного списка литературы, а также источников на английском (другом иностранном) языке – Chicago Style (www.chicagomanualofstyle.org).

В данном разделе необходимо учесть:

- Цитируются основные научные публикации, передовые методы исследования, которые применяются в данной области науки и на которых основана работа автора.

- Избегайте чрезмерных самоцитирований.

- Избегайте чрезмерных ссылок на публикации авторов СНГ/СССР, используйте мировой опыт.

- Библиографический список должен содержать фундаментальные и наиболее актуальные труды, опубликованные известными зарубежными авторами и исследователями по теме статьи.

- Ссылки на цитируемые работы в тексте даются в скобках, с указанием первого автора работы, год издания: номер страниц(-ы). Например, (Залесский, 1991: 25). В случае, наличия в списке литературы нескольких работ одного и того же автора, изданных в один год, то дополнительно к году издания добавляется буква «а», «б» и т.д. Например, (Садуова, 2001a: 15), (Садуова, 2001б, 22).

В случае несоответствия статьи требованиям, редколлегия вправе её отклонить.

INFORMATION FOR AUTHORS

Submissions to the Journal of Geography and Environmental Management are made using Open Journal System, the online submission and peer review system. Registration and access is available at Submissions

The author for correspondence is obliged to provide a cover letter for publication in the journal.

MANUSCRIPT REQUIREMENTS:

The editorial board accepts previously unpublished articles on scientific areas of the journal. The article is submitted in electronic format (in .doc, .docx, .rtf formats) ONLY by uploading it through the functionality of the journal's website (Open Journal System).

Font size – 12 (abstract, keywords, literature – 10, text of tables – 9-11), font – Times New Roman, alignment – to the width of the text, spacing – single, paragraph indentation – 0.8 cm, margins: top and bottom – 2 cm, left and right – 2 cm.

Figures, tables, graphs, diagrams, etc. are presented directly in the text, indicating the numbering and title (For example, Fig. 1 – Figure title). The number of figures, tables, graphs, and diagrams should not exceed 20% of the entire article volume (in some cases up to 30%).

The volume of the article (excluding the title, information about the authors, annotations, keywords, bibliographic list) should be at least 3,000 words and not exceed 7,000 words for socio-humanitarian areas, and 1,500-7,000 words for natural science and technical areas.

Authors should indicate in a cover letter in the Open Journal System or Editorial Manager that the submitted article/manuscript has not been published anywhere before, and that the article does not contain any borrowed text fragments from other works without links to them.

STRUCTURE OF THE ARTICLE (You can use the TEMPLATE on the official site for preparing your manuscript):

First page:

The first line – IRSTI (The rubricator is publicly available online <http://grnti.ru/> or, authors can also get the IRSTI Code in the library), alignment – left, font – bold.

The title of the article (Title) should reflect the essence and content of the article and attract the attention of the reader. The title should be short, informative, and not contain jargon or abbreviations. The optimal headline length is 5-7 words (in some cases 10-12 words). The title of the article must be submitted in Russian, Kazakh and English. The title of the article is presented in bold type in lowercase letters, alignment – in the center.

The author (s) of the article – indicating the name and surname, academic degree, academic title, a position held, place of work, city, country, contact phone number, email. Authors' information is presented in a regular font in lowercase letters, alignment – in the center.

Abstract of 150-300 words in Russian, Kazakh, and English.

The structure of the annotation includes the following mandatory clauses:

- Introductory remarks about the research topic.
- Purpose, main directions, and ideas of scientific research.
- A brief description of the scientific and practical significance of the work.
- Brief description of the research methodology.
- Main results and analysis, conclusions of the research work.
- The value of the research (the contribution of this work to the relevant area of knowledge).
- The practical significance of the results of the work.
- Keywords/phrases – 3-5 in Kazakh, Russian and English languages.

The data at the beginning of the article (title, authors, abstract, keywords) are given in the original language. This is followed by the same information (without IRSTI) in English. Then in Kazakh or Russian (depending on the language of the main article).

Subsequent page (new):

The introduction consists of the following main elements:

Justification for the choice of topic; relevance of the topic or problem. In justifying the choice of the topic based on the description of the experience of predecessors, it is reported that there is a problem situation (the absence of any research, the emergence of a new object, etc.). The relevance of the topic is determined by the general interest in the study of this object, but the lack of comprehensive answers to the existing questions is proved by the theoretical or practical significance of the topic.

Determination of the object, subject, goals, objectives, methods, approaches, hypothesis, and value of your work. The purpose of the research is connected with the proof of the thesis, that is, the presentation of the research subject in the aspect chosen by the author.

Material and Methods – should consist of a description of the materials and work progress, as well as a complete description of the methods used.

The characterization or description of the research material includes its qualitative and quantitative presentation. The characteristic of the material is one of the factors that determines the reliability of the conclusions and research methods.

This section describes how the problem was investigated: details without repeating previously published established procedures; identification of equipment (software) and description of materials are used, with the obligatory introduction of novelty when using materials and methods.

The scientific methodology should include:

- research question (s);

- put forward hypothesis (thesis);
- research stages;
- research methods;
- research results.

- The literature review section should cover fundamental and new works on the research topics of foreign authors in English (at least 15 works), analysis of these works in terms of their scientific contribution, as well as research gaps that you supplement in your article.

Impossible the presence of many references that are not related to the work, or inappropriate judgments about your own achievements, references to your previous work.

- The Results and Discussion section provides an analysis and discussion of your research results. The conclusion on the results obtained in the course of the study is given, the main essence is revealed. And this is one of the most important sections of the article. It needs to analyze the results of their work and discuss the relevant results in comparison with previous work, analyzes, and conclusions.

- Conclusion, conclusions – generalization and summing up the results of the work at this stage; confirmation of the truth of the statement put forward by the author, and the author's conclusion about the change in scientific knowledge, taking into account the results obtained. Conclusions should not be abstract, they should be used to summarize research results in a particular scientific field, with a description of proposals or opportunities for further work.

The structure of the report should contain the following questions: What are the objectives and methods of research? What are the results? What are the conclusions? What are the prospects and opportunities for implementation, application of development?

Bibliography or the Bibliographic list consists of at least 30 titles of literature, and 50% of them are in English. If the list of references contains works presented in Cyrillic, it is necessary to submit the list of references in two versions: the first – in the original, the second – in the romanized alphabet (transliteration).

A romanized bibliography should look as follows: author (s) (transliteration - <http://www.translit.ru>) → (year in parentheses) → article title in transliterated version [translation of the article title into English in square brackets], name of a Russian-language source (transliteration, or English title – if any), printed output in English.

For example: Gokhberg L., Kuznetsova T. (2011) *Strategiya-2020: novye kontury rossiiskoi innovatsionnoi politiki* [Strategy 2020: New Outlines of Innovation Policy]. Foresight-Russia, vol. 5, no.4, pp. 8-30. The list of references is presented in alphabetical order and ONLY those works that are cited in the text.

Style of the bibliography in Russian and Kazakh languages according to GOST 7.1-2003 “Bibliographic record. Bibliographic description. General requirements and compilation rules” (the requirement for publications included in the Committee for Control in the Sphere of Education and Science list).

The style of the Romanized bibliography, as well as sources in English (another foreign) language for socio-humanitarian areas – American Psychological Association (<http://www.apastyle.org/>), for natural sciences and engineering – Chicago Style (www.chicagomanualofstyle.org).

For example:

Book

0. Zadie Smith, *Swing Time* (New York: Penguin Press, 2016), 315-16.

1. Brian Grazer and Charles Fishman, *A Curious Mind: The Secret to a Bigger Life* (New York: Simon & Schuster, 2015), 12.

Journal article

0. Susan Satterfield, “Livy and the Pax Deum,” *Classical Philology* 111, no. 2 (April 2016): 170.

1. Shao-Hsun Keng, Chun-Hung Lin, and Peter F. Orazem, “Expanding College Access in Taiwan, 1978–2014: Effects on Graduate Quality and Income Inequality,” *Journal of Human Capital* 11, no. 1 (Spring 2017): 9-10, <https://doi.org/10.1086/690235>.

2. Peter LaSalle, “Conundrum: A Story about Reading,” *New England Review* 38, no. 1 (2017): 95, Project MUSE.

Website content

0. “Privacy Policy,” Privacy & Terms, Google, last modified April 17, 2017, <https://www.google.com/policies/privacy/>...

1. “About Yale: Yale Facts,” Yale University, accessed May 1, 2017, <https://www.yale.edu/about-yale/yale-facts...>

2. Katie Bouman, “How to Take a Picture of a Black Hole,” filmed November 2016 at TEDxBeaconStreet, Brookline, MA, video, 12:51, https://www.ted.com/talks/katie_bouman_what_does_a_black_hole_look_like...

This section should take into account:

- The main scientific publications, advanced research methods that are used in this field of science, and on which the author's work is based are cited.

- Avoid over-quoting.

- Avoid excessive references to publications by authors of the CIS / USSR, use world experience.

- The bibliographic list should contain fundamental and most relevant works published by well-known foreign authors and researchers on the topic of the article.

- References to cited works in the text are given in brackets, indicating the first author of the work, year of publication: number of pages (s). For example, (Zalesky, 1991: 25). If there are several works of the same author published in the same year in the bibliography, the letter “a”, “b”, etc. is added to the year of publication. For example, (Saduova, 2001a: 15), (Saduova, 2001b, 22).

МАЗМҰНЫ – CONTENTS – СОДЕРЖАНИЕ

1-бөлім Физикалық, экономикалық және әлеуметтік география	Section 1 Physical, economic and social geography	Раздел 1 Физическая, экономическая и социальная география
Н.Е. Рамазанова, Г.Н. Даметова, А.Е. Аяпбекова, Ж.М. Карагойшин, М.А. Алагуджаева, С.Т. Токсанбаева Терісаққан өзені алабындағы топырақ шайылуын бағалауда жауын-шашын қарқындылығы коэффициентінің (R-фактордың) рөлі		
Д.Б. Абилганиев, М.Ж. Дуйсебаева Алматы қорығы аумағында Сиверс алма ағашының (<i>Malus Sieversii</i> Ledeb. M. Roem)		
2-бөлім Картография және геоинформатика	Section 2 Cartography and geoinformatics	Раздел 2 Картография и геоинформатика
Zh.K. Mukaliyev, Zh.M. Zhumatayeva, A.A. Assylbekova, A.A. Bekkuliyeu, D.S. Onalbayeva, T.K. Rafikov Remote sensing-based evaluation of land degradation and moisture variability in post-nuclear landscapes of Kazakhstan		
Ж.Т. Омиржанова, К.Т. Картбаева, Д.С. Бекболат Қашықтан зондтау деректері бойынша Қостанай облысының табиғи ресурстық әлеуетін мониторингтеу		
3-бөлім Метеорология және гидрология	Section 3 Meteorology and hydrology	Раздел 3 Метеорология и гидрология
А.А. Медеу, Ж.М. Биримбаев Оценка ущерба от наводнений и управление рисками их возникновения в Республике Казахстан		
Л.К. Махмудова, С.К. Алимкулов, Э.К. Талипова, Л.М. Биримбаева, М.Е. Дауталиева Гидрологиялық құрғақшылық мәселесі бойынша ғылыми зерттеулердің эволюциясы		
R.Sh. Amanzholova, I.K. Rakhmetov, Zh.M. Sagin, Zh.A. Onglassynov Assessing groundwater for managed aquifer recharge in Eastern Kazakhstan		
4-бөлім Геоэкология	Section 4 Geoecology	Раздел 4 Геоэкология
M.M. Yusifova, T.T. Mamishova, N.A. Sultanova Assessment of the impact of coastline dynamics on biodiversity using remote sensing data in the Ghizil-Agaj bay, Azerbaijan		
4-бөлім Рекрециялық география және туризм	Section 4 Recreation geography and tourism	Раздел 4 Рекреационная география и туризм
Zh. Aliyeva, Zh. Baden, I. Akbar, Z. Myrzaliyeva, M. Uдахogora Cybersecurity in Kazakhstan's tourism sector: challenges and solutions in the protection of personal data		
L.S. Spankulova, Y. Yerbolat, Y.R. Dauletkanova Assessing tourism and regional economic inequality in Chinese cities: spatial analysis based on POI big data and machine learning		

4-бөлім
Жоғары мектептегі
географиялық білім беру
мәселелері

Section 4
Issues of geographic
education in higher
education

Раздел 4
Вопросы географического
образования
в высшей школе

O. Amangeldi, K.D. Duisebaeva, A. Kyrbassov, N. Umirzakova, T. Kurt

Geographical culture index as a tool for assessing geographical thinking in school and university geography education

Авторларға арналған ақпарат..... 196