

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

№2 (81)

Алматы
«Қазақ университеті»
2026



KazNU Science • ҚазҰУ Ғылымы • Наука КазНУ

ХАБАРШЫ

ГЕОГРАФИЯ СЕРИЯСЫ №2 (81) маусым

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 – бас редактор
(Қазақстан)
Абдуллаева А.С., PhD, доцент м.а. – бас редактордың
орынбасары (Қазақстан)
Асқарова М.А., Г.Ғ.Д., профессор (Қазақстан)
Бексентова Р.Т., Г.Ғ.Д., профессор (Қазақстан)
Ивкина Н.И., Г.Ғ.К., доцент (Қазақстан)
Нысанбаева А.С., Г.Ғ.К., доцент (Қазақстан)
Мазбаев О.Б., Г.Ғ.Д., профессор (Қазақстан)
Сальников В.Г., Г.Ғ.Д., профессор (Қазақстан)
Шокпарова Д.К., PhD, доцент м.а. (Қазақстан)
Махмудова Л.К., Г.Ғ.К., доцент (Қазақстан)

Базарбаева Т.А., Г.Ғ.К., доцент (Қазақстан)
Христиан Опп, профессор (Германия)
Родионова И.А., Г.Ғ.Д., профессор (Ресей)
Fernandez De Arroyave Pablo (Фернандес Де Арройеб Пабло),
профессор (Испания)
Шмелев Станислав, PhD (Ұлыбритания)
Béla Márkus (Белла Маркус), профессор (Венгрия)
Каратаев М.А., PhD (Австрия)
Dolly Priatna (Долли Приатна), PhD (Индонезия)

ТЕХНИКАЛЫҚ РЕДАКТОР

Алимсентова Ж.К., Т.Ғ.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 21,41 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, 2026

1-бөлім
**ФИЗИКАЛЫҚ, ЭКОНОМИКАЛЫҚ
ЖӘНЕ ӘЛЕУМЕТТІК ГЕОГРАФИЯ**

Section 1
**PHYSICAL, ECONOMIC
AND SOCIAL GEOGRAPHY**

Раздел 1
**ФИЗИЧЕСКАЯ, ЭКОНОМИЧЕСКАЯ
И СОЦИАЛЬНАЯ ГЕОГРАФИЯ**

МРНТИ: 39.01.94, 34.29.25, 34.29.35, 34.35.51

<https://doi.org/10.26577/JGEM81220261>

А.В. Дубынин*, В.Г. Эпиктетов*,
Л.А. Димеева*, А.А. Курмантаева*

РГП на ПХВ КЛХЖМ МЭПР РК «Институт ботаники и фитоинтродукции», Алматы, Казахстан

*e-mail: adubynin@botsad.kz

«ЛАНДШАФТЫ ШУ-ИЛЕЙСКИХ ГОР»: ПЕРВЫЙ ОПЫТ ВЫДЕЛЕНИЯ В КАЗАХСТАНЕ КЛЮЧЕВОЙ БОТАНИЧЕСКОЙ ТЕРРИТОРИИ ПО ОБНОВЛЕННЫМ КРИТЕРИЯМ

В условиях выраженной биогеографической мозаичности Казахстана выделение Ключевых ботанических территорий (КБТ/ИПА) рассматривается как инструмент пространственной приоритизации мер по охране растительного покрова страны. Представлены результаты апробации адаптированных к условиям Казахстана критериев выделения Ключевых ботанических территорий и их сопряжения с подходом Ключевых районов биоразнообразия (КРБ/КБА). На примере Шу-Илейских гор выделена КБТ IPA-KZ-IS и продемонстрирована применимость локализованных критериев А–С при обязательной таксономической валидации (Plants of the World Online/POWO, The World Checklist of Vascular Plants/WCVP, International Plant Names Index/IPNI) и интеграции разнородных источников данных (Global Biodiversity Information Facility/GBIF, iNaturalist, гербарии, полевые обследования). Определены географические границы и состав ксеропетрофитных сообществ опустыненных степей с максимальной концентрацией (до 90% известной мировой популяции) палеоэндемика *Incarvillea semiretschenskia* и участием узколокальных эндемиков, включая *Tulipa regelii*. Показана применимость подкритериев А1, А3, А4, В2, В3 и, в региональной интерпретации, С3. Сформулированы практические рекомендации: стандартизированный бланк (шаблон) описания КБТ, унифицированное кодирование местообитаний, угроз и землепользования (IUCN Habitats v3.1; IUCN-CMP Threats v3.2), картирование границ, а также интеграция КБТ в сети ООПТ и ОЕСМ и в инструменты территориального планирования в контексте достижения глобальной цели сохранения биоразнообразия 30×30.

Ключевые слова: ключевые ботанические территории (КБТ), *Incarvillea semiretschenskia*, Шу-Илейские горы, критерии IUCN, сохранение биоразнообразия.

A.V. Dubynin*, V.G. Epiktetov, L.A. Dimeyeva, A.A. Kurmantayeva
RSE on the Right of Economic Management "Institute of Botany and Phytointroduction",
Committee of Forestry and Wildlife, Ministry of Ecology and Natural Resources
of the Republic of Kazakhstan, Almaty, Kazakhstan
*e-mail: adubynin@botsad.kz

“Chu-Ili mountains landscapes”: the first experience in Kazakhstan of designating an important plant area under updated criteria

Against the backdrop of Kazakhstan’s pronounced biogeographical mosaic, the designation of Important Plant Areas (IPAs) serves as a practical tool for spatially prioritizing measures to conserve the country’s vegetation cover. This paper presents the results of testing the criteria for identifying IPAs adapted to the conditions of Kazakhstan, and their alignment with the Key Biodiversity Areas (KBAs) approach. Using the case of the Chu-Ili Mountains (IPA-KZ-IS), we demonstrate the applicability of localized criteria A–C, emphasizing the need for rigorous taxonomic validation (POWO, WCVP, IPNI) and the integration of heterogeneous data sources (GBIF, iNaturalist, herbarium collections, and field surveys). The geographical boundaries and species composition of xeropetrophytic communities of desertified steppes have been delineated, revealing a high concentration (up to 90% of the global population) of the paleoendemic *Incarvillea semiretschenskia*, together with several geographically restricted endemics, including *Tulipa regelii*. These findings support the use of subcriteria A1, A3, A4, B2, B3, and, under regional interpretation, C3. Practical recommendations are proposed, including a standardized IPA description form, unified coding of habitats, threats, and land use (IUCN Habitats v3.1; IUCN-CMP Threats v3.2), boundary mapping, and the integration of IPAs into national protected area and OECM networks, as well as into spatial planning tools, in the context of achieving the global biodiversity conservation target 30×30.

Keywords: Important Plant Areas (IPA), *Incarvillea semiretschenskia*, Chu-Ili Mountains, IUCN criteria, biodiversity conservation.

А.В. Дубынин*, В.Г. Эпиктетов, Л.А. Димеева, А.А. Курмантаева

ҚР ЭТРМ ОШЖҚ КХХЖМ «Ботаника және
фитоинтродукция институты» РМК, Алматы, Қазақстан
*e-mail: adubynin@botsad.kz

**«Шу-Іле тауларының ландшафттары»: жаңартылған критерийлер бойынша
Қазақстанда оқшауланған ботаникалық территорияны бөліп көрсетудің
алғашқы тәжірибесі**

Қазақстанның айқын биогеографиялық мозаикалылығы жағдайында оқшауланған ботаникалық территорияларды (ОБТ/КБТ) белгілеу елдің өсімдік жамылғысын сақтауға бағытталған шараларды кеңістіктік тұрғыдан басымдықпен жоспарлаудың практикалық құралы ретінде қарастырылады. Оқшауланған ботаникалық территорияларды бөлу шарттарының Қазақстан жағдайына бейімдеу нәтижелерін биоалуандықтың оқшауланған аудандарын (БОА/КРБ) бөлумен үйлестіру нәтижелері берілген. Шу-Іле тауларын (IPA-KZ-IS) мысал ретінде алып, локализацияланған А–С шарттарының міндетті түрде таксономияда қолдану сенімділігі растау (POWO, WCVP, IPNI) мен әртекті дереккөздерді (GBIF, iNaturalist, гербарий, далалық зерттеулер) біріктіре қолдану мүмкіндігі айқындалды. Шөлденген далалардағы ксеропетрофиттік қауымдас-тықтардың географиялық шекаралары мен түрлік құрамы анықталып, палеоэндемик *Incarvillea semiretschenskia* түрінің жаһандық популяциясының шамамен 90%-ы осы өңірде шоғырланғаны және тар ареалды эндемиктердің, соның ішінде *Tulipa regelii* түрінің кездесетіні көрсетілді. Бұл А1, А3, А4, В2, В3 шарт бөліктерін, ал өңірлік түсіндірмеде С3 шарт бөлігін қолдануға болатынын көрсетеді. Практикалық ұсыныстар құрастырылған: ОБТ жазбаларының стандартталған бланкы, мекен орындарын, қатерлер мен жер пайдалану түрлерін кодтау жүйесін үйлестіру (IUCN Habitats v3.1; IUCN-CMP Threats v3.2), аумақ шекараларын картографиялау және ОБТ нысандарын ЕҚТТ мен ұлттық қорғалатын табиғи аумақтар мен ОЕСМ желілеріне үйлестіруге, сондай-ақ 30×30 жаһандық биоалуандықты сақтау мақсаттарына жету аясында аумақтық жоспарлау құралдарына енгізу ұсынылады.

Түйін сөздер: оқшауланған ботаникалық территориялар (ОБТ), *Incarvillea semiretschenskia*, Шу-Іле таулары, IUCN шарттары, биоалуандықты сақтау.

Введение

Выделение Ключевых ботанических территорий (КБТ; Important Plant Areas, IPA) является одним из эффективных инструментов пространственной приоритизации природоохранных мер на глобальном, региональном и национальном уровнях (Adams et al., 2019; Darbyshire et al., 2017). Для Казахстана этот подход имеет особое значение в связи с выраженной биогеографической мозаичностью территории, сочетанием горных, степных и пустынных экосистем, неравномерной изученностью флоры, а также региональными различиями в структуре угроз, включая инфраструктурное развитие, ирригацию, перевыпас, пожары и климатические изменения.

Актуальность настоящего исследования определяется необходимостью адаптации глобальных критериев КБТ к природным условиям Казахстана. Единые универсальные пороги могут приводить к переоценке флористически богатых районов и одновременно к недооценке ксерофитных и пустынных комплексов. В связи с этим локальная настройка критериев А–С, таксономическая и номенклатурная сверка с международными базами данных POWO, WCVP

и IPNI, а также интеграция национальных перечней ценных и охраняемых растений позволяют повысить точность и обоснованность отбора территорий. Это, в свою очередь, усиливает управленческую применимость результатов и создает основу для их интеграции в системы особо охраняемых природных территорий, Ключевых районов биоразнообразия (КРБ; Key Biodiversity Areas, КБА), процедур оценки воздействия на окружающую среду и территориального планирования.

Важно не только формальное принятие адаптированных критериев, но и накопление практического опыта их применения в различных регионах Казахстана. Такой опыт необходим для корректного ранжирования участков, обеспечения сопоставимости результатов и тиражируемости методических решений. Особенно значимы модельные примеры для территорий с высокой концентрацией эндемичных, редких и уязвимых видов растений.

В связи с этим ландшафты Шу-Илейских гор как территория, обладающая высокой ботанической и природоохранной значимостью, являются показательным объектом для тестового применения адаптированных к условиям Казахстана

критериев выделения КБТ и его оценки, а само исследование имеет большое научно-практическое значение.

В 2023–2025 гг. авторами был проведен ряд исследований, посвященных современному распространению, биологии и экологии узколокального палеоэндемика Казахстана *Incarvillea semiretschenskia*, а также других эндемичных, редких и угрожаемых видов растений и сообществ с их участием в Шу-Илейских горах. Полученные данные позволили уточнить распространение и характеристики местообитаний вида, оценить риск его исчезновения и обосновать категорию Endangered по критериям Красного списка МСОП, проанализировать его молекулярно-генетические связи с близкими видами, а также описать основные типы местообитаний (Dimeyeva et al., 2024; Dubynin & Epiktetov, 2024a).

Цель данной статьи – представить результаты первого применения адаптированных к условиям Казахстана критериев выделения КБТ на примере местообитаний *Incarvillea semiretschenskia* и других эндемичных, редких и угрожаемых видов растений Шу-Илейских гор, а также предложить рекомендации по дальнейшему использованию этих критериев в различных регионах страны для выявления природных территорий, ценных для сохранения биоразнообразия.

Обзор литературы

Концепция Ключевых ботанических территорий, разработанная Plantlife International, базируется на трех основных критериях: наличии угрожаемых и эндемичных видов растений (А), значительном флористическом разнообразии растительных сообществ (В), а также присутствии редких и угрожаемых местообитаний (С) (Anderson, 2002; Plantlife International, 2004). В последующих методических разработках подчеркивалась необходимость учитывать не только собственно флористическую ценность территорий, но и социально-экономическую значимость растительных ресурсов, а также уязвимость местообитаний к климатическим и антропогенным воздействиям (Daru et al., 2020; Plantlife, 2018).

Подход КБТ доказал свою результативность в Европе, где было выделено более 1200 территорий в 17 странах, охватывающих около 30% ботанического разнообразия региона (Radford et al., 2011; Radford & Odé, 2013). В дальнейшем

он был соотнесен с современными международными механизмами сохранения биоразнообразия, включая обновленные добровольные меры по сохранению растений на 2024–2030 гг., принятые в рамках Конвенции о биологическом разнообразии для поддержки реализации Куньминско-Монреальской глобальной рамочной программы по биоразнообразию. Вместе с тем международный опыт применения критериев КБТ показал необходимость их региональной адаптации, поскольку универсальные пороговые значения не всегда одинаково применимы к территориям с различной природной структурой, уровнем изученности и характером угроз (Darbyshire et al., 2017; Kor et al., 2025).

В обновленной системе критериев КБТ была сохранена сопоставимость результатов и обеспечено сопряжение с подходом Ключевых районов биоразнообразия (Darbyshire et al., 2017; IUCN, 2016, 2022). Это имеет особое значение для стран, где данные о распространении видов, состоянии местообитаний и угрозах распределены неравномерно, а природоохранные решения должны быть совместимы с международными стандартами и национальными системами территориальной охраны.

В Казахстане первые работы по выделению КБТ были выполнены в 2012–2015 гг. В пределах Присеверотяньшанской подпровинции была выделена 31 КБТ с использованием методических подходов, разработанных для Сибири (Artemov et al., 2007, 2009; Dimeyeva et al., 2013; Dimeyeva & Vesselova, 2014; Kudabayeva et al., 2014, 2015; Sultanova et al., 2014). Дополнительно была описана КБТ «Дельта Сырдарьи» (Dimeyeva et al., 2014), а в 2023 г. обоснована КБТ «Долина Курты», связанная с охраной *Tulipa regelii* и *Iris kuschakewiczii* (Dubynin, 2023).

В 2025 г. А.В. Дубынин и Л.А. Димеева предложили вариант национальной адаптации критериев КБТ. В этой работе был проанализирован опыт Центральной и Северной Азии, даны практические рекомендации по отбору видов, выбору участков и использованию стандарта (шаблона) описания КБТ, включающего поля для дальнейшей интеграции с подходом КРБ. Также была подчеркнута роль КБТ в реализации Куньминско-Монреальской глобальной рамочной программы по биоразнообразию и достижении цели 30×30 (Dubynin & Dimeyeva, 2025).

Таким образом, имеющиеся публикации сформировали методическую основу для выде-

ления КБТ в Казахстане, однако сохраняется потребность в практической апробации обновленных и национально адаптированных критериев на конкретных территориях. Особенно значимы кейсы, позволяющие проверить применимость критериев А–С в условиях аридных горных систем, где высокая природоохранная ценность может быть связана не столько с общим флористическим богатством, сколько с концентрацией узколокальных эндемиков, редких видов и уязвимых ксеропетрофитных сообществ. В этом отношении Шу-Илейские горы представляют собой важный модельный участок для дальнейшего развития национальной сети КБТ.

Методология

Исследование направлено на проверку применимости адаптированных к условиям Казахстана критериев выделения Ключевых ботанических территорий на примере Шу-Илейских гор. Основной исследовательский вопрос заключался в том, позволяют ли адаптированные критерии КБТ/ПА обоснованно выделить территорию, значимую для сохранения *Incarvillea semiretschenskia*, *Tulipa regelii* и сопутствующих редких, эндемичных и угрожаемых видов растений, а также их местообитаний. Рабочая гипотеза состояла в том, что сочетание полевых данных, открытых цифровых наблюдений, гербарных и литературных источников, таксономической валидации и ГИС-оконтуривания позволяет выделить КБТ, соответствующую адаптированным критериям и отражающую не только распределение приоритетных видов, но и пространственную структуру ключевых местообитаний.

Материалами исследования послужили данные полевых обследований 2023–2025 гг., точки находок приоритетных видов, данные iNaturalist и GBIF, космические снимки, сведения о природных рубежах Шу-Илейских гор, опубликованные материалы о распространении и местообитаниях *Incarvillea semiretschenskia* и связанных с ним растительных сообществ (Dimeyeva et al., 2024; Dubynin & Epiketov, 2024a; iNaturalist, 2025), а также авторские количественные данные, использованные ранее при оценке риска исчезновения вида по критериям Красного списка МСОП (Dubynin & Epiketov, 2024a, 2024b). В качестве базовых источников для характеристики флористического богатства и растительности

Шу-Илейских гор были использованы публикации И.И. Ролдугина и В.В. Фисюн, а также В.Н. Храмцова (Khrantsov, 1983; Roldugin & Fisyun, 2018). Кроме того, был учтен опубликованный в 2024 г. анализ литературных данных о составе растительных сообществ с участием *Incarvillea semiretschenskia*, в рамках которого была подготовлена сводная таблица по восьми источникам (Dimeyeva et al., 2024, Table S.1). Эти сведения также использовались при формировании итогового списка видов КБТ.

Процедура исследования включала несколько последовательных этапов. На первом этапе были собраны и сопоставлены литературные, гербарные, полевые и открытые цифровые данные о приоритетных видах и растительных сообществах Шу-Илейских гор. На втором этапе проводилась таксономическая сверка видов и анализ их эндемичного, субэндемичного и природоохранного статуса. На третьем этапе в ГИС-среде выполнялось пространственное совмещение точек находок приоритетных видов, данных полевых обследований, материалов iNaturalist и GBIF, космических снимков и природных рубежей Шу-Илейских гор. На четвертом этапе были уточнены границы КБТ с учетом размещения ключевых местообитаний *Incarvillea semiretschenskia*, *Tulipa regelii* и сопутствующих ксеропетрофитных сообществ, а также административных и природоохранных границ Жусандалинской государственной заповедной зоны и музея-заповедника «Тамгалы». На заключительном этапе полученные данные были интерпретированы в соответствии с адаптированными критериями КБТ и использованы для подготовки описания территории.

Пространственное выделение границ КБТ выполнялось в ГИС-среде. Рабочий масштаб картографирования составил 1:100 000; для ключевых участков и проверки границ использовался более детальный просмотр в масштабе 1:50 000. Координатная основа – WGS 84. Оконтурирование проводилось экспертно, с учетом фактических точек находок приоритетных видов, пространственной структуры их местообитаний, природных рубежей ландшафтного комплекса, а также существующих административных и природоохранных границ.

Для определения эндемиков и субэндемиков Казахстана использовались сводка С.А. Кубентаева с соавторами и данные Plants of the World Online (Kubentayev et al., 2024; POWO, 2025).

Определение видов осуществлялось по монографиям «Флора Казахстана» в девяти томах и «Иллюстрированный определитель растений Казахстана» в двух томах (Flora Kazakhstan, 1956, 1958, 1960, 1961a, 1961b, 1963, 1964, 1965, 1966; *Illyustrirovannyi opredelitel rastenii Kazakhstana*, 1969, 1972). Названия видов приводятся в соответствии с современной номенклатурой; авторство таксонов указано в Таблице 2 «Приоритетные виды».

Сводный список видов растений, отмеченных в 2023–2025 гг. в границах КБТ, был подвергнут критическому анализу с точки зрения синонимии, актуальной номенклатуры и характера распространения. Виды, вызвавшие сомнения авторов, были исключены. Итоговый список видов КБТ опубликован в GBIF в поддержку настоящей публикации (Dubynin et al., 2025). При этом авторы не рассматривают его как окончательный: список может уточняться и расширяться по мере сбора и определения новых гербарных и фотографических материалов в ходе дальнейших исследований.

В качестве основного руководства при описании КБТ использовались рекомендации по адаптации критериев выделения Ключевых бо-

танических территорий Казахстана (Dubynin & Dimeyeva, 2025). Природоохранный статус видов и классификация угроз оценивались с использованием IUCN Threats Classification Scheme v.3.2 (IUCN, 2020). Оценка экосистемных услуг проводилась в соответствии с классификацией Millennium Ecosystem Assessment (Millennium Ecosystem Assessment, 2005). Данные по управлению территорией сопоставлялись с материалами World Database on Protected Areas (UNEP-WCMC, 2023). Классификация местообитаний и землепользования осуществлялась на основе IUCN Habitats Classification Scheme (IUCN, 2012).

Результаты и обсуждение

Результатами исследования являются описание Ключевой ботанической территории «Ландшафты Шу-Илейских гор» (IPA-KZ-IS) и рекомендации по применению адаптированных критериев выделения КБТ в других регионах страны.

Описание Ключевой ботанической территории «Ландшафты Шу-Илейских гор» согласно разработанному стандарту (шаблону)

Таблица 1

Географические и административные характеристики участка

Название на русском языке	Ландшафты Шу-Илейских гор		
Название на английском языке	Chu-Ili Mountains Landscapes		
Название на казахском языке	Шу-Іле тауларының ландшафттары		
Код КБТ	IPA-KZ-IS		
Страна	Казахстан		
Область (регион)	Алматинская область		
Широта центра (дес. коорд.)	43.90° N	Долгота (дес. коорд.)	75.45° E
Высота над ур. м. (минимум)	770	Высота над ур. м. (максимум)	1095
Площадь (тыс. га)	38,7	Наличие границ КБТ в векторном формате (*.kml/kmz или *.shp)	Да

Рисунок 1

Местоположение КБТ «Ландшафты Шу-Илейских гор» (IPA-KZ-IS)



Примечание: рабочий масштаб картографирования 1:100 000; координатная система WGS 84. Граница КБТ показана по результатам экспертного ГИС-оконтуривания на основе полевых данных, верифицированных фотонаблюдений iNaturalist/GBIF и природных рубежей Шу-Илейских гор. Слева: «флаговые виды» *Incarvillea semiretschenskia* (вверху), *Tulipa regelii*. Граница КБТ в векторном виде используется в проекте <https://www.inaturalist.org/projects/kba-chu-ili>.

Краткое описание КБТ

КБТ «Ландшафты Шу-Илейских гор» расположена в Алматинской области Казахстана, в пределах Шу-Илейских гор – одной из наиболее значимых во флористическом отношении горных систем страны. Несмотря на то, что она находится в границах особо охраняемой природной территории (ООПТ) «Жусандалинская государственная заповедная зона» (ЖГЗЗ), и частично пересекается с музеем-заповедником «Тамгалы» – объектом Всемирного наследия ЮНЕСКО, организация дополнительной охраны КБТ является актуальной задачей. Площадь КБТ составляет около 38,7 тыс. га.

КБТ охватывает плосковершинные хребты и пологие склоны на высотах 770–1095 м, сложенные гнейсами, сланцами и известняками. Растительный покров представлен опустыненными степями, эфемероидно-злаково-полукустарничковыми и ксеропетрофитными сообществами. Исключительная ботаническая значимость участка определяется концентрацией до 90% известной мировой популяции палеоэндемика *Incarvillea semiretschenskia* (IUCN EN), локальными популяциями *Tulipa regelii* (IUCN EN), а также присутствием других редких и эндемичных видов Казахстана, включая *Astragalus pseudocytisoides*, *Phlomis septentrionalis*,

Scutellaria titovii и *Iris kuschakewiczii*. Сообщества с участием этих видов включены в «Зеленую книгу Алматинской области» как редкие и нуждающиеся в охране (Zelenaia kniga Almatinskoi oblasti, 2023).

Пространственная организация КБТ определяется компактным расположением четырех из пяти известных участков произрастания (локалитетов) *Incarvillea semiretschenskia*, приуроченностью редких, эндемичных, культурно и социально значимых видов к ксеропетрофитным сообществам низкогорных склонов, а также соответствием границ участка природным рубежам центральной части Шу-Илейских гор.

Ключевым элементом территории с точки зрения ботанической и природоохранной значимости является участок «Тырнакты/Ак-Чеку». Сопредельные и периферийные по отношению к локалитетам *Incarvillea semiretschenskia* части КБТ выполняют буферную и связующую функцию. Они поддерживают ландшафтно-экологическую связность местообитаний, необходимую для сохранения популяций, процессов расселения, опыления и устойчивого существования угрожаемых видов. Такая конфигурация КБТ позволяет вести мониторинг и требует регулирования пастбищной нагрузки с учетом пространственного распределения ключевых биотопов.

Основные угрозы связаны с перевыпасом, карьерными разработками и экстремальными климатическими явлениями. Для предотвращения негативного антропогенного воздействия на КБТ наиболее перспективными являются усиление режима охраны в границах существующей ООПТ (ЖГЗЗ) и объединение природоохранных усилий с управлением музея-заповедника «Тамгалы». Целесообразно выделение в границах КБТ ключевого района биоразнообразия.

Ботаническая значимость

Территория имеет исключительное значение для охраны растительного мира благодаря высокой концентрации узколокальных эндемиков, редких и угрожаемых видов растений Казахстана. Ключевым объектом охраны является палеоэндемик *Incarvillea semiretschenskia* (syn. *Niedzwetzkyia semiretschenskia*) – реликтовый вид с уникальным положением в семействе Bignoniaceae. В настоящее время известно пять ключевых участков с местообитаниями *I. semiretschenskia* (Dubynin & Epiktetov, 2024a). Наибольшая численность вида отмечена на участке «Тырнакты» (Kudabayeva et al., 2015),

который в публикации Дубынина и Эпиктетова (2024a) соотнесен с урочищем Ак-Чеку. В границы КБТ включены четыре компактно расположенных участка; наиболее удаленный участок – урочище Алмакыз – в состав КБТ не включен.

В пределах КБТ сосредоточено около 90% известной мировой популяции *Incarvillea semiretschenskia* (Dubynin & Epiktetov, 2024a, 2024b, 2025). Границы территории в значительной степени согласуются с природными рубежами центральной части Шу-Илейских гор и отражают пространственную структуру ключевых местообитаний вида (IPA-KZ-IS, 2025; рис. 1). Размер и конфигурация КБТ учитывают возможность эффективного контроля состояния популяций угрожаемых видов и обеспечения их охраны (Darbyshire et al., 2017).

Не менее важным является произрастание в пределах КБТ эндемика *Tulipa regelii*, отличающегося характерными бороздчатыми листьями и представленного в Шу-Илейских горах немногочисленными локалитетами. На территории также выявлены другие редкие эндемичные виды национального уровня: *Astragalus pseudocytisoides*, *Phlomoides septentrionalis*, *Schrenkia involucrata*, *Scutellaria titovii*, а также субэндемик *Phlomoides dshungarica*. Кроме того, отмечены виды, включенные в Красную книгу Казахстана: *Tulipa kolpakowskiana*, *Tulipa biflora* и *Iris kuschakewiczii*. Эти таксоны связаны преимущественно с каменистыми склонами, эфемероидными опустыненными степями низкогорий и предгорными остепненными пустынями. Их состав и экологическая приуроченность отражают древние флорогенетические процессы аридных горных систем Центральной Азии (Dimeyeva et al., 2024). Совместно с *I. semiretschenskia* они формируют своеобразные ксеропетрофитные сообщества, включенные в «Зеленую книгу Алматинской области» как редкие и нуждающиеся в охране (Zelenaia kniga Almatinskoi oblasti, 2023).

По данным Л.А. Димеевой и соавторов, общее флористическое разнообразие сообществ с участием *I. semiretschenskia*, с учетом литературных данных, составляет 165 видов сосудистых растений. На двух ключевых участках – Тырнакты и Шильозек – в составе этих сообществ отмечено 85 видов (Dimeyeva et al., 2024, Table S.1).

В результате экспедиций 2024–2025 гг. был сформирован список видов сосудистых растений, выявленных в границах КБТ. Новые сведения опубликованы в электронном виде на платформах iNaturalist (research-grade observations) и

GBIF (human observations, check-list). Сводный список видов сосудистых растений, отмеченных авторами в границах КБТ, на текущий момент включает 214 видов (Dubynin et al., 2025).

Сочетание высокой концентрации эндемиков, видов с ограниченными ареалами, редких ксеропетрофитных сообществ и сохраняющихся угроз, включая карьерные разработки, перевыпас и климатические изменения, определяет КБТ «Ландшафты Шу-Илейских гор» как приоритетную территорию для природоохранных действий в рамках национальной системы сохранения и рационального использования биоразнообразия.

Местообитания и геология

На территории Шу-Илейских гор преобладают древние гнейсы протерозойского и нижнепалеозойского возраста, перекрытые кристаллическими сланцами и прорванные гранитными интрузиями; выше залегают конгломераты, песчаники и известняки. Почвы преимущественно светло-каштановые, малоразвитые, характерные для аридных низкогорных экосистем. Рельеф представлен плосковершинными хребтами и пологими склонами при сравнительно небольшом перепаде высот – от 770 до 1095 м. Сочетание литологической мозаичности, экспозиции склонов и микрорельефа в значительной степени определяет разнообразие растительных сообществ в аридных условиях Шу-Илейских гор. Северные и южные склоны, вершины холмов и их подножия характеризуются контрастными экологическими режимами увлажнения, прогревания и накопления мелкозема; это отражается в смене ассоциаций и локальной структуре растительного покрова. Постоянные водоемы и реки в пределах участка отсутствуют, однако имеются временные водотоки и сезонные скопления влаги после снеготаяния и дождей, поддерживающие весеннее развитие эфемероидной растительности (Khramtsov, 1983; Dubynin & Epiktetov, 2024a; Dimeyeva et al., 2024).

Экосистемы территории представлены главным образом опустыненными степями на горных светло-каштановых почвах. Сообщества с участием *Incarvillea semiretschenskia* относятся к эфемероидно-полынно-полукустарничковому, эфемероидно-дерновиннозлаково-полукустарничковому и злаково-кустарничково-полукустарничковому типам и приурочены к склонам различной экспозиции, вершинам и верхним частям холмов (Dimeyeva et al., 2024).

Климат резко континентальный, с жарким сухим летом, когда максимальные температуры могут достигать +43 °С, и холодной зимой с понижением температуры до –38 °С. Среднегодовая температура воздуха составляет около +7,9°С, среднегодовая сумма осадков – около 316 мм. Такая сезонность определяет выраженную весеннюю динамику растительности: в период достаточного увлажнения активно развиваются эфемероиды, тогда как к лету травяной покров быстро иссушается. Эти условия обуславливают высокую чувствительность растительного покрова к засухам и климатическим изменениям (Rachkovskaya et al., 2003; Dimeyeva et al., 2024). Режим ветров, общий характер рельефа и микрорельеф, вероятно, могут влиять на распространение семян *Incarvillea semiretschenskia*, морфология плодов которого указывает на возможность анемохории и анемогеохории.

Наибольшее значение для охраняемых и эндемичных видов имеют ксеропетрофитные и эфемероидные сообщества юго-восточных и восточных склонов, а также вершин холмов. Именно здесь сосредоточены основные популяции *Incarvillea semiretschenskia* и других редких растений, включая *Tulipa regelii*, *Tulipa alberti*, *Iris kuschakewiczii* и *Phlomis septentrionalis*.

Угрозы и охрана

К числу основных угроз экосистемам территории относятся перевыпас скота, приводящий к деградации растительного покрова, и горные разработки, непосредственно уничтожающие местообитания видов, требующих охраны. Негативное воздействие этих факторов может усиливаться в условиях климатических изменений, проявляющихся в учащении засух, изменении сезонного режима увлажнения и возможном смещении пригодных местообитаний.

Дополнительные риски связаны с тем, что Шу-Илейские горы входят в рудный пояс с запасами золота, урана и других полезных ископаемых, что создает потенциальную угрозу дальнейшего расширения горнодобывающей инфраструктуры. В перспективе давление на территорию может усиливаться в связи с экономическим использованием минеральных ресурсов, промышленным освоением, развитием аграрного сектора и расширением пастбищной нагрузки. При недостаточном контроле эти процессы способны привести к дальнейшей деградации местообитаний и снижению эффективности существующего природоохранного режима.

Территория, на которой расположены местообитания *Incarvillea semiretschenskia* и других редких видов растений, формально входит в границы Жусандалинской государственной заповедной зоны, созданной в 2001 г. постановлением Правительства Республики Казахстан как особо охраняемая природная территория национального значения. Однако действующий режим ЖГЗЗ не обеспечивает достаточного уровня охраны приоритетных видов растений, отмеченных в пределах КБТ, и не предусматривает регулярного контроля состояния их популяций и местообитаний.

Идея создания специализированной ботанической охраняемой территории в данном районе обсуждалась еще в советское время. В частности, Б.А. Винтерголлер предлагал организовать Анрахайский государственный ботанический заказник, однако это предложение не было реализовано. В последующие годы природоохранное внимание к территории проявлялось преимущественно в форме научных публикаций, экспертных обсуждений и отдельных инициатив, связанных с необходимостью усиления охраны редких видов и их местообитаний.

В 2023 г. ситуация существенно обострилась: добыча известняка привела к уничтожению большей части одного из местообитаний *Incarvillea semiretschenskia* в урочище Шильозек; по имеющимся оценкам, сохранилось лишь около 10–15% локальной популяции. Этот инцидент стал стимулом для перехода от экспертного обсуждения к практическим действиям: Институт ботаники и фитоинтродукции инициировал работы по выделению КБТ и подготовке предложений по организации территориальной охраны участка (Dimeyeva et al., 2024; Dubynin, Epiktetov, 2024a, 2024b).

В 2024 г. при поддержке гранта Botanic Gardens Conservation International (BGCI) были проведены экспедиционные исследования, направленные на уточнение ареала *Incarvillea semiretschenskia* и разработку подходов к сохранению местообитаний вида. В 2025 г. при содействии Global Greengrants Fund (GGF) был организован пресс-тур, позволивший привлечь общественное внимание к проблеме сохранения угрожаемых видов растений Шу-Илейских гор; его результатом стал ряд публикаций в национальных медиа. Кроме того, значение этой территории для охраны растений было представлено и обсуждено на представительном международном ботаническом симпозиуме

(Dubynin & Epiktetov, 2025). В декабре 2025 г. на экспертном круглом столе в Институте ботаники и фитоинтродукции обсуждалась перспектива организации охраны КБТ. Информация, содержащая описание и координаты локалитетов угрожаемых видов КБТ, полученные в рамках исследования, была направлена в республиканское государственное предприятие «Охотзоопром», осуществляющее контроль за соблюдением режима ЖГЗЗ для принятия необходимых мер.

В дальнейшем представляется целесообразным рассмотреть возможность выделения на основе КБТ Ключевого района биоразнообразия, для чего имеются веские основания. В частности, территория, кроме ботанической ценности, имеет большое значение для сохранения угрожаемых видов животных, занесенных в Красную книгу Казахстана и Красный список МСОП. Среди них отмечены степная гадюка *Vipera renardi* (IUCN VU), а также ряд видов птиц, имеющих высокий международный природоохранный статус: степной орел *Aquila nipalensis* (IUCN EN), балобан *Falco cherrug* (IUCN EN), могильник *Aquila heliaca* (IUCN VU), черный гриф *Aegypius monachus* (IUCN NT), кумай *Gyps himalayensis* (IUCN NT), змееяд *Circaetus gallicus*, беркут *Aquila chrysaetos* и чернобрюхий рябок *Pterocles orientalis*. Здесь эти данные приведены в качестве дополнительного природоохранного контекста и требуют дальнейшей специализированной верификации.

Для устойчивой охраны территории необходимо официальное признание природоохранной значимости участка: включение *Incarvillea semiretschenskia* и других приоритетных видов в перечни охраняемых объектов ЖГЗЗ, придание выделенной КБТ и/или локалитетов охраняемых видов статуса зон с более строгим (заповедным) режимом в границах ЖГЗЗ, а также рассмотрение возможности признания участка в качестве ОЕСМ – иной эффективной территориальной меры сохранения – и/или создание специализированного ботанического заказника и интеграции участка с музеем-заповедником «Тамгалы», признанным объектом Всемирного наследия ЮНЕСКО.

Необходимыми мерами также являются регулярный мониторинг популяций редких и угрожаемых видов, ограничение пастбищной нагрузки, строгий контроль за добычей полезных ископаемых и объектами энергетики, а также развитие программ по сохранению уникальных

растительных сообществ, включенных в «Зеленую книгу Алматинской области» (Zelenaia kniga Almatinskoi oblasti, 2023).

Основные экосистемные услуги

Комплекс ландшафтов Шу-Илейских гор, в пределах которого выделена КБТ IPA-KZ-IS, обеспечивает ряд важных экосистемных услуг, соотносимых с основными категориями Millennium Ecosystem Assessment (2005). Прежде всего, она имеет значение для поддержания биоразнообразия благодаря присутствию ксеропетрофитных и эфемероидных сообществ опустыненных степей с участием эндемичных, редких и угрожаемых видов растений. К поддерживающим услугам относятся сохранение ключевых местообитаний *Incarvillea semiretschenskia*, *Tulipa regelii* и других приоритетных видов, поддержание биоценотических связей, а также сохранение генетического разнообразия растений Казахстана. Эти функции связаны главным образом с местообитаниями типов 3.4 Shrubland – Temperate, 3.5 Grassland – Temperate и 4.4 Rocky Areas – Scree, cliffs по IUCN Habitats Classification Scheme.

Регулирующие услуги территории включают закрепление маломощных почв, снижение эрозионных процессов на склонах, поддержание локального водного режима, сохранение местообитаний опылителей и локальных микроклиматических условий в аридной среде. Эти функции особенно важны в условиях резко континентального климата, сезонной контрастности увлажнения и высокой уязвимости растительного покрова к засухам, перевыпасу и механическому нарушению субстрата.

К обеспечивающим услугам относятся пастбищные ресурсы, традиционно используемые местным населением для животноводства, а также генетические ресурсы редких и эндемичных растений, имеющих научную и природоохранную ценность. В рамках используемой типологии основным типом землепользования является животноводство и пастбищное использование. Добыча минеральных ресурсов, включая строительные материалы, золото и уран, а также транспортная инфраструктура не относятся к экосистемным услугам в узком смысле, однако существенно определяют характер землепользования и уровень антропогенного давления на природные комплексы. Дополнительными типами землепользования являются территории туризма и рекреации, горнодобывающая деятельность и карьерные разработки, а также авто-

мобильные и железные дороги, объекты ветроэнергетики.

Культурные услуги КБТ связаны с историко-культурным наследием Тамгалы, эстетической и духовной ценностью аридных горностепных ландшафтов, а также научным и образовательным значением территории для изучения редких видов, эндемизма и территориальной охраны растительного покрова. Шу-Илейские горы и междуречье Шу-Иле служили важной зоной миграций и контактов древних сообществ; здесь расположен музей-заповедник «Тамгалы» с комплексом петроглифов, включенным в Список всемирного наследия ЮНЕСКО. Историко-культурная ценность этих ландшафтов связана с наследием древних сообществ бронзового и раннего железного века, включая андроновскую культуру, усуней и другие группы, оставившие заметный след в культурной истории Юго-Восточного Казахстана. Наличие археологических памятников и своеобразного пустынно-степного ландшафта создает предпосылки для развития научно-просветительского и экологически ориентированного туризма. Вместе с тем такое развитие туризма должно учитывать природоохранные ограничения, уязвимость местообитаний, недостаточную инфраструктуру и угрозы, связанные с интенсивным природопользованием; в этом отношении может быть полезен опыт известных особо охраняемых природных территорий Казахстана (Akbar et al., 2020, 2022).

Обоснование статуса КБТ

Используемые подкритерии КБТ: А1, А3, А4, В2, В3, С3.

Территория «Ландшафты Шу-Илейских гор» соответствует нескольким подкритериям КБТ. По критерию А, в рамках подкритерия А1, отражающего глобальную значимость территории для сохранения угрожаемых видов, участок охватывает до 90% известной мировой популяции палеоэндемика *Incarvillea semiretschenskia*, имеющего категорию EN в Красном списке МСОП. Здесь же произрастает узколокальный эндемик *Tulipa regelii* (IUCN EN). Территория также имеет значение для сохранения четырех эндемичных видов Казахстана: *Astragalus pseudocytisoides*, *Phlomoideis septentrionalis*, *Scutellaria titovii* и *Schrenkia involucrata*, что подтверждает ее соответствие подкритерию А3. Кроме того, в пределах участка отмечен субэндемик *Phlomoideis dshungarica*, что позволяет учитывать территорию и по подкритерию А4.

Таблица 2

Приоритетные виды (критерии А и В)

Таксон	Соответствие критерию А: КБТ содержит...					Для соответствия критериям КРБ: участок содержит...			
	Критерий А	Критерий В	≥ 1% глоб. популяции, да/нет	≥ 5% нац. популяции, да/нет	1 из 5 лучших участков на нац. ур. да/нет	≥ 10% глоб. популяции, да/нет	Полностью глоб. популяция, да/нет	Вид соц.-экон. знач., да/нет	Встречаемость: неизв., редко, случайно, часто, обильно.
<i>Incarvillea semiretschenskia</i> (B. Fedtsch.) Grierson	A1, A3	B2	Да	Да	Да	Да	Да (90%)	Нет	Редко
<i>Tulipa regelii</i> Krasn.	A1, A3	B2	Да	Да	Нет	Да	Нет	Нет	Редко
<i>Astragalus pseudocytisoides</i> Popov	A3	B2	Да	Да	Да	Да	Да	Нет	Редко
<i>Phlomoides septentrionalis</i> (Popov) Adylov	A3	B2	Да	Да	Да	Да	Нет	Нет	Редко
<i>Scutellaria titovii</i> Juz.	A3	B2	Да	Да	Да	Да	Нет	Нет	Редко
<i>Schrenkia involucrata</i> Regel & Schmalh.	A3	B2	Да	Да	Да	Да	Нет	Нет	Редко
<i>Tulipa alberti</i> Regel	A3	B2	Нет	Нет	Нет	Нет	Нет	Нет	Редко
<i>Phlomoides dshungarica</i> (Popov) Lazkov & Sennikov	A4	B2	Нет	Да	Да	Нет	Нет	Нет	Редко
<i>Tulipa biflora</i> Pall.	-	B2	Нет	Нет	Нет	Нет	Нет	Нет	Редко
<i>Tulipa kolpakowskiana</i> Regel	-	B2	Нет	Нет	Нет	Нет	Нет	Нет	Редко
<i>Ephedra intermedia</i> Schrenk & C.A. Mey.	-	B3	Нет	Нет	Нет	Нет	Нет	Да	Часто
<i>Ephedra equisetina</i> Bunge	-	B3	Нет	Нет	Нет	Нет	Нет	Да	Редко
<i>Rheum tataricum</i> L. f.	-	B3	Нет	Нет	Да	Нет	Нет	Да	Часто
<i>Salvia aethiopis</i> L.	-	B3	Нет	Нет	Да	Нет	Нет	Да	Редко
<i>Ziziphora clinopodioides</i> Lam.	-	B3	Нет	Нет	Да	Нет	Нет	Да	Часто

По критерию В территория выделяется наличием растительных сообществ, ценных с природоохранной точки зрения. Помимо глобально угрожаемых и эндемичных видов, здесь отмечены ценопопуляции трех видов, включенные в Красную книгу Казахстана и нуждающиеся в охране на национальном уровне: *Tulipa alberti*, *Tulipa biflora* и *Tulipa kolpakowskiana*; это соответствует подкритерию В2. Значительное присутствие в составе сообществ ценных лекарственных растений, включая *Ephedra intermedia*, *Ephedra equisetina*, *Rheum tataricum*, *Salvia*

aethiopis и *Ziziphora clinopodioides*, позволяет рассматривать эти сообщества как соответствующие подкритерию В3, отражающему социально-экономическую значимость растительных ресурсов.

По критерию С на глобальном уровне данные местообитания не имеют отдельной оценки как угрожаемые по классификации IUCN. Однако региональная оценка показывает, что ксерофитные местообитания с участием *Incarvillea semiretschenskia*, *Tulipa regelii* и других ценных видов растений являются редкими и уязвимыми.

ми. Факты разрушения части местообитаний, в частности в результате карьерных разработок в 2023 г., подтверждают высокий уровень их фактической угрозы. Включение этих сообществ в региональный кадастр редких и нуждающихся в охране растительных сообществ – «Зеленую книгу Алматинской области» – позволяет применить к данной КБТ подкритерий С3 (Zelenaia kniga Almatinskoi oblasti, 2023).

При описании КБТ «Ландшафты Шу-Илейских гор» использовались обновленные критерии КБТ (Darbyshire et al., 2017), адаптированные к условиям Казахстана (Dubynin & Dimeyeva, 2025). При выявлении эндемичных и субэндемичных видов учитывались новейшая сводка С.А. Кубентаева с соавторами (Kubentayev et al., 2024) и данные Plants of the World Online (POWO, 2025).

Таблица 3

Угрожаемые местообитания (подкритерий С3)

Тип местообитания	Для КБТ с видами критерия А. Участок содержит...		Для соответствия критериям КРБ: участок содержит...			
	≥ 5% площади местообитания на нац. уровне	≥ 10% площади местообитания на нац. уровне	Местообитания CR и EN: ≥ 5% площади на глоб. уровне	Местообитания VU: ≥ 10% площади на глоб. уровне	Узколокальные местообитания: ≥ 20% площади на глоб. уровне	Расчетная площадь (если известно), га
Комплекс ксеропетрофитных сообществ опустыненных степей на горных светло-каштановых почвах с доминированием и участием <i>Incarvillea semiretschenskia</i> и других эндемичных видов	Да	Да	-	-	-	Неизв.

Таблица 4

Соотношение с существующими ООПТ / другими охраняемыми объектами

Тип ООПТ или ДОО	Название	Соотношение КБТ и ООПТ	Перекрытие по площади % (если известно)
Государственная заповедная зона (ООПТ)	Жусандалинская государственная заповедная зона	КБТ находится внутри ООПТ	100%
Государственный историко-культурный и природный музей-заповедник, Объект Всемирного наследия ЮНЕСКО (ДОО)	Государственный историко-культурный и природный музей-заповедник «Тамгалы»	Частично пересекаются	10%

Таблица 5

Типы местообитаний (согласно IUCN Habitats Classification Scheme)

Тип местообитания	% площади (если известно)	Роль
3.4. Shrubland – Temperate (полукустарничковые сообщества, эфемероидные степи).	Неизвестно	Источник весеннего биоразнообразия эфемероидов
3.5. Grassland – Temperate (полукустарничково-дерновинно-злаковые степи).	Неизвестно	Фоновая экосистема, поддерживающая общее биоразнообразие
4.4. Rocky Areas – Scree, cliffs (каменистые склоны, осыпи).	Неизвестно	Рефугиумы палео- и узколокальных эндемиков

Таблица 6*Типы землепользования (согласно Красному списку экосистем и КРБ)*

Тип землепользования	% площади (если известно)	Уровень
Livestock farming & ranching (животноводство, пастбища), основной	Неизвестно	Высокий
Tourism & recreation areas (туризм и рекреация), дополнительный	Неизвестно	Слабый, в перспективе – средний
Mining & quarrying (горные разработки, карьеры), основной	Неизвестно	Средний
Roads & railroads (транспортные коммуникации), основной	Неизвестно	Средний
Renewable energy facilities (объекты возобновляемой энергетики), дополнительный	Неизвестно	Слабый, в перспективе – средний

Таблица 7*Кодировки других природоохранных статусов (не закрепленных законодательно – КРБ, ОЕСМ)*

Природоохранный статус	Название охраняемой территории	Соотношение КБТ и охраняемой территории	Площадь перекрытия (в км ²), если известно
Нет	Нет	Нет	Нет

Таблица 8*Угрозы (согласно Классификации угроз МСОП версия 3.2)*

Угроза	Степень воздействия	Воздействие
1.3 Tourism & Recreation Areas (объекты туризма и рекреации)	Слабая	Текущее, в перспективе может вырасти
2.3 Livestock Farming & Ranching (выпас скота)	Сильная	Текущее, тренд неизвестен
3.3 Renewable Energy (возобновляемая энергетика, включая ветроэнергетические установки)	Слабая	Текущее, в перспективе может вырасти
4.1 Roads & Railroads (дорожная инфраструктура)	Средняя	Текущее, в перспективе может вырасти
5.2 Gathering Terrestrial Plants (сбор растений)	Слабая	Текущее, тренд неизвестен
5.3 Logging & Wood Harvesting (заготовка деревьев и кустарников)	Слабая	Текущее, тренд неизвестен
6.1 Recreational Activities (рекреация)	Слабая	Текущее, в перспективе может вырасти
11.1 Habitat Shifting & Alteration (сокращение местообитаний)	Средняя	Текущее, в перспективе может вырасти
11.2 Droughts (засухи)	Слабая	Текущее, в перспективе может вырасти
11.3 Temperature Extremes (экстремальные температуры)	Средняя	Текущее, в перспективе может вырасти

Таблица 9*Кодировки управления, наличие специальных менеджмент-планов (согласно стандарту КРБ и мировой базе данных по ООПТ UNEP-WCMC)*

Тип управления	Описание	Год начала реализации	Год окончания
Нет	Нет	Нет	Нет

Литература

(приводится в случае оформления КБТ в виде отдельного бланка; здесь литература к описанию КБТ дана в конце статьи)

Авторы оценки, место оценки, место работы, контактные данные

А.В. Дубынин*, В.Г. Эпиктетов, Л.А. Димеева, А.А. Курмантаева, Институт ботаники и фитоинтродукции; *adubynin@botsad.kz

Рекомендации по применению методологии КБТ в других регионах Казахстана

1. Согласование критериев и приоритетов.

Необходимо продолжить адаптацию и апробацию глобальных критериев КБТ и КРБ с учетом экологических, флористических и биогеографических особенностей Казахстана. При этом следует учитывать национальные приоритеты в сфере охраны природы, действующие государственные стратегии и концепции сохранения биоразнообразия, а также международные обязательства страны в области охраны природы.

2. Формирование и верификация списков приоритетных видов.

В основу отбора ключевых ботанических территорий рекомендуется положить национальные перечни угрожаемых, эндемичных, субэндемичных и социально значимых таксонов. Перспективным направлением является использование флаговых (харизматичных) видов в природоохранной коммуникации. К таким видам могут относиться *Incarvillea semiretschenskia*, угрожаемые виды тюльпанов, *Spiraeanthus schrenkianus* и другие таксоны, способные повысить общественную и институциональную поддержку сохранения растительного покрова. Таксономическая сверка должна осуществляться с опорой на международные базы данных POWO, IPNI и WCVP, а актуализация сведений о распространении видов – через анализ данных GBIF, iNaturalist и гербарных коллекций.

3. Полевые исследования и картографирование.

Важным направлением является проведение целевых полевых обследований и ревизия исторических местонахождений в недостаточно изученных районах. Собранные материалы целесообразно интегрировать с проверенными наблюдениями гражданской науки и представлять в унифицированном формате, совместимом с ГИС, с фиксацией границ участков (*.kml/kmz, *.shp), высотных диапазонов, ключевых местообитаний и источников данных.

4. Унифицированный шаблон и национальная база данных.

Рекомендуется широкое внедрение стандартизированного бланка описания (шаблона) КБТ, включающего структурированные блоки о типах местообитаний (IUCN Habitats v3.1), угрозах (IUCN–CMP Threats v3.2), формах землепользования, экосистемных услугах и мерах управления. На этой основе может быть сформирована единая национальная база данных по КБТ, обеспечивающая сопоставимость описаний, обновление сведений и последующую интеграцию с инструментами природоохранного планирования.

5. Интеграция в систему охраны природы.

Ключевые ботанические территории следует интегрировать в существующую сеть особо охраняемых природных территорий и систему пространственного природоохранного планирования. Это включает подготовку предложений по дополнительному зонированию существующих и созданию новых ООПТ и ОЕСМ, использование данных КБТ при территориальном планировании и оценке воздействия на окружающую среду, а также учет этих территорий при разработке мер адаптации к изменению климата.

Заключение

Проведенное исследование показало, что адаптированные к условиям Казахстана критерии выделения КБТ могут эффективно использоваться для обоснования участков высокой ботанической и природоохранной значимости. Они обеспечивают объективность и прозрачность аргументации при выборе ценных природных территорий для дальнейшей охраны. На примере Шу-Илейских гор продемонстрирована возможность применения критериев КБТ как инструмента пространственного природоохранного планирования, в том числе с учетом потенциального сопряжения с подходом КРБ.

КБТ «Ландшафты Шу-Илейских гор» площадью около 38,7 тыс. га охватывает основную часть известной мировой популяции палеоэндемика *Incarvillea semiretschenskia* (IUCN EN), локальные популяции *Tulipa regelii* (IUCN EN), а также местообитания других эндемичных, субэндемичных, редких и угрожаемых видов растений. Это позволяет обосновать применение подкритериев А1, А3 и А4. Ксеропетрофитные опустыненные степи и связанные с ними сообщества, включающие виды природоохран-

ного, ресурсного, социального и культурного значения, соответствуют подкритериям В2 и В3. Наличие редких и уязвимых растительных сообществ национального уровня, включенных в «Зеленую книгу Алматинской области», позволяет рассматривать КБТ соответствующей подкритерию С3.

Границы и пространственная структура КБТ были обоснованы путем совмещения полевых данных, гербарных материалов, литературных источников и данных гражданской науки, включая GBIF и iNaturalist. Важными элементами методологии стали таксономическая сверка по международным базам POWO, WCVP и IPNI, а также ГИС-оконтуривание с учетом точек находок приоритетных видов, природных рубежей и структуры ключевых местообитаний. Это позволило рассматривать КБТ не как сумму локалитетов редких видов, а как целостный территориальный комплекс, обеспечивающий сохранение популяций, местообитаний и экологической связности между ними.

Несмотря на расположение территории в пределах Жусандалинской государственной заповедной зоны и частичное пересечение с Государственным историко-культурным и природным музеем-заповедником «Тамгалы», существующий режим охраны не обеспечивает достаточной защиты приоритетных видов растений и их местообитаний.

Основные угрозы связаны с перевыпасом, горными разработками и развитием дорожной и энергетической инфраструктуры. Факт утраты части местообитаний *Incarvillea semiretschenskia* в результате карьерных разработок свидетельствует о том, что данные угрозы имеют не только потенциальный, но и непосредственный характер. В связи с этим необходимы регулирование пастбищной нагрузки, строгий контроль недропользования, регулярный мониторинг популяций приоритетных видов и специальные меры по сохранению редких ксеропетрофитных сообществ.

Расположение КБТ в пределах уже существующих природоохранных и историко-культурных территорий создает предпосылки для интеграции предлагаемых мер охраны в действующие режимы территориального управления. Перспективными направлениями являются охрана КБТ в границах ЖГЗЗ, признание участка ОЕСМ и/или отдельного ООПТ, расширение сотрудничества с музеем-заповедником «Тамгалы». В дальнейшем материалы исследования

могут быть использованы для подготовки обоснования КРБ.

Полученные результаты важны не только для сохранения растительного покрова Шу-Илейских гор, но и для развития национальной сети КБТ в Казахстане. Дальнейшее применение предлагаемого подхода позволит повысить сопоставимость оценок и их практическую применимость. В целом КБТ «Ландшафты Шу-Илейских гор» может рассматриваться как репрезентативный кейс для масштабирования подхода КБТ в других регионах Казахстана, особенно в аридных горных, степных и пустынных ландшафтах.

Вклад соавторов в исследование и подготовку публикации

Концептуализация и методология – АД, ВЭ, ЛД, полевые исследования и сбор данных – АД, ВЭ, ЛД, АК, таксономическая сверка и флористический анализ – ВЭ, картографирование и пространственный анализ – АД, анализ экосистемных услуг и угроз – АД, написание текста – АД, редактирование и корректура – АД, ВЭ, ЛД, визуализация и подготовка материалов – АД, ВЭ, административная и организационная поддержка – АД, ЛД.

Благодарности

Мы искренне благодарны Иану Дарбиширу за полезные советы и информационные материалы, Г.А. Лазькову, И.Ю. Селютиной, Бретту Уилсону за рекомендации по улучшению статьи и ценные замечания, А.Е. Рогожинскому за консультацию по вопросам исторического наследия, Г.Ю. Дякину за предоставленные важные сведения о птицах, Павлу Аджигильдяеву и фонду «Крылья» за помощь в публикации чек-листа в GBIF. Наша отдельная признательность BGCI за финансовую поддержку полевых экспедиций 2024 г. и GGF за возможность организации пресс-тура и дополнительных выездов в 2025 г.

Финансирование

Исследование выполнено в рамках реализации задач ПЦФ Министерства науки и высшего образования РК по теме BR21882199 «Кадастр диких животных аридных территорий Балхаш-Алакольского бассейна с оценкой угроз для их сохранения и устойчивого использования» (2023–2025 гг.) и в части разработки и апробации методологии КБТ при поддержке НТП BR23591088 Министерства экологии и природных ресурсов РК «Создание Кадастра растений

Улытауской области как реализация задач Закона РК „О растительном мире“ для устойчивого использования ботанических ресурсов региона».

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Литература

- Adams, V. M., Mills, M., Weeks, R., Segan, D. B., Pressey, R. L., Gurney, G. G., Groves, C., Davis, F. W., & Álvarez-Romero, J. G. (2019). Implementation strategies for systematic conservation planning. *Ambio*, 48(2), 139–152. <https://doi.org/10.1007/s13280-018-1067-2>
- Akbar, I., Yang, Z., Mazbayev, O., & Kenesbekkyzy, B. (2020). Tourism and ecological protection status of the Aksu-Zhabagly World Heritage Site of Kazakhstan. *Journal of Geography and Environmental Management*, 58(3), 24–33. <https://doi.org/10.26577/JGEM.2020.v58.i3.03>
- Akbar, I., Myrzaliyeva, Z. K., Tazhekova, A. Z., Arystanova, K. O., & Saulembaev, A. T. (2022). The proposition of a community nature-based tourism development pattern for the Aksu-Zhabagly World Heritage Site. *Journal of Geography and Environmental Management*, 66(3), 66–76. <https://doi.org/10.26577/JGEM.2022.v66.i3.06>
- Anderson, S. (2002). Identifying Important Plant Areas. *Plantlife International*.
- Artemov, I. A., Korolyuk, A. Yu., Lashchinsky, N. N., & Smelyansky, I. E. (2007). Kriterii vydeleniia kliuchevykh botanicheskikh territorii v Altae-Saianskom ekoregione: Metodicheskoe posobie [Criteria for identifying Important Plant Areas in the Altai–Sayan ecoregion: A methodological guide]. *Sibirskii ekologicheskii tsentr*. (In Russian)
- Artemov, I. A., Lashchinsky, N. N., Korolyuk, A. Yu., & Smelyansky, I. E. (2009). Kliuchevye botanicheskie territorii Altae-Saianskogo ekoregiona: Opyt vydeleniia [Important Plant Areas of the Altai–Sayan ecoregion: Experience of identification] (I. E. Smelyansky & G. A. Pronkina, Eds.). Novosibirsk. (In Russian)
- Daru, B. H., Farooq, H., Antonelli, A., & Faurby, S. (2020). Endemism patterns are scale dependent. *Nature Communications*, 11, Article 2115. <https://doi.org/10.1038/s41467-020-15921-6>
- Darbyshire, I., Anderson, S., Asatryan, A., et al. (2017). Important Plant Areas: Revised selection criteria for a global approach to plant conservation. *Biodiversity and Conservation*, 26, 1767–1800.
- Dimeyeva, L. A., Kudabayeva, G. M., & Veselova, P. V. (2013). Rol' kliuchevykh botanicheskikh territorii v realizatsii strategii sokhraneniia bioraznobraziia Kazakhstana [The role of Important Plant Areas in implementing Kazakhstan's biodiversity conservation strategy]. In *Trudy XIII s'ezda RBO* [Proceedings of the 13th Congress of the Russian Botanical Society] (Vol. 3, pp. 17–18). (In Russian)
- Dimeyeva, L. A., Sultanova, B. M., & Alimbetova, Z. Zh. (2014). Del'ta Syrdar'i – kliuchevaia botanicheskaia territoria Aral'skogo regiona [The Syr Darya Delta as an Important Plant Area of the Aral region]. In *Materialy mezhdunarodnoi nauchno-prakticheskoi konferentsii* [Proceedings of the international scientific-practical conference] (pp. 9–17). Aral'sk. (In Russian)
- Dimeyeva, L., & Vesselova, P. (2014). Identification of Important Plant Areas in Kazakhstan. In *Proceedings of the 7th PLANTA EUROPA Conference* (pp. 54–58). Crete, Greece.
- Dimeyeva, L., Permitina, V., Kurmantayeva, A., Imanaliova, A., Osmonali, B., Kozybayeva, F., Beiseyeva, G., Ussen, K., Iskakov, R., Oyuntsetseg, B., & Friesen, N. (2024). Habitats, plant diversity, and molecular phylogeny of endemic relic species *Incarvillea semiretschenskia* (Bignoniaceae). *Plants*, 13(23), Article 3299. <https://doi.org/10.3390/plants13233299>
- Dubynin, A. V. (2023). Petrofitnye kustarnikovye soobshchestva s uchastiem *Tulipa regelii* Krasn. i ikh okhrana [Petrophytic shrub communities with *Tulipa regelii* Krasn. and their conservation]. In *Botanika i botaniki v meniaiushchemsya mire: Materialy mezhdunarodnoi konferentsii* [Botany and botanists in a changing world: Proceedings of the international conference] (pp. 71–76). Tomsk. <https://doi.org/10.17223/978-5-7511-2661-2/16> (In Russian)
- Dubynin, A. V., & Dimeyeva, L. A. (2025). Kliuchevye botanicheskie territorii Kazakhstana: Adaptatsiia kriteriev vydeleniia [Important Plant Areas of Kazakhstan: Adaptation of selection criteria]. In *Aktual'nye voprosy sokhraneniia biologicheskogo raznobraziia i ratsional'nogo prirodopol'zovaniia. Introduktsiia rastenii: Materialy mezhdunarodnoi konferentsii* (Ridder, Kazakhstan, 18–20 iyunia 2025 g.) [Topical issues of biodiversity conservation and sustainable nature management. Plant introduction: Proceedings of the international conference (Ridder, Kazakhstan, June 18–20, 2025)] (pp. 277–292). (In Russian)
- Dubynin, A. V., & Epiktetov, V. G. (2024a). Otsenka ugrozy ischeznoveniia kazakhstanskogo paleoendemika *Incarvillea semiretschenskia* i mery po ego okhrane [Assessing extinction risk of the Kazakh paleoendemic *Incarvillea semiretschenskia* and measures for its conservation]. *Problemy botaniki iuzhnoi Sibiri i Mongolii*, 23(2), 76–85. <https://doi.org/10.14258/pbssm.2024067> (In Russian)
- Dubynin, A. V., & Epiktetov, V. (2024b). *Incarvillea semiretschenskia*. *The IUCN Red List of Threatened Species*, 2024, e.T257422099A265145821. <https://dx.doi.org/10.2305/IUCN.UK.2024-2.RLTS.T257422099A265145821.en>
- Dubynin, A. V., & Epiktetov, V. G. (2025). What the case of the Kazakh endemic *Incarvillea semiretschenskia* has taught us. In Y. Turuspekov & S. Abugaliyeva (Eds.), *Proceedings of the 3rd International Symposium on the Frontiers of Plant Diversity Conservation Research on the Pan-Third Pole Region (PDCR 2025)*, August 26–29, 2025, Almaty, Kazakhstan (p. 23). https://genes.kz/pdcr2025/files/AbstractBook_PDRCR2025.pdf
- Dubynin, A., Epiktetov, V., Dimeyeva, L., & Kurmantayeva, A. (2025). Checklist of vascular plants of the Important Plant Area “Chu-Ili Landscapes” (IPA-KZ-IS) (Version 1.4) [Data set]. *Wings – Animal and Plant Conservation and Protection Fund*. <https://doi.org/10.15468/52cgh2>

- Goloskokov, V. P. (Ed.). (1969). *Illustrirovannyi opredelitel' rastenii Kazakhstana* [Illustrated guide to plants of Kazakhstan] (Vol. 1). Nauka. (In Russian)
- Goloskokov, V. P. (Ed.). (1972). *Illustrirovannyi opredelitel' rastenii Kazakhstana* [Illustrated guide to plants of Kazakhstan] (Vol. 2). Nauka. (In Russian)
- iNaturalist. (2025). Observations dataset [Data set]. Retrieved October 3, 2025, from https://www.inaturalist.org/attachments/flow_task_outputs/10283591/observations-623966.csv.zip?1759498967
- International Union for Conservation of Nature. (2012). Habitats classification scheme (Version 3.1). IUCN.
- International Union for Conservation of Nature. (2016). A global standard for the identification of Key Biodiversity Areas (Version 1.0). IUCN. <https://www.iucn.org/resources/conservation-tool/key-biodiversity-areas>
- International Union for Conservation of Nature. (2020). Threats classification scheme (Version 3.2). IUCN.
- International Union for Conservation of Nature. (2022). Guidelines for using a global standard for the identification of Key Biodiversity Areas (Version 1.2). IUCN. <https://www.keybiodiversityareas.org/working-with-kbas/publications>
- Khramtsov, V. N. (1983). *Rastitel'nost' Chu-Iliiskikh gor (geografiia i kartografiia)* [Vegetation of the Chu-Ili Mountains (geography and cartography)] (Candidate of Biological Sciences dissertation). Leningrad. (In Russian)
- Kor, L., Perez, F., Inwood, K., Darbyshire, I., & Diazgranados, M. (2025). An evaluation of important plant areas around the world. *Conservation Biology*, 39, e70013. <https://doi.org/10.1111/cobi.70013>
- Kubentayev, S. A., Alibekov, D. T., Perezhogin, Y. V., Lazkov, G. A., Kupriyanov, A. N., Ebel, A. L., Izbastina, K. S., Borodulina, O. V., & Kubentayeva, B. B. (2024). Revised checklist of endemic vascular plants of Kazakhstan. *PhytoKeys*, 238, 241–279. <https://doi.org/10.3897/phytokeys.238.114475>
- Kudabayeva, G., Vesselova, P. V., Danilov, M. P., & Sultanova, B. M. (2015). Important Plant Areas of the Peri-North Tien Shan subprovince as perspective protection areas of phytobiodiversity. *American Journal of Environmental Protection*, 4, 123–129. <https://doi.org/10.11648/j.ajep.s.2015040301.29>
- Kudabayeva, G. M., Sitpayeva, G. T., Vesselova, P. V., et al. (2014). Gory Ul'ken Buryltau – potentsial'nyi ob'ekt sokhraneniia botanicheskogo raznoobraziia [Ulken Buryltau Mountains as a potential site for botanical diversity conservation]. In *Sovremennye tendentsii v izuchenii flory Kazakhstana* [Current trends in studying the flora of Kazakhstan] (pp. 82–88). Almaty. (In Russian)
- Millennium Ecosystem Assessment. (2005). *Ecosystems and human well-being: Synthesis*. Island Press.
- Pavlov, N. V. (Ed.). (1956). *Flora Kazakhstana: V 9 t.* [Flora of Kazakhstan: In 9 volumes] (Vol. 1). Izd-vo AN KazSSR. (In Russian)
- Pavlov, N. V. (Ed.). (1958). *Flora Kazakhstana: V 9 t.* [Flora of Kazakhstan: In 9 volumes] (Vol. 2). Izd-vo AN KazSSR. (In Russian)
- Pavlov, N. V. (Ed.). (1960). *Flora Kazakhstana: V 9 t.* [Flora of Kazakhstan: In 9 volumes] (Vol. 3). Izd-vo AN KazSSR. (In Russian)
- Pavlov, N. V. (Ed.). (1961a). *Flora Kazakhstana: V 9 t.* [Flora of Kazakhstan: In 9 volumes] (Vol. 4). Izd-vo AN KazSSR. (In Russian)
- Pavlov, N. V. (Ed.). (1961b). *Flora Kazakhstana: V 9 t.* [Flora of Kazakhstan: In 9 volumes] (Vol. 5). Izd-vo AN KazSSR. (In Russian)
- Pavlov, N. V. (Ed.). (1963). *Flora Kazakhstana: V 9 t.* [Flora of Kazakhstan: In 9 volumes] (Vol. 6). Izd-vo AN KazSSR. (In Russian)
- Pavlov, N. V. (Ed.). (1964). *Flora Kazakhstana: V 9 t.* [Flora of Kazakhstan: In 9 volumes] (Vol. 7). Izd-vo AN KazSSR. (In Russian)
- Pavlov, N. V. (Ed.). (1965). *Flora Kazakhstana: V 9 t.* [Flora of Kazakhstan: In 9 volumes] (Vol. 8). Nauka. (In Russian)
- Pavlov, N. V. (Ed.). (1966). *Flora Kazakhstana: V 9 t.* [Flora of Kazakhstan: In 9 volumes] (Vol. 9). Nauka. (In Russian)
- Plantlife. (2018). *Identifying and conserving Important Plant Areas (IPAs) around the world: A guide for botanists, conservationists, site managers, community groups and policy makers*. Plantlife International.
- Plantlife International. (2004). *Important Plant Areas: Target 5 of the Global Strategy for Plant Conservation*. Plantlife International.
- Plants of the World Online. (n.d.). *Phlomooides dshungarica* (Popov) Lazkov & Sennikov. Royal Botanic Gardens, Kew. Retrieved September 26, 2025, from <https://powo.science.kew.org/taxon/urn:lsid:ipni.org:names:77136142-1>
- Rachkovskaya, E. I., Volkova, E. A., & Khramtsov, V. N. (Eds.). (2003). *Botanicheskaya geografiya Kazakhstana i Srednei Azii (v predelakh pustynnoi oblasti)* [Botanical geography of Kazakhstan and Central Asia within the desert region]. V. L. Komarov Botanical Institute of the Russian Academy of Sciences. (In Russian)
- Radford, E. A., Odé, B., de Montmollin, B., & Caviezel, L. (2011). *Important Plant Areas in Central and Eastern Europe: Priority sites for conservation*. Plantlife International.
- Radford, E., & Odé, B. (2013). Important Plant Areas in Central and Eastern Europe: A conservation strategy. *Journal of Environmental Management*, 117, 52–61. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2012.12.027>
- Roldugin, I. I., & Fisyun, V. V. (2018). *Flora Chu-Iliiskikh gor (konspekt i analiz)* [Flora of the Chu-Ili Mountains (checklist and analysis)]. Areket-Print. (In Russian)
- Sultanova, B. M., Permitina, V. N., & Kurmantayeva, A. A. (2014). Kluichevye botanicheskie territorii predgornoi ravniny Syrdar'inskogo Karatau [Important Plant Areas of the foothill plain of the Syr Darya Karatau]. In *Materialy mezhdunarodnoi nauchno-prakticheskoi konferentsii* [Proceedings of the international scientific-practical conference] (pp. 46–50). Kostanai. (In Russian)

UNEP-WCMC. (2023). World Database on Protected Areas (WDPA) [Data set]. Protected Planet. Retrieved October 3, 2025, from <https://www.protectedplanet.net>

Zelenaia kniga Almatinskoi oblasti: Redkie i nuzhdaiushchiesia v okhrane rastitel'nye soobshchestva [Green Book of Almaty Region: Rare plant communities in need of protection]. (2023). L. A. Dimeyeva, V. N. Permitina, A. A. Kurmantayeva, K. Ussen, A. V. Kerdyashkin, A. F. Islamgulova, A. A. Imanalinova, S. A. Govorukhina, A. V. Dubynin, V. V. Lysenko, & B. Sh. Kaliev. Almaty. (In Russian)

Сведения об авторах:

Дубынин Александр Владимирович (корреспондентный автор) – научный сотрудник лаборатории геоботаники Института ботаники и фитоинтродукции (Алматы, Казахстан, e-mail: adubynin@botsad.kz; ORCID ID: 0000-0003-3086-7839).

Эпиктетов Владимир Геннадьевич – старший научный сотрудник лаборатории дендрологии Института ботаники и фитоинтродукции (Алматы, Казахстан, e-mail: v.epiktetov@gmail.com; ORCID ID: 0009-0007-6507-0148).

Димеева Лилия Аминовна – доктор биологических наук, профессор, зав. лабораторией геоботаники Института ботаники и фитоинтродукции (Алматы, Казахстан, e-mail: l.dimeyeva@mail.ru; ORCID ID: 0000-0002-9101-0460).

Курмантаева Альфия Араловна – кандидат биологических наук, ведущий научный сотрудник лаборатории геоботаники Института ботаники и фитоинтродукции (Алматы, Казахстан, e-mail: kurmanalfia@mail.ru; ORCID ID: 0000-0003-1492-0871).

Information about the authors:

Alexander V. Dubynin (corresponding author) – Researcher, Laboratory of Geobotany, Institute of Botany and Phytointroduction (Almaty, Kazakhstan, e-mail: adubynin@botsad.kz; ORCID ID: 0000-0003-3086-7839).

Vladimir G. Epiktetov – Senior Researcher, Laboratory of Dendrology, Institute of Botany and Phytointroduction (Almaty, Kazakhstan, e-mail: v.epiktetov@gmail.com; ORCID ID: 0009-0007-6507-0148).

Liliya A. Dimeyeva – Doctor of Biological Sciences, Professor, Head of the Laboratory of Geobotany, Institute of Botany and Phytointroduction (Almaty, Kazakhstan, e-mail: l.dimeyeva@mail.ru; ORCID ID: 0000-0002-9101-0460).

Alfiya A. Kurmantayeva – Candidate of Biological Sciences, Leading Researcher, Laboratory of Geobotany, Institute of Botany and Phytointroduction (Almaty, Kazakhstan, e-mail: kurmanalfia@mail.ru; ORCID ID: 0000-0003-1492-0871).

Авторлар туралы мәлімет:

Дубынин Александр Владимирович (хат-хабарға жауапты автор) – Геоботаника зертханасының ғылыми қызметкері, Ботаника және фитоинтродукция институты (Алматы, Қазақстан, e-mail: adubynin@botsad.kz; ORCID ID: 0000-0003-3086-7839).

Эпиктетов Владимир Геннадьевич – Дендрология зертханасының аға ғылыми қызметкері, Ботаника және фитоинтродукция институты (Алматы, Қазақстан, e-mail: v.epiktetov@gmail.com; ORCID ID: 0009-0007-6507-0148).

Димеева Лилия Аминовна – биология ғылымдарының докторы, профессор, Геоботаника зертханасының меңгерушісі, Ботаника және фитоинтродукция институты (Алматы, Қазақстан, e-mail: l.dimeyeva@mail.ru; ORCID ID: 0000-0002-9101-0460).

Курмантаева Альфия Араловна – биология ғылымдарының кандидаты, Геоботаника зертханасының жетекшісі, Ботаника және фитоинтродукция институты (Алматы, Қазақстан, e-mail: kurmanalfia@mail.ru; ORCID ID: 0000-0003-1492-0871).

Поступила: 15 декабря 2025 года

Принята: 10 мая 2026 года

Ш.У. Лайсханов^{1,2} , Д.И. Қазақбай^{2*} , Д.Д. Чингисов³ 

¹Халықаралық білім беру корпорациясы, Алматы, Қазақстан

²Абай атындағы Қазақ ұлттық педагогикалық университеті, Алматы, Қазақстан

³«Мемсараптама» РМК, Астана, Қазақстан

*e-mail: kazakbajdilnaz@gmail.com

ҚАЛАЛЫҚ КЕҢІСТІКТІ ҰЙЫМДАСТЫРУ: ӘДІСТЕМЕЛІК НЕГІЗДЕРІ ЖӘНЕ ГЕОГРАФИЯЛЫҚ АСПЕКТІЛЕРІ

Қалалық кеңістікті ұйымдастыру урбанизация үдерістерінің күшеюі жағдайында тұрақты қалалық дамуды қамтамасыз етудің маңызды ғылыми және практикалық бағытына айналып отыр. Дегенмен қалалық кеңістікті ұйымдастыру мәселелері көбіне жоспарлау немесе экономикалық тұрғыдан қарастырылып, оның географиялық-әдіснамалық негіздері жеткілікті деңгейде жүйеленбеген. Осыған байланысты зерттеудің мақсаты – қалалық кеңістікті ұйымдастырудың әдістемелік негіздері мен географиялық аспектілерін талдау арқылы тұрақты қалалық дамудың негізгі бағыттарын анықтау.

Зерттеу кейс-зерттеу (case study) тәсіліне негізделіп, Қазақстандағы «Smart City» қағидаттарына бағытталған жаңа урбанистикалық жоба – Алатау қаласының мысалында жүргізілді. Зерттеу барысында жүйелі талдау, салыстырмалы-географиялық әдіс, құрылымдық-логикалық талдау, картографиялық талдау және үлгілеу әдістері қолданылды. Шетелдік және кеңестік ғылыми мектептердің урбанистикалық тұжырымдамалары тұрақты дамудың әлеуметтік, экономикалық және экологиялық компоненттері бойынша салыстырмалы түрде талданды.

Зерттеу нәтижесінде қалалық кеңістіктің ұйымдастырылуы көпдеңгейлі әлеуметтік-кеңістіктік жүйе ретінде қалыптасатыны және оның тиімді дамуы аумақтық құрылымның теңгерімділігіне, инфрақұрылымның үйлесімді орналасуына және кеңістіктік әділеттілік қағидаттарына тәуелді екені анықталды. Алатау қаласының кеңістіктік даму моделі «Smart City» тұжырымдамасының тұрақты даму компоненттерімен интеграциялануының қолданбалы үлгісі ретінде қарастырылды. Зерттеудің ғылыми жаңалығы – қалалық кеңістікті ұйымдастырудың географиялық тәсілдерін урбанистикалық теориялар мен цифрлық қалалық даму тұжырымдамаларын біріктіру арқылы жүйелеуде. Алынған нәтижелер қалалық жоспарлау, кеңістіктік саясат және заманауи урбанистикалық басқару модельдерін жетілдіруге әдіснамалық негіз бола алады.

Түйін сөздер: қала, қалалық кеңістік, аумақтық ұйымдастыру, жайлы қала ортасы, «ақылды қала» тұжырымдамасы.

S.U. Laiskhanov^{1,2}, D.I. Kazakbay^{2*}, D.D. Chingissov³

¹International educational Corporation, Almaty, Kazakhstan

²Abai Kazakh National Pedagogical University, Almaty, Kazakhstan

³RSE «Gosexpertiza», Astana, Kazakhstan

*e-mail: kazakbajdilnaz@gmail.com

Organization of urban space: methodological foundations and geographical aspects

The organization of urban space has become an important scientific and practical direction for ensuring sustainable urban development under the intensification of urbanization processes. However, urban spatial organization is often examined primarily from planning or economic perspectives, while its geographical and methodological foundations remain insufficiently systematized. Therefore, the aim of this study is to identify the main directions of sustainable urban development through the analysis of methodological foundations and geographical aspects of urban space organization.

The study is based on a case study approach using Alatau City – a new urban development project in Kazakhstan oriented toward Smart City principles – as the research object. The research employed system analysis, comparative geographical methods, structural-logical analysis, cartographic analysis, and modelling techniques. Urban concepts developed within foreign and Soviet scientific schools were comparatively analysed according to the social, economic, and environmental components of sustainable development.

The results demonstrate that urban spatial organization functions as a multi-level socio-spatial system whose effective development depends on balanced territorial structure, coordinated infrastructure distribution, and principles of spatial justice. The spatial development model of Alatau City is considered as an applied example of integrating the Smart City concept with sustainable development components. The scientific novelty of the study lies in the systematization of geographical approaches to urban spatial organization through the integration of urban theories and digital urban development concepts. The obtained results may serve as a methodological basis for improving urban planning, spatial policy, and contemporary models of urban governance.

Keywords: city, urban space, territorial organization, comfortable urban environment, smart city concept.

Ш.У. Лайсханов^{1,2}, Д.И. Қазақбай^{2*}, Д.Д. Чингисов³

¹Международная образовательная корпорация, Алматы, Казахстан

²Казахский национальный педагогический университет имени Абая, Алматы, Казахстан

³РГП «Госэкспертиза», Астана, Казахстан

*e-mail: kazakbajdilnaz@gmail.com

Организация городского пространства: методологические основы и географические аспекты

Организация городского пространства в условиях усиления процессов урбанизации становится важным научным и практическим направлением обеспечения устойчивого городского развития. Однако вопросы организации городского пространства чаще рассматриваются с планировочной или экономической точки зрения, тогда как его географо-методологические основы остаются недостаточно систематизированными. В связи с этим целью исследования является определение основных направлений устойчивого городского развития на основе анализа методологических основ и географических аспектов организации городского пространства.

Исследование выполнено на основе метода кейс-стади (case study) на примере нового урбанистического проекта Казахстана – города Алатау, ориентированного на принципы «Smart City». В ходе исследования применялись методы системного анализа, сравнительно-географический метод, структурно-логический анализ, картографический анализ и моделирование. Урбанистические концепции зарубежных и советских научных школ были сравнительно проанализированы по социальным, экономическим и экологическим компонентам устойчивого развития.

Результаты исследования показали, что организация городского пространства формируется как многоуровневая социально-пространственная система, эффективное развитие которой зависит от сбалансированности территориальной структуры, согласованного размещения инфраструктуры и принципов пространственной справедливости. Пространственная модель развития города Алатау рассмотрена как прикладной пример интеграции концепции «Smart City» с компонентами устойчивого развития. Научная новизна исследования заключается в систематизации географических подходов к организации городского пространства посредством интеграции урбанистических теорий и концепций цифрового городского развития. Полученные результаты могут служить методологической основой для совершенствования городского планирования, пространственной политики и современных моделей урбанистического управления.

Ключевые слова: город, городское пространство, территориальная организация, комфортная городская среда, концепция «умного города».

Кіріспе

Қала – аумақтың ландшафттық құрылымының құрамдас бөлігі болып саналатын күрделі табиғи-антропогендік және техникалық аумақтық жүйе. Ол табиғи ландшафт, халық, мәдени-тарихи мұралар мен техногендік элементтердің үйлесімінен құралған. Осы себепті әрбір қаланың табиғи-ландшафттық, инженерлік, сәулеттік-жоспарлау және әлеуметтік-экологиялық ерекшеліктері бар. Алайда, қалаларда бұл ерекшеліктер аумақты пайдалану барысында пайда болатын мәселелермен қатар жүреді. Қазіргі қа-

лалардың сәулеттік келбеті жаһандану үдерістерінің және сәулет өнеріндегі заманауи сән ағымдарының ықпалын айқын көрсетеді.

Бүгінде урбанизация қарқыны артып, қалалардағы халық саны үнемі өсуде. Осыған байланысты қалалық аумақтарды тиімді әрі үйлесімді ұйымдастыру өзекті тақырыптардың бірі болып саналады. Қаланың аумақтық ұйымдастырылуы қоғамдық, өндірістік, көлік, рекреациялық және экологиялық аймақтардың өзара байланысын қамтамасыз ету. Қаланы аумақтық ұйымдастырудағы басты қағидаттарға қалалық аумақты ұтымды пайдалану, қоғамдық кеңістік-

тердің қолжетімділігін арттыру, тарихи-мәдени мұраларды сақтау және экологиялық қауіпсіздік талаптарын сақтау жатады. Осы қағидаттар негізінде қала ортасы адамға жайлы, қауіпсіз және тұрақты өмір сүру кеңістігін қалыптастыруға негізделеді. БҰҰ-ның Тұрақты даму мақсаттарындағы 11-ші мақсаты – қалалар мен елді мекендерді қауіпсіз, қолайлы, орнықты әрі тұрақты ортаға айналдыру – урбанистикалық дамудың негізгі бағыты ретінде айқындалған (Transforming our world: The 2030 Agenda for Sustainable Development, 2015). Демек, қалалық кеңістік барлық тұрғындар үшін қолжетімді, инклюзивті, заманауи инфрақұрылыммен қамтылған, сондай-ақ табиғи ресурстарды тиімді пайдалануға негізделуі тиіс.

Осы қағидаттарды жүзеге асыру үшін Қазақстанда қалалық кеңістікті ұтымды ұйымдастыру және тұрақты дамытуды мақсат ететін ұлттық деңгейдегі жоспарлау құралдары әзірленді. Мемлекет басшысы Қасым-Жомарт Тоқаевтың 2019 жылғы жарлығымен бекітілген «Елді аумақтық-кеңістікте дамытудың 2030 жылға дейінгі болжамды схемасы» урбанизацияны басқарылатын деңгейде 65%-ға дейін ұлғайтуға, функционалдық қалалық аудандарды және агломерацияларды дамытуға бағытталған (Елді аумақтық-кеңістікте дамытудың 2030 жылға дейінгі болжамды схемасын бекіту туралы, 2019). Бұл Тұрақты даму мақсаттарында аталған инклюзивтілік пен экологиялық қауіпсіздікті ескере отырып, халықты ірі қалаларға шоғырландыруды, инфрақұрылымды дамытуды және табиғи ресурстарды тиімді пайдалануды көздейді. Сонымен қатар, тарихи-мәдени мұраларды сақтау және жасыл кеңістіктерді дамыту арқылы экологиялық тұрақтылыққа қол жеткізіледі, бұл ірі қалалардың экономикалық және әлеуметтік орталық ретіндегі рөлін нығайтады.

Қалалық кеңістікті ұйымдастырудың оңтайлы әрі баршаға қолжетімді моделі әлі де өз бейнесін тапқан жоқ (Baibarac-Duignan & de Lange, 2021). Қазіргі кезге дейін қалалық кеңістік тек өндіріс күштерінің орналасуы немесе әлеуметтік қатынастар тұрғысынан қарастырылып келеді. Қала халқы мен урбанизацияланған аумақтардың едәуір басым болуымен сипатталатын дамыған елдерде қалалық кеңістікті ұйымдастырудың теңдестірілген түрде дамыту жолдарын іздеу жүргізілуде. Қалаларды дамыту және аумақтық ұйымдастыру мәселелерін зерттеудің, күрделі жүйелерді жобалаудың немесе оларды

өкімшілік тұрғыдан басқарудың тиімді әдістері жоқ (Rosol & Blue, 2022).

Ірі қалалар елдің аумақтық біртұтастығы мен мәдени тұтастығын қамтамасыз ете отырып, халықтың қоныстануы мен экономиканың қалыпты жұмыс істеуінің негізгі орталығы ретінде айрықша әлеуметтік-экономикалық маңызға ие. Мұндай қалалардың дамуы көбіне аймақтардың жалпы даму деңгейі мен тұрғындардың әлеуметтік-экономикалық әл-ауқатына тікелей ықпал етеді. Табиғи урбанизация үдерістері, қолайлы өмір сүру жағдайларының қалыптасуы, сондай-ақ шағын қалалар мен ауылдық аймақтардан ірі қалаларға халықтың жаппай қоныс аударуы қала халқының, өндіріс көлемінің және экономиканың өсуіне түрткі болды (Fu et al., 2022). Дегенмен, ірі қалалар тек қозғаушы күш ғана емес, сонымен қатар көптеген әлеуметтік, экономикалық және аумақтық мәселелердің күрделі тораптары.

Дәстүрлі түсінік бойынша, қала – тұрғындарының басым бөлігі өнеркәсіп, қызмет көрсету, ғылым, мәдениет, білім беру, денсаулық сақтау және өндірістік ресурстарды шоғырландыруды қажет ететін экономика салаларында еңбек ететін елді мекен. Қала адамдар қоныстанған, олардың іс-әрекеті нәтижесінде табиғи және жасанды компоненттер қарқынды түрде өзгеріске ұшырайтын географиялық қабықтың аумақтық шектеулі бөлігі. Қала құбылысы – күрделі, көпқырлы ұғым, сондықтан оны әртүрлі қырынан қарастыратын урбанистикалық зерттеулердің сан алуандығын қалыптастырады. Осы зерттеудің мақсаты – қалалық кеңістікті ұйымдастырудың әдістемелік негіздері және географиялық аспектілеріне негізделе отырып, тұрақты дамудың басты бағыттарын анықтау.

Осы мақала кейс-зерттеу тәсіліне негізделді және зерттеу нысаны ретінде Алатау қаласы алынды. Алатау қаласы Қазақстанда «ақылды қала» қағидаттарына бағдарланған жаңа урбанистикалық жоба ретінде қалалық кеңістікті ұйымдастырудың әдіснамалық негіздерін қолданбалы тұрғыда талдауға мүмкіндік береді.

Материалдар мен әдістер

Зерттеу барысында жүйелі талдау, салыстырмалы-географиялық әдіс, құрылымдық-логикалық талдау, картографиялық интерпретация және концептуалдық үлгілеу әдістері қолданылды. Бұл әдістер қалалық кеңістіктің әлеуметтік, экономикалық және экологиялық компонент-

терінің өзара байланысын анықтауға мүмкіндік берді.

Зерттеу қалалық кеңістікті ұйымдастырудың теориялық және әдіснамалық негіздерін анықтауға бағытталған кешенді ғылыми тәсілге негізделді. Зерттеу дереккөздері ретінде урбанистика, қала географиясы, аумақтық ұйымдастыру және тұрақты даму мәселелеріне арналған ғылыми жарияланымдар, монографиялар пайдаланылды. Атап айтқанда, А.Э. Гутнов, А.А. Высоковский еңбектері, Ю.Г. Саушкин, А.А. Ткаченко, Б.С. Хорев, Д. Джейкобс, П. Холл, Э. Соджа, М. Бэтти және тағы да басқа ғалымдардың зерттеулері талданды. Сонымен қатар Біріккен Ұлттар Ұйымының «International recommendations for urban and territorial planning» атаулы нұсқаулығы сияқты халықаралық ұйымдардың ұсынымдары және нормативтік құжаттар пайдаланылды.

Ғылыми әдебиеттерді іріктеу келесі критерийлер бойынша жүзеге асырылды:

- қалалық кеңістікті ұйымдастыру теориясын қарастыруы;
- аумақтық ұйымдастыру немесе қала дамуының кеңістіктік аспектілерін талдауы;
- ғылыми дәйексөзделу деңгейі және урбанистикалық теорияға қосқан үлесі;
- тұрақты даму немесе «ақылды қала» тұжырымдамаларымен байланысы.

Зерттеу бірнеше кезең бойынша жүргізілді:

1-кезең – әдебиеттерге жүйелі шолу. Қалалық кеңістікті ұйымдастыру ұғымының қалыптасу эволюциясы талданып, негізгі ғылыми бағыттар анықталды.

2-кезең – теориялық тұжырымдамаларды жіктеу. Таңдалған авторлардың ғылыми көзқарастары тұрақты дамудың үш негізгі индикаторы бойынша топтастырылды. Олар: экономикалық даму, әлеуметтік орта, экологиялық тұрақтылық.

3-кезең – салыстырмалы-географиялық талдау. Әр ғылыми мектептің (шетелдік және кеңестік) урбанистикалық тұжырымдамалары келесі параметрлер бойынша салыстырылды:

- қалалық кеңістіктің құрылымы;
- аумақтық ұйымдастыру принциптері;
- басқару тәсілдері;
- тұрақты даму факторлары.

4-кезең – үлгілеу және синтез. Алынған нәтижелер негізінде Алатау қаласының кеңістікті ұйымдастырудың интеграциялық моделі қарастырылып, «ақылды қала» тұжырымдамасымен байланысына талдау жасалды.

Кейс-нысанды таңдау негіздемесі. Алатау қаласы зерттеу нысаны ретінде үш критерий бойынша таңдалды: (1) қала дамуының ресми жоспарлау құжаттарында «Smart City» қағидаттарының айқын көрініс табуы; (2) аумақтық ұйымдастыруды әлеуметтік-экономикалық-экологиялық компоненттердің байланысы тұрғысынан талдауға мүмкіндік беретін құрылымдық модельдің болуы; (3) Қазақстан жағдайында жана қалалық жоба ретінде урбанистикалық теорияларды қолданбалы интерпретациялау әлеуетінің жоғары болуы.

Нәтижелер және оларды талқылау

Қалалық кеңістікті аумақтық ұйымдастырудың теориялық эволюциясы

Ежелгі дәуірлерден бастап адамзат қауымдастығы өмір сүрудің тиімді формасы ретінде ұжымдық өмір сүруді таңдаған. Мұндай ұйымдасу үлгісі жеке адамдарға қауіпсіздік, тұрақтылық, әлеуметтік тәртіптің сақталуын қамтамасыз еткен. Тұрғындардың шоғырланған түрде орналасуы географиялық, климаттық, демографиялық және әлеуметтік-экономикалық жағдайлар қолайлы аумақтарда жүзеге асқан. Мұндай қоныстардың тиімді орналасуы табиғи халық өсімі, көші-қон үрдістері және белгілі бір тарихи жағдайлардың ықпалымен айқындалып, олардың саяси, әлеуметтік, экономикалық және мәдени орталықтарға айналуына негіз болды. Қоныстардың қалыптасуы мен даму үдерісі жергілікті, аймақтық және мемлекеттік деңгейлерде жүзеге асырылды. Уақыт өте келе адам өзінің әлеуметтік, экономикалық және мәдени қызметін ұйымдастырудың ең кең әрі күрделі нысаны ретінде қаланы қалыптастырды.

Алғашқы қалалық қоныстардың қалыптасуы бірқатар қала түзуші факторлардың ықпалымен айқындалған. Олардың қатарында ежелден қалыптасқан сауда байланыстары нүктелері; су айдындарына, яғни теңіздерге, көлдерге, өзендерге қатысты ыңғайлы орналасу; қолайлы климаттық жағдайлар сияқты факторлар ерекше маңызға ие болған (Yargina, 1991).

Қалалық құрылымдар тек тұрғын және шаруашылық нысандарымен ғана шектелмей, сонымен қатар қорғаныс, әкімшілік, діни, мәдени және ойын-сауық ғимараттарымен толыққан. Олардың архитектуралық шешімдерінің алуан түрлілігі мен сапалық деңгейі сол кезеңдегі қоғамның әлеуметтік-экономикалық және мәдени дамуының дәрежесін бейнелеген. Египет, Грек

және Рим өркениеттері қалабасшылық мәдениеттің айрықша үлгісін қалыптастырды. Ежелгі қалалық кеңістіктің қалыптасу орындарының ашылуы мен ғылыми тұрғыдан зерттелуі XIX ғасырда археологиялық ізденістердің кеңеюімен тікелей байланысты болды.

Қалалар – күрделі табиғи-жасанды жүйелер: қаланың дамуы белгілі бір ішкі табиғи заңдар мен өзін-өзі ұйымдастыру процестерінің әсерінен, сондай-ақ адамның саналы бақылау әрекетінің әсерінен болады. Қалалардың аумақтық ұйымдастырылуы мәселелері XX ғасырда шетелдік зерттеушілер еңбектерінде ерекше қарқынмен дами бастады. Қаланың аумақтық ұйымдастыруы жөніндегі алғашқы ғылыми ізденістер XIX ғасырдың соңы мен XX ғасырдың басында, индустрияландыру мен урбанизация үдерістерінің күшеюіне байланысты пайда болды. Бұл бағыттағы алғашқы теориялардың бірі неміс экономисі Альфред Вебердің есімімен байланысты. Ол 1909 жылы жарық көрген «Über den Standort der Industrien» атты еңбегінде өндірістің орналасу теориясын ұсынып, алғаш рет «аумақтық ұйымдастыру» ұғымын енгізді. Вебердің идеялары қалалардың кеңістіктік құрылымын ресурстар, көлік шығындары және еңбек факторлары тұрғысынан талдауға бағытталып, қазіргі урбандық жоспарлаудың теориялық негізін қалады (Kolehmainen, 2003).

Қаланың кеңістіктік жүйе ретіндегі тіршілігін көрсететін фактіні кеңес қала жоспарлаушысы А.Э. Гутнов байқады. А.А. Высоковский аумақтардың кеңістіктік дамуын жоспарлау қаланың динамикалық даму бағыттары мен тиімділігін нормативтік идеялар негізінде қалыптасқан факторларды біріктіру арқылы жүзеге асырылуы керек деп тұжырымдады (Vysokovsky, 2005). Қала дамуының динамикалық бағыттарын анықтау және басқару қаланың ақпараттық моделін құрумен қатар жүруі керек. Қаланың бірыңғай моделін құру мәселесі ашық күйінде қалып отыр.

Қазіргі қалалық кеңістіктің даму тенденциялары аумақтың маңыздылығын күшейтеді. Аумақтық ұйымдастырудың мәні оның табиғи, әлеуметтік-экономикалық құбылыстарды орналастырудың кеңістіктік аумақтық заңдылықтарын және олардың өзара байланысын талдауға байланысты. XX ғасырдың 70 жылдарына қарай ғалымдардың қызығушылығы қала ортасының құрылымдық өзгерістерін зерттеу саласына ауысты. Әлеуметтік жіктелу мен мәдени-аумақтық бөліну ірі қалалардың негізгі мәселелеріне

айналды. Әлеуметтанушылар мен урбанистер қаланың және оның әлеуметтік кеңістігінің ұйымдастырылуының теориялық негіздерін әзірлеуге назар аудара бастады (Allen, 2015).

«Аумақтық ұйымдастыру» ұғымы Кеңес Одағында алғаш рет ҚКПС ХХІ съезінің қарарында қолданылды (Внеочередной ХХІ съезд КПСС, 1959). Өндіргіш күштерді орналастыруға және одақтас өңірлердің экономикасын дамытуға арналған ІІІ бөлімде бұл ұғым тек халық шаруашылығына қатысты болды. Онда аумақты жоспарлауда ірі экономикалық-географиялық аудандарды бөлу Кеңес Одағының халық шаруашылығын дұрыс географиялық орналастыруға және ең тиімді аумақтық ұйымдастыруға ықпал етеді деген тұжырымдама айтылды.

Кеңес географы Ю.Г. Саушкин бұл ұғымның география үшін ерекше маңыздылығына назар аударды. Ол аумақтық ұйымдастыру тұжырымдамасын өндірістік күштерді, сондай-ақ табиғи жағдайлар мен табиғи ресурстарды пайдаланудың аумақтық жобаларын қамтыды (Saushkin, 1961). Оның тұжырымдамасы стратегиялық мақсатқа ие болды, елдің және оның аймақтарының өндірістік күштерінің нақты жағдайын мен дамуын көрсетті. Ю.Г. Саушкин «аумақтық ұйымдастыру» ұғымының географиялық мазмұнының қалыптасуын мұқият зерделеді. Тұжырымдаманы отандық және шетелдік географияға енгізу процесін сипаттады.

Ю.Г. Саушкин ұғымды толықтыру мақсатында еңбегіндегі 10-тарауды «қоғамды аумақтық ұйымдастыру» деп атады. Бөлімде қоғамдық аумақтық ұйымдастыру анықтамасы (Saushkin, 1961, р. 143) берілген: «аумақтық ұйым тұрғын үйлерді, өндірісті, демалыс аймақтарын, оқу орындарын, ауруханаларды орналастыруды ғана емес, сонымен бірге олардың қарым-қатынасын, байланысын, бірін-бірі толықтыруын, мақсаттарға қол жеткізу құралдарының икемділігін және қоғамдық өмірдің кеңістіктік жүйелерінің әртүрлі түрлерін қамтиды». Ол аумақтық ұйымдастырудың орналастыру, кеңістіктік қатынастар, байланыстар мен жүйелер және аумақтық басқару деп аталатын төрт негізгі аспектісін сипаттады.

Американдық урбанист Джейн Джейкобс 1961 жылы алғаш «The Death and Life of Great American Cities» еңбегінде модернистік жоспарлаудың қала географиясындағы маңызын зерттеді. Джейкобс қаланың аумақтық ұйымдастыруын «органикалық» жүйе ретінде қарас-

тырып, онда кеңістіктік құрылым әртүрлілікке негізделгенін сипаттайды. Оның ішінде тұрғын үй, өндіріс аймақтарының тиімді орналасуы, қоғамдық кеңістіктердің қолжетімділігі және жаяу жүргіншілердің қозғалысы сияқты элементтерді талдайды. Ол осы негізде төрт негізгі принципті ұсынады (Jacobs, 1992):

- Қалалық кеңістіктегі табиғи әлеуметтік бақылау қылмыс деңгейін төмендетеді және қауіпсіздікті нығайтады;

- жергілікті экономикалық көпқырлылық инновацияларды тудырады;

- қала аудандарының шекаралары мәдени бірегейлікті сақтайды;

- қала орталықтарының жоғары тығыздығы әлеуметтік өзара әрекеттесуді күшейтеді.

Джейкобс теориясы қалалық кеңістікті ұйымдастырудағы мәдени-аумақтық бөліну мәселелерін шешуге бағытталған, ол аралас пайдалану арқылы инклюзивті кеңістікті құруды ұсынады. Бұл БҰҰ-ның Тұрақты даму мақсаттарының ішіндегі 11-ші мақсатындағы қолжетімді қоғамдық кеңістіктерді құруға сәйкес келеді. Кеңес ғалымдарының қала аумағын функционалдық аймақтарға бөлуінен айырмашылығы, Джейкобс жоспарлаудың моделі ретінде «үстінен» (top-down) емес, «төменнен» (bottom-up) басталуын талап етеді. Джейкобс «үстінен» жоспарлауды, яғни мемлекеттік органдардың жоғарыдан төмен қарай шешім қабылдауын сынға алады. Себебі оның зерттеуі бойынша мұндай ұйымдастыру қалаларда біртекті және тұрғындарға қолайсыз орта қалыптастырады. Оның орнына «төменнен» тәсілін енгізуді ұсынады. Тұрғындардың қатысуымен жоспарлау қаланың органикалық дамуына әсер етеді. Бұл тұжырымдама қазіргі «ақылды қала» концепциясына ұқсас, өйткені ол тұрғындардың қатысуы арқылы төменнен жоғары қарай дамуды көздейді, бұл сәйкесінше қала ортасының даму тиімділігін арттырады.

Британдық урбанист Питер Холл 1988 жылы «Cities of Tomorrow» еңбегінде қалалық кеңістікті жоспарлаудың тарихын талдайды. Эбенизер Говардтың бақшалық қалаларынан бастап Ле Корбюзенің модернистік тұжырымдамаларын сынға алады. Оның негізгі идеялары теориялық қала моделдері мен аумақтық ұйымдастыруға қатысты. Холл аумақтық ұйымдастыруды экономикалық және әлеуметтік факторлардың байланысы ретінде көреді, бұл қалалардың бар-

лық топтарға қолжетімділік пен мәдени әртүрлілік сияқты элементтерді қамтиды (Hall, 1988). Оның талдауы бойынша өткен қала моделдері шаруашылыққа басымдық берілгендіктен сәтсіз болды, ал болашақтағы қалалар урбанизация мәселелерін шешеді.

И.А. Родионова зерттеуі бойынша қалалық кеңістікті аумақтық ұйымдастыру функционалдық аймақтарға бөлуге, жоспарлау және көлік жүйесіне, қоғамдық орталықтарды орналастыру мәселелерін қамтитын қала аумағындағы кеңістіктік процестеріне негізделеді. Оның ойынша, аумақтық ұйымдастыру – аумақтық құрылымды қалыптастыру бойынша белгілі бір заңдылықтардың жиынтығы (Rodionova, 2000).

Белгілі Кеңес географы А.А. Ткаченко кеңістікті ұйымдастырушы объектілердің рөліне назар аударып, «кеңістікті ұйымдастырушылар» деп кәсіпорындарды, қызмет көрсету мекемелерін, елді мекендерді, қалалық агломерацияларды атауды ұсынды. Ол (Tkachenko, 1995) зерттеу жұмыстарын жүргізе келе, аумақтық ұйымдастырудың 10 аспектісін ұсынды (1-сурет).

Ткаченко теориясы Кеңес мектебінің жоспарлы экономикасына негізделген, алайда аумақтық ұйымдастырудың аталған 10 аспектісі кеңістікті ұйымдастырушы объектілердің (кәсіпорындар, қызмет көрсету мекемелері, елді мекендер, қалалық агломерациялар) рөлін көрсетеді және қалалық кеңістіктің тиімді ұйымдастырылуына негіз болады.

Аумақтық ұйымдастыру теориясында қалалық кеңістікке қатысты әртүрлі кластардың ұғымдар жүйесі қолданылады. Ю.Г. Саушкин аумақтық ұйымдастыруға қатысты кеңістіктік жүйелерді, аумақтық объектілердің құрылысын, аумақтық объектілерді басқару міндеттерін көрсететін ұғымдардың үш класымен жұмыс істеді. Аумақтық ұйымдастыру қалалық кеңістіктегі кез келген құбылыстар мен объектілерге тән және олар үшін мына көрсеткіштер маңызды:

1. орналасқан жері;
2. қашықтығы;
3. ауданы.

Аумақтық ұйымдастырудың аталған үш көрсеткішін төрт аспектіде қарастыруға болады: құрылымы, қызметі, дамуы және басқаруы. Ол белгілі бір аумақта болатын объектілер мен құбылыстардан тұратын және өзін-өзі ұйымдастыратын тіршілік жүйесі ретінде анықталады.

1-сурет

А.А. Ткаченко бойынша аумақтық ұйымдастырудың аспектілері



Ескерту: авторлар құрастырған

Американдық географ Эдвард Соджа қалалардың постмодернистік эволюциясын талдайды. Ол физикалық және әлеуметтік кеңістіктердің байланысы ретінде аумақтық ұйымдастыруды әділеттілікке бағыттайтын «үшінші кеңістік» концепциясын енгізеді. Оның негізгі идеялары (Soja, 2000) қалалардың «пост-метрополистік» кезеңдегі процестерімен, яғни агломерациялар, перифериялық даму және ірі қалалардағы орталық және шеткі аймақтардың қарама-қайшылығымен байланысты. Кеңістіктік әділеттілік ұғымын талдау арқылы қоғамдық ресурстар мен мүмкіндіктердің тең бөлінуін талдайды. Соджа теориясы қазіргі уақыттағы агломерациялар мен моноқалалардың мәселелерін талдауға қолайлы. Ол кеңістіктік әділеттіліктің жетіспеушілігін сынға алып, қалалық кеңістіктің баршаға қолжетімді болуын негізге алады, бұл тұрақты дамудың әлеуметтік компонентіне сәйкес.

Э.Б. Алаев (Alaev, 1983) қаланың аумақтық ұйымдастырылуы деп халықтың өмір сүру сапасын жақсартуды жүзеге асыру мақсатында қолданылатын аумақтық құрылымдардың, яғни халықты қоныстандыру, өндіріс, табиғатты пай-

далану сияқты жүйелердің үйлесімін атайды. Б.С. Хорев қаланың аумақтық ұйымдастырылуы географиялық негіздерге сәйкес өңірлік, әлеуметтік, экономикалық зерттеулер саласындағы неғұрлым кең ұғым екендігін атап өтеді. Өйткені оған өндіріс пен әлеуметтік инфрақұрылымды орналастыру, адамдарды қоныстандыру, қоғамның аумақтық әлеуметтік және экономикалық жүйесіндегі өзара байланыс, кеңістіктік ұдайы өндіру процестері, оларды басқару мәселелері де кіреді (Khorev, 1981). Қаланың аумақтық ұйымдастырылуының географиялық аспектілеріне оның орналасуы, тұрақты дамуға ықпал етуі, қоршаған ортамен байланысы және әлеуметтік-экономикалық дамуы жатады.

Ресей Федерациясының солтүстік аймақтарын зерттеген В.П. Самарина аумақтық ұйымдастыруға тікелей немесе жанама әсер ететін аспектілерді қарастырды. Олардың қатарына аумақтың табиғи-климаттық ерекшеліктері, өңірлік экономикалық бағыттылығы, табиғи апаттар қаупі, табиғат ресурстарға қолжетімділік деңгейі, экожүйеге техногендік әсердің қарқындылығы, өнеркәсіптік және инфрақұрылымдық әлеуеттің әртүрлілігі жатады (Samarina, 2007).

В.П. Самарина зерттеулерінде қалалардың аумақтық ұйымдастырылуындағы түрлі функционалдық объектілердің кеңістікте орналасу заңдылықтары мен олардың өзара байланыстарын, аумақтық дамудың мәселелерін, артықшылықтарын анықтады.

Британдық географ, урбанистикалық модельдеудің негізін қалаушы Майкл Бэтти қалаларды күрделі жүйелер ретінде талдайды. Қалалық кеңістікті модельдеу арқылы урбанизацияны болжау мәселелерін зерттейді. Ол әлеуметтік факторды ескеру қажеттілігін атап өтіп, ақпараттық технологияны инфрақұрылыммен біріктіру арқылы қалалық кеңістікті тиімді ұйымдастыруды ұсынады (Batty, 2013). Бұл қазіргі «ақылды қалалар» тұжырымдамасына сәйкес келеді. Сонымен қатар, қалаларды өзін-өзі ұйымдастыратын жүйелер ретінде қарастырып, күрделілік теориясын дамытады.

Қалалық кеңістікте тұрғын үй аймақтары, өндірістік кешендер, көлік инфрақұрылымы, қоғамдық орталықтардың орналасуы қаланың дамуы мен халықтың өмір сүру сапасын жақсартуда шешуші рөл атқарады. Бұл өз кезегінде қаланың кеңістіктік ұйымдастырылуының негізін құрайды. Аумақтың кеңістіктік дамуы – өркениетті мемлекеттерге ортақ қалыптасқан тәжірибе. Бұл үдерісте экономикалық тиімділік басым фактор ретінде қарастырылмай, басты назар халықтың жайлы өмір сүруіне қолайлы жағдай қалыптастыруға бағытталады.

Қалалық кеңістіктің ұйымдастырылуы үш негізгі функцияға, атап айтқанда, өндірістік қызмет, тұрғын үй кешені және рекреациялық қызметке негізделеді. Аталған функцияларды біртұтас қала жүйесіне топтастыру заманауи қала құрылысын жобалаушылардың міндеті. Қазіргі заманғы өзгерістер қалалық кеңістікті қоғам мен қала тікелей өзара әрекеттесетін «тірі» организмге айналдыруға мүмкіндік береді. Кезкелген өзгеріс әрекетке бағытталса, қала жағдайында бұл әрекет – қала ортасының дұрыс және тұрақты дамуы. XXI ғасыр – ақпараттық қоғамның қалыптасу және қарқынды даму кезеңі. Қазіргі кезеңде қала «қос функциялы жүйе» сипатында дамуда. Осыған орай оның сәулет-жоспарлау құрылымы атқаратын функцияларымен айқындалады, ал қалалық кеңістікті ұйымдастыру элементтері функционалдық ерекшеліктеріне сәйкес жіктеледі.

Қаланың кеңістіктік ұйымдастырылуының басым бағыттары – аумақтық ресурстарды тиімді пайдалануды реттеу, қала аудандарының бір-

келкі дамуы негізінде тұрғындар үшін өмір сүру ортасының сапасын арттыру, іскерлік, сауда және мәдени-рекреациялық нысандардың тораптары мен қаланың сәулеттік бейнесін дамыту, тарихи және табиғи ескерткіштерді сақтау. Қазіргі әлемнің өзгермелі жағдайында қалалардың кеңістіктік ұйымдастырылуы жаңа сипатқа ие болды. Оңтайландыру және цифрландыру бағытындағы үдерістер адамның өмір сүру жағдайларын жеңілдетті. Осыған байланысты қалалық кеңістікті дамыту бағытындағы жаңа көзқарастар мен «жайлы қала ортасы» түсінігі қалыптасты. Аумақтық құрылым мен әлеуметтік-мәдени ортаны Тұрақты даму мақсаттарына сәйкес ұйымдастыру қажеттілігі негізделді. Қазіргі кезеңдегі қала аумағын ұйымдастыру статикалық жоспар емес, оқиғалардың, қоғамның, үздіксіз құрылыстар мен саясаттың үйлесімі (Sonda et al., 2010).

Адамзаттың болашағы белгілі бір аумақ шегінде әлеуметтік-экономикалық жүйе ретінде дамитын қалалармен байланысты. Осыған орай «Ақылды қала» тұжырымдамасының идеясы қала құрылысы бағыты үшін өзекті болып табылады.

Қала құрылысын жобалаушылар жүздеген жылдар бойы идеалды қалалық кеңістікті ұйымдастыруға ұмтылды. Ал қазіргі кезеңдегі қала құрылысын жоспарлау бағыты дәстүрлі сипаттан асып, жайлы қала ортасын қалыптастырудағы заманауи компоненттерді қамтиды және ол инновациялық сипатқа ие (Jacques et al., 2024). Тиімді аумақтық-кеңістіктік ұйымдастырудың компоненттері (2-сурет) «ақылды» қаланы дамытудың негізгі бағыттары ретінде сипатталады (Semenov & Shtompel, 2018). Себебі қазіргі заманғы цифрлық «ақылды» технологияларды қолдану үшін аумақты ұйымдастыру, оны жоспарлау, қала құрылысы жүйесі, көше-жол желісін ұйымдастыру мәселелері оңтайлы шешімін табуы тиіс.

Берілген суретте «ақылды қала» тұжырымдамасы аясында қалалық кеңістіктің тиімді ұйымдастырылуының құрылымдық тізбегі берілген. Жоспарлау ұйымдастырылуынан бастап, абаттандыру, инженерлік инфрақұрылым, сәулет және құрылыс, қауіпсіздік арқылы көлік кеңістігіне жалғасады. Бұл компоненттер циклдік байланыста болу арқылы қазіргі урбанизацияның басым бағыттары ретінде сипатталады. Аталған компоненттердің үйлесімді байланысы қала құрылысы жүйесі мен жайлы қала ортасын қалыптастыруда маңызды рөл атқарады.

2-сурет

Қаланы тиімді аумақтық-кеңістіктік ұйымдастырудың компоненттері



Ескерту: авторлар құрастырған

Қалалық кеңістікті ұйымдастыру тұжырымдамаларын салыстырмалы талдау

Алғашқы қоныстардың қалыптасуы мен қазіргі «ақылды» қалаларға дейінгі зерттеулер қалалық кеңістіктің тиімді ұйымдастырылуын негізге алады. Қаланы аумақтық ұйымдастыруды жүйелеу – қаланың аумақтық құрылымын қалыптастырудың теориялық-әдіснамалық негіздерін айқындап, оның кеңістіктік ұйымдасуын сипаттайтын негізгі аспектілерді жүйелеу процесі. Бұл бағытта әртүрлі ғалымдар өз еңбектерінде қаланың аумақтық ұйымдастырылуының

құрамдас бөліктері мен факторларын әр қырынан қарастырып, түрлі әдістемелік тәсілдер ұсынған. Белгілі зерттеушілердің көзқарастары қазіргі қала географиясындағы аумақтық ұйымдастырудың бастамасы. Шетелдік және Кеңес зерттеулеріне салыстырмалы талдау жасау қалалық кеңістікті ұйымдастырудың әртүрлі географиялық аспектілерін көруге мүмкіндік береді (1-кесте). Төмендегі кестеде шетелдік және Кеңес ғалымдарының түрлі тұжырымдамалары мен қалалық кеңістікке қатысты идеялар берілді.

1-кесте

Шетелдік және Кеңес ғалымдарының тұжырымдамаларының салыстырмалы талдауы

№	Автор	Мектеп	Негізгі тұжырымдама	Қалалық кеңістікке қатысты идея
1	Альфред Вебер	Шетел	Қалалардың кеңістіктік құрылымы ресурстар, көлік шығындары мен еңбек факторларына негізделеді.	Экономикалық факторлар, өндіріс күштері
2	Джейн Джейкобс	Шетел	Қалалық кеңістікте біртұтас әрі баршаға қолжетімді қоғамдық кеңістік қалыптасатын органикалық жүйе.	Әлеуметтік қауіпсіздік
3	Питер Холл	Шетел	Аумақтық ұйымдастыру әлеуметтік, экономикалық және экологиялық факторлардың байланысы, ол барлық топтарға қолжетімді болуы тиіс.	Аралас пайдалану
4	Эдвард Соджа	Шетел	Аумақтық ұйымдастыру орталық пен шеткі аймақтар арасындағы әділеттілік принципіне негізделеді және қоғамдық ресурстардың бәріне ортақ болуын қалыптастырады.	Кеңістіктік әділеттілік
5	Майкл Бэтти	Шетел	Қалалық кеңістік ақпараттық технология мен инфрақұрылымның тығыз байланысы, ол әлеуметтік факторларға бағытталады.	«Ақылды қала» тұжырымдамасы
6	А.А. Высоковский	Кеңес	Аумақтардың кеңістіктік дамуы қаланың эволюциялық дамуына және басқарудың ақпараттық моделіне байланысты.	Динамикалық өзгерістер және оларды басқару
7	Ю.Г. Саушкин	Кеңес	Қалалық кеңістікті аумақтық ұйымдастыру мемлекеттегі стратегиялық мақсатқа сәйкес, өндірістік күштердің нақты жағдайы мен дамуын сипаттайды.	Тиімді экономикалық кеңістік

№	Автор	Мектеп	Негізгі тұжырымдама	Қалалық кеңістікке қатысты идея
8	И.А. Родионова	Кеңес	Қала аумағын ұйымдастыру қаланы функционалдық аймақтарға бөлу, жоспарлау және объектілерді тиімді орналастыру процестеріне негізделеді.	Аймақтарды оңтайлы жоспарлау
9	А.А. Ткаченко	Кеңес	Аумақтық ұйымдастырудың аспектілері жоспарлы экономиканың біртұтас жүйесін құрайды және қалалық кеңістіктің тиімді ұйымдастырылуының негізі.	Қалалық кеңістіктің құрылымы
10	Б.С. Хорев	Кеңес	Қаланы аумақтық ұйымдастыру өндіріс пен әлеуметтік инфрақұрылымды орналастыруға, тиімді басқаруға және тұрақты дамуға бағытталады.	Әлеуметтік-экономикалық үйлесімділік

Ескерту: авторлар құрастырған

Әр автор қаланың аумақтық құрылымын сипаттайтын өзіндік географиялық аспектілерді айқындап, оның кеңістіктік ұйымдастырудағы ерекшеліктерін сипаттайды. Шетелдік ғалымдардың тұжырымдамалары әлеуметтік және экологиялық факторларға негізделсе, Кеңес мектебі экономикалық тиімділікте күшті. Бұл айырмашылық «ақылды қала» тұжырымдамасында экономикалық тиімділік (Ткаченконың 10 аспектісі), әлеуметтік инклюзия (Джейкобстың теориясы) және экологиялық тепе-теңдікті (Холлдың аралас моделі) байланыстырады.

Бэтти теориясы «ақылды қала» элементтерімен тікелей байланысты, оның Кеңес ғалымдарының моделдерінен айырмашылығы, динамикалық моделдерді ұсынады, бұл экономикалық өсу және экологиялық тұрақтылыққа ықпал етеді. Сонымен қатар, шетелдік авторлардың теориялары Кеңес мектебінің өндірістік бағытынан (Саушкин, Маергойз) айырмашылығы ең басты күш ретінде әлеуметтік факторды, яғни халықтың өмір сүру сапасын алғашқы орынға қояды. Авторлардың зерттеулері қаланың аумақтық ұйымдастырылуы қалалық аумақтың кеңістіктік құрылымын, өзара байланысын, сондай-ақ әлеуметтік-экономикалық, табиғи және экологиялық факторлармен үйлесімділігін зерттейтін маңызды бағыт екендігін көрсетеді.

Тұрақты даму және «Smart City» тұжырымдамасы контекстіндегі қалалық кеңістік

Қазіргі кезеңде әлемдегі қалалық кеңістіктер дәстүрлі әкімшілік орталықтар мәртебесінен технологиялар мен инновацияларға негізделген өзара байланысқан күрделі жүйелерге өзгеруде. 2050 жылға қарай әлем халқының шамамен

68%-ы қалаларда шоғырланады деп болжануда, бұл басқару тиімділігін, қалалық кеңістікті тиімді ұйымдастыруды және цифрлық дайындық деңгейін қалалардың бәсекеге қабілеттілігін айқындайтын факторлар қатарына енгізеді (Ataev et al., 2025).

«Ақылды қала» тұжырымдамасына негізделген қалалық кеңістікті ұйымдастыру көлік жүйесіндегі шамадан тыс жүктемені, көміртегі шығарындылары жоғары энергетикалық инфрақұрылымды, қызмет көрсету және жаңғырту мәселелерін, сонымен қатар қала ішіндегі қауіпсіздік пен басқару саласындағы мәселелерді шешуге бағытталған тиімді тетік ретінде қарастырылады (Golubchikov & Thornbush, 2020). Үлкен деректерді талдау және жасанды интеллект (ЖИ) сияқты инновациялық технологиялар қалаларға жер пайдалануды жоспарлау саясатын жоспарлауға, ресурстарды тиімді басқаруға, қалдықтар көлемін азайтуға және экологиялық көрсеткіштерді нақты уақыт режимінде бақылауға мүмкіндік береді (Agboola, 2024). Қазіргі «Ақылды қала» тұжырымдамасы тұрақты қалалық дамудың негізіне айналды. Ақпараттық-коммуникациялық технологиялар мен басқа да құралдарды пайдалана отырып, қалалық процестер мен қызметтердің тиімділігін арттырды. Мұндай қалалық кеңістік қазіргі және болашақ ұрпақтардың экономикалық, әлеуметтік, экологиялық және мәдени қажеттіліктерін қанағаттандыруға бағытталған (The Next Wave of Urban Development: Investing In Smart City Infrastructure and Technology, 2026).

Қаланы аумақтық ұйымдастыру әртүрлі жолдармен тұрақты дамуға ықпал етуі мүмкін. БҰҰ-ның Тіршілік ету ортасын Басқару Кеңесі

2015 жылы «International recommendations for urban and territorial planning» атауымен нұсқаулығын бекітті. Аталған нұсқаулықта қаланы аумақтық ұйымдастыру тұрақты дамудың үш компонентімен тығыз байланысты болуы керек. Олар әлеуметтік даму, тұрақты экономикалық өсу және қоршаған ортаны қорғау (International recommendations for urban and territorial planning, 2015).

Әлеуметтік даму. Қаланың аумақтық ұйымдастырылуы қоғамның қазіргі және келешек барлық топтары үшін лайықты өмір сүру деңгейлері мен еңбек ортасын қамтамасыз етуге, ресурстары мен мүмкіндіктерін әділетті бөлуге, әсіресе әлеуметтік бірігу мен ынтымақтастықты нығайтуға бағытталған. Қаланың аумақтық ұйымдастырылуы болашаққа бағытталған стратегиялық инвестициялардың бірі және өмір сүру сапасын жетілдірудің негізгі алғышарты.

Экономиканы дамыту. Қаланың аумақтық ұйымдастырылуы жаңа экономикалық мүмкіндіктердің негізін қалайтын, жер және жылжы-

майтын мүлік нарығын реттейтін, сондай-ақ инфрақұрылым мен қызмет көрсету секторларын жеткілікті дәрежеде қамтамасыз ететін экономикалық өсудің қозғаушы күші. Қаланы аумақтық ұйымдастыру тұрақты экономикалық дамуды, әлеуметтік өсу мен экологиялық тепе-теңдікті қамтамасыз ететін тиімді шешімдер жиынтығы.

Қоршаған орта. Қаланы аумақтық ұйымдастыру қалалар мен олардың іргелес аймақтарының табиғи және антропогендік ортасын, оның ішінде биоәртүрлілікті, жер және табиғи ресурстарды тиімді пайдалануды жүзеге асыру мен тұрақты дамуды қамтамасыз ету үшін кеңістіктік факторларды қамтиды. Экологиялық және әлеуметтік-экономикалық тұрақтылықты күшейту, климат өзгерістерінің салдарын төмендету мен бейімделу шараларын белсендіру арқылы адамзаттың қауіпсіздігін нығайтуға ықпал етеді. Аталған үш компоненттің ерекшеліктері мен өзара байланысының маңыздылығы шетелдік және Кеңес зерттеушілерінің еңбектерінде көрініс тапты (3-сурет).

3-сурет

«Ақылды қала» тұжырымдамасындағы тұрақты дамудың үш компоненті мен ғалымдардың тұжырымдамаларының байланысы



Ескерту: авторлар құрастырған

Суретте «International recommendations for urban and territorial planning» нұсқаулығы бойынша қаланы аумақтық ұйымдастырудағы тұрақты дамудың үш компоненті мен ғалымдардың тұжырымдамалары байланыстырылған. Сәйкесінше аталған зерттеулер мен үш компонент қазіргі «ақылды қала» тұжырымдамасының қалыптасуына негіз болады. Әлеуметтік, экономикалық және экологиялық компоненттердің мұндай байланысы қалалық кеңістікті оңтайлы ұйымдастыруға және жайлы қала ортасын қалыптастыруда маңызды рөл атқарады. Бұл байланыс жаһандық және мемлекеттік деңгейдегі урбанизацияны басқаруда үш компоненттің байланысын қамтамасыз етудің негізі бола алады.

Алатау қаласының кеңістіктік даму моделі

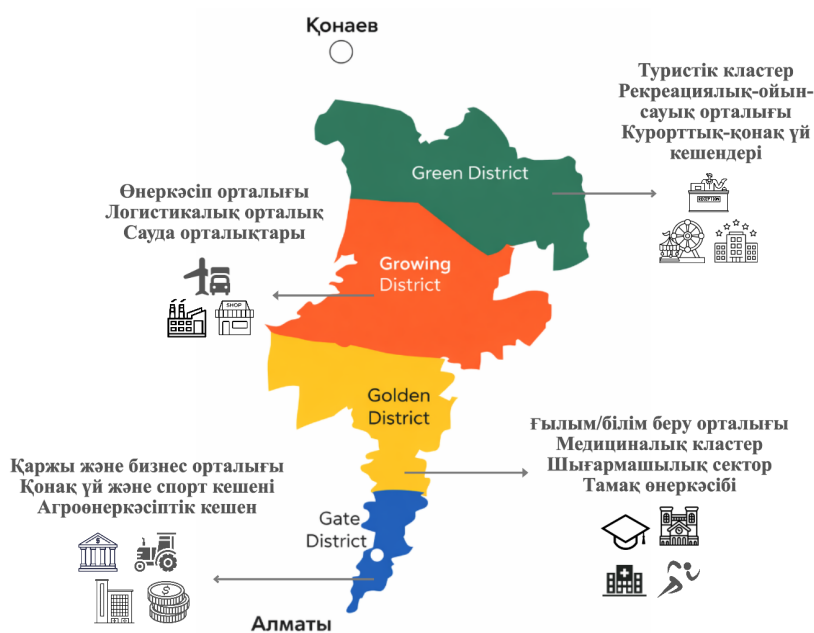
Урбанизация қазіргі уақытта қоғамдық өзгерістердің ең маңызды қозғаушы күштерінің

біріне айналды. Қалалар экономикалық үрдістер қалыптасатын, мәдени жаңалықтар пайда болатын және технологиялық жаңашылдықтар енгізілетін ортаға айналды.

Жоғарыдағы бөлімдерде қарастырылған теориялардың практикалық іске асуын Қазақстандағы нақты және өзекті көрінісі – Алатау қаласының даму жобасының мысалында қарастыруға болады. Алатау қаласы Орталық Азиядағы алғашқы толық «ақылды қала» тұжырымдамасына бағдарланған стратегиялық мегажоба ретінде жоспарланған. Ол тұрақты дамудың үш негізгі компонентін (экономикалық, әлеуметтік және экологиялық) өзара байланыстыра отырып, қалалық кеңістікті тиімді ұйымдастырудың жаңа үлгісін ұсынады. Қаланың жалпы аумағы 88 мың гектарды құрайтын төрт тематикалық ауданға бөлінуі осы байланыстың нақты іске асыруын көрсетеді (4-сурет).

4-сурет

Алатау қаласының бас жоспары негізінде кеңістіктік даму моделі



Ескерту: авторлар құрастырған

Green District – Қапшағай су қоймасының маңындағы демалыс пен ойын-сауық үшін қалалық орта мен табиғаттың тиімді үйлесімін ұсынатын рекреациялық және туристік аудан. Табиғи ландшафтты сақтау мен экологиялық тепе-теңдікті қамтамасыз етеді, бұл тұрақты даму-

дың экологиялық компонентінің критерийлеріне сәйкес келеді.

Growing District – интеграцияланған экспортқа бағытталған өнеркәсіптік және логистикалық аймақ. Аумақтық ұйымдастырудың тұрақты экономикалық дамуы және әлеуметтік өсуіне

негізделе отырып, жаңа жұмыс орындарын құру арқылы әлеуметтік тұрақтылықты күшейтеді.

Golden District – инновациялық экожүйені қалыптастыруға, сондай-ақ білім беру, медицина және ғылыми зерттеулерді дамыту арқылы адами капиталдың сапасын арттыруға бағытталған. Қаланың бас жоспарында тұрақты дамудың әлеуметтік бағыты бойынша қоғамның қазіргі және келешек барлық топтары үшін лайықты өмір сүру деңгейлері мен еңбек ортасын қамтамасыз етудің бағыттары айқындалған.

Gate District – қаланың бас жоспарына сәйкес, экономикалық өсудің негізгі факторларының бірі халықаралық бизнесті дамытудың, іскери қонақ үйлер мен сауда нысандарының орталығы болады (Алматы облысы Алатау қаласының бас жоспары туралы, 2024). Бұл аудандар бас жоспар бойынша «ақылды қала» технологияларымен интеграцияланған, қала ортасы ресурстарын тиімді пайдалануға, қауіпсіздікке және өмір сапасын арттыруға бағытталған.

Мемлекет басшысы Алатау қаласын инновацияның жаңа орталығына айналатынын атап өтіп, 2025 жылғы қыркүйек айындағы Жолдауында аталған қала еліміздегі алғашқы цифрланған қала болатынын айқындады (Мемлекет басшысы Қасым-Жомарт Тоқаевтың «Жасанды

интеллект дәуіріндегі Қазақстан: өзекті мәселелер және оны түбегейлі цифрлық өзгерістер арқылы шешу» атты Жолдауы, 2025). «Ақылды» Алатау қаласының инновациялық инфрақұрылымының негізгі элементі 5G технологиясы болады. Бұл технология «ақылды қала» тұжырымдамасына сәйкес қаланың барлық құрамдас бөліктеріне жоғары жылдамдықты және сенімді байланыс ұсынады. Бас жоспарда қаланың кез келген нүктесінде кең жолақты Интернетке қолжетімділікті қамтамасыз ету үшін сымды, талшықты-оптикалық және сымсыз байланыс арналары интеграцияланған жүйе арқылы біріктірілуі ұсынылады.

Ақылды қалалардың сәтті жүзеге асуы тек технологияларды қолданумен ғана емес, олардың процестерді, нәтижелерді және қалалық кеңістіктің тұрақтылығын қаншалықты тиімді жақсартатынымен бағаланады. Алатау қаласын дамытуда бұл кешенді тәсіл өзара байланысты негізгі элементтерге негізделеді: 1) ақылды энергетика; 2) ақылды көлік; 3) ақылды үй; 4) ақылды қала ортасы. Осы элементтердің үйлесімді жүзеге асырылуы бәсекеге қабілетті және болашаққа бағытталған қалалық экожүйелерді құрудың шарттары болып табылады (5-сурет).

5-сурет

Алатау қаласының «ақылды қала» тұжырымдамасының компоненттерімен байланысы



Ескерту: авторлар құрастырған

Берілген компоненттер қаланы басқарудың барлық деңгейінде технологияларды енгізу мен тұрақты дамудың басым бағыттарын айқындайды. Біріктірілген элементтер қаланы тек әртүрлі технологиялардың жиынтығы емес, икемді жүйе ретінде қарастыратын жаңа қалалық дамуының моделі ретінде құрайды. Ақылды энергетика компоненті тұтынылатын энергияны үнемдеу және тұтынушыларды басқару есебімен қатар, экологиялық қауіпсіз инфрақұрылымды дамытуға бағытталған (Alatau City, 2026). Ақылды көлік жүйесі трафикті басқару, ақылды авто-тұрақтар, экологиялық қоғамдық көлік түрлері мен роботакси, ұшатын таксилер сынды инновацияларды жүзеге асыруға жоспарланған. Бұл компонент қалалық кеңістіктегі көлік инфрақұрылымына қатысты бірқатар мәселелерді шешумен қатар, қоғамның барлық топтары үшін қолжетімді ортаны қалыптастыруды көздейді. Ақылды үй компоненттері қаладағы тұрғын үйлердің қауіпсіздігі, қашықтан және цифрлық деңгейде басқаруды құрайды. Ал ақылды қала ортасы бейнебақылау, энергия үнемдейтін жарықтандыру жүйесі, қалдықтарды смарт-басқару және қалалық кеңістікті жоспарлау мен басқаруды цифрландыру арқылы анықталады. Осы төрт бағыт тұтас цифрлық экожүйеге біріктіріліп, қала тұрғындарына тиімді, қауіпсіз және экологиялық таза орта қалыптастыра отырып, өмір сүру сапасын арттырады.

Қорытынды

Қалалық кеңістікті ұйымдастыру қазіргі урбанизация жағдайында қалалардың тұрақты дамуын қамтамасыз ететін маңызды ғылыми бағыттардың бірі болып табылады. Зерттеу мақсаты қалалық кеңістікті ұйымдастырудың әдістемелік негіздері мен географиялық аспектілерін жүйелеп, оларды қазіргі урбанистикалық даму үрдістерімен байланыстыра отырып талдау болды. Осы мақсатқа қол жеткізу үшін урбанистикалық теорияларға жүйелі шолу жасалып, салыстырмалы талдау және кейс-зерттеу тәсілі қолданылды.

Зерттеу нәтижелері қалалық кеңістіктің ұйымдастырылуы әлеуметтік, экономикалық және экологиялық факторлардың өзара байланысына негізделген көпдеңгейлі әлеуметтік-ке-

ңістіктік жүйе ретінде қалыптасатынын көрсетті. Қаланың тиімді дамуы аумақтық құрылымның теңгерімділігіне, инфрақұрылымдық жүйелердің үйлесімді орналасуына, функционалдық аймақтардың өзара байланысына және кеңістіктік әділеттілік қағидаттарын сақтауға тәуелді екені анықталды. Шетелдік және кеңестік ғылыми мектептердің урбанистикалық тұжырымдамаларын салыстырмалы талдау қалалық кеңістікті ұйымдастыру теориясының эволюциясын айқындап, олардың қазіргі тұрақты урбанизация талаптарымен сабақтастығын көрсетті.

Кейс-зерттеу нәтижесінде Алатау қаласының кеңістіктік даму моделі «Smart City» тұжырымдамасының практикалық іске асу үлгісі ретінде қарастырылды. Қаланың бас жоспарында әлеуметтік қолжетімділік, экономикалық белсенділік, экологиялық тұрақтылық және цифрлық инфрақұрылымды дамыту бағыттарының өзара интеграциясы қалалық кеңістікті ұйымдастырудың заманауи тәсілдерін көрсететіні анықталды. Бұл жағдай урбанистикалық теориялардың нақты қалалық жобаларда қолданбалы мәнге ие екенін дәлелдейді.

Зерттеудің ғылыми жаңалығы қалалық кеңістікті ұйымдастырудың географиялық тәсілдерін урбанистикалық теориялар мен цифрлық қалалық даму тұжырымдамаларын біріктіру арқылы жүйелеуде көрінеді. Ұсынылған әдіснамалық тәсіл қалалық жоспарлау тәжірибесінде, кеңістіктік саясатты қалыптастыруда және тұрақты әрі интеллектуалды қалаларды басқару модельдерін жетілдіруде қолданылуы мүмкін.

Жалпы алғанда, алынған нәтижелер қалалардың кеңістіктік дамуын басқаруда теориялық негіздер мен практикалық урбанистикалық шешімдерді біріктіру қажеттігін көрсетеді және Қазақстандағы жаңа буын қалаларын қалыптастыруға ғылыми негіз ұсынады.

Авторлардың үлесі

Conceptualization, K.D.; Methodology, S.L.; Software, C.D.; Validation, S.L.; Formal Analysis, C.D.; Resources, K.D. and C.D.; Data Curation, S.L. and C.D.; Writing – Original Draft Preparation, K.D.; Writing – Review & Editing, K.D. and S.L.; Visualization, C.D.; Supervision, S.L.; Project Administration, S.L.; Funding Acquisition, C.D.

Әдебиеттер

- Transforming our world: The 2030 Agenda for Sustainable Development (2015, September 24). *United Nations General Assembly*. <https://undocs.org/A/RES/70/1>
- Қазақстан Республикасы Президенті. (2019, 9 қазан). *Елді аумақтық-кеңістікте дамытудың 2030 жылға дейінгі болжамды схемасын бекіту туралы № 185 Жарлығы*. <https://adilet.zan.kz/kaz/docs/U1900000185/compare>
- Baibarac-Duignan, C. & de Lange, M. (2021). Controversing the datafied smart city: Conceptualising a ‘making-controversial’ approach to civic engagement. *Big Data & Society*, 8(2), 1–15. doi:10.1177/20539517211025557
- Rosol, M. & Blue, G. (2022). From the smart city to urban justice in a digital age. *City*, 26(4), 684–705. doi:10.1080/13604813.2022.2079881
- Fu, W., Luo, C. & He, S. (2022). Does Urban Agglomeration Promote the Development of Cities? An Empirical Analysis Based on Spatial Econometrics. *Sustainability*, 14(21), 1–23. <https://doi.org/10.3390/su142114512>
- Яргина, З. Н. (1991). *Эстетика города*. Москва: Стройиздат. <https://elima.ru/books/?id=5575>
- Kolehmainen, J. (2003). *Territorial agglomeration as a local innovation environment: the case of a digital media agglomeration in Tampere, Finland* (MIT IPC-LIS Working Paper 03-002). University of Tampere, Research Unit for Urban and Regional Development Studies (Sente). <https://www.files.ethz.ch/isn/28460/LIS03-002.pdf>
- Высоковский, А. А. (2005). *Правила землепользования и застройки: руководство по разработке. Опыт введения правового зонирования в Кыргызстане*. Бишкек: Ега-Басма. <https://www.hse.ru/data/.pdf>
- Allen, J., Scott, A. J. & Storper, M. (2015). The Nature of Cities: The Scope and Limits of Urban Theory. *International Journal of Urban and Regional Research*, 39(1), 1–15. <https://doi.org/10.1111/1468-2427.12134>
- Внеочередной XXI съезд КПСС (27 января – 5 февраля 1959 года): стенографический отчет. (1959). *Госполитиздат*. https://istmat.org/files/uploads/52191/21_sezd._materialy.pdf
- Саушкин, Ю. Г. (1961). *Основы территориальной организации народного хозяйства СССР*. Москва: Госполитиздат. <http://www.econross.ru/files/books2016/Saushkin,%202016.pdf>
- Jacobs, J. (1992). *The Death and Life of Great American Cities*. Vintage Books. <https://www.petkovstudio.com/bg/.pdf>
- Hall, P. (1988). *Cities of Tomorrow: An Intellectual History of Urban Planning and Design in the Twentieth Century*. Oxford: Basil Blackwell. <https://wellcomecollection.org/works/zyzcy8h2>
- Родионова, И. А. (2000). *Макрогеография промышленности мира*. Москва: Московский лицей. <https://smolgu.ru/upload/iblock/edd/cy9wx4w57dx2f91o9nlna4q0zp01b40.pdf>
- Ткаченко, А. А. *Территориальная общность в региональном развитии и управлении*. Тверь: Тверииздательство. https://lms.tversu.ru/eportfolios/380/3__
- Soja, E. (2000). *Postmetropolis: Critical Studies of Cities and Regions*. Oxford: Blackwell Publishers. <https://www.scirp.org/reference/referencespapers?referenceid=2392535>
- Алаев Э. Б. (1983). *Социально-экономическая география: понятийно-терминологический словарь*. Москва: Мир. <http://www.econross.ru/files/books2013/SEG,%20slovar,%202013.pdf>
- Хорев, Б. С. (1981). *Территориальная организация общества: актуальные проблемы регионального управления и планирования в СССР*. Москва: Мысль. <https://www.hse.ru/data.doc>
- Самарина, В. П. (2007). Особенности территориальной организации населения регионов Севера. *Вестник Тюменского государственного университета*, 3, 204–212. https://elib.utmn.ru/jspui/bitstream/ru-tsu/33176/1/vestnikTyumGU_2007_3_204_212.pdf
- Batty, M. (2013). *The New Science of Cities*. Cambridge, MA: MIT Press. <https://direct.mit.edu/books/monograph/3422/The-New-Science-of-Cities>
- Sonda, G., Coletta, C. & Gabbi, F. (2010). *Urban Plots, Organizing Cities*. Farnham: Ashgate. <https://api.pageplace.de/preview/.epub>
- Jacques, E., Neuenfeldt Júnior, A., Francescato, M., Siluk, J. & De Paris, S. (2024). Smart cities and innovative urban management: Perspectives of integrated technological solutions in urban environments. *Heliyon*, 10(6), 1–14. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e27850>
- Семенов, В. Т. & Штомпель, Н. Э. (2018). Модель организации смарт-мегаполиса на примере г. Харькова, в основу которой положена эффективная территориально-пространственная организация. *Коммунальное хозяйство городов*, 98, 137–145. <http://eprints.kname.edu.ua/21437/>
- Атаев, Б., Мыратгулыев, Б. & Мырадов, М. (2025). Городская среда и устойчивое развитие: планирование «умных городов» и архитектура для комфортной городской жизни. *Парадигма*, 9(3), 47–50. <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=83014685>
- Golubchikov, O. & Thornbush, M. (2020). Artificial Intelligence and Robotics in Smart City Strategies and Planned Smart Development. *Smart Cities*, 3(4), 1133–1144. <https://doi.org/10.3390/smartcities3040056>
- Agboola, O.P. (2024). The role of artificial intelligence in enhancing design innovation and sustainability. *Smart Design Policies*, 1(1), 6–14. <https://doi.org/10.25034/smart-v1n1-2>
- The Next Wave of Urban Development: Investing In Smart City Infrastructure and Technology. (2026). *Astana International Financial Centre*. <https://aifc.kz/wp-content/uploads/2026/01/eng-smart-city-aifc-2026.pdf>
- International recommendations for urban and territorial planning. (2015). *United Nations Human Settlements Programme*. https://unhabitat.org/sites/default/files/download-manager-files/IG-UTP_English.pdf
- Қазақстан Республикасы Үкіметі. (2024, 17 мамыр). *Алматы облысы Алатау қаласының бас жоспары туралы (негізгі ережелерді қоса алғанда) № 388 қаулысы*. <https://adilet.zan.kz/rus/docs/P2400000388>

Тоқаев, Қ.К. (2025, 8 қыркүйек). «Жасанды интеллект дәуіріндегі Қазақстан: өзекті мәселелер және оны түбегейлі цифрлық өзгерістер арқылы шешу» атты Қазақстан халқына Жолдауы. <https://www.akorda.kz/kz/memleket-basshysy-kasym-zhomart-tokaevtyyn-kazakstan-halkyna-zholdauy-zhasandy-intellekt-dauirindegi-kazakstan-ozekti-maseleler-zhane-ony-tubegeyli-cifirlyk-ozgerister-arkyly-sheshu-881957>

Alatau City. (2026, February 12). *Infrastructure*. <https://alatau.city/ru/infrastructure/>

References

Transforming our world: The 2030 Agenda for Sustainable Development (2015, September 24). *United Nations General Assembly*. <https://undocs.org/A/RES/70/1>

Qazaqstan Respublikasy Prezidenti (2019) Eldi aumaqtyq-keñistikte damytudyn 2030 jylğa deingi bolzhamdy shemany bekitturaly № 185 Zharlyғы [Decree on Approving the Forecast Scheme for the Territorial-Spatial Development of the Country until 2030, No. 185]. <https://adilet.zan.kz/kaz/docs/U1900000185/compare>

Baibarac-Duignan, C. & de Lange, M. (2021). Controversing the datafied smart city: Conceptualising a 'making-controversial' approach to civic engagement. *Big Data & Society*, 8(2), 1–15. doi:10.1177/20539517211025557

Rosol, M. & Blue, G. (2022). From the smart city to urban justice in a digital age. *City*, 26(4), 684–705. doi:10.1080/13604813.2022.2079881

Fu, W., Luo, C. & He, S. (2022). Does Urban Agglomeration Promote the Development of Cities? An Empirical Analysis Based on Spatial Econometrics. *Sustainability*, 14(21), 1–23. <https://doi.org/10.3390/su142114512>

Yargina Z. N. (1991) Estetika goroda [Aesthetics of the City]. Moscow: Stroizdat. <https://elima.ru/books/?id=5575>

Kolehmainen, J. (2003). *Territorial agglomeration as a local innovation environment: the case of a digital media agglomeration in Tampere, Finland* (MIT IPC-LIS Working Paper 03-002). University of Tampere, Research Unit for Urban and Regional Development Studies (Sente). <https://www.files.ethz.ch/isn/28460/LIS03-002.pdf>

Vysokovskii A. A (2005) Pravila zemlepol'zovaniya i zastroiki: rukovodstvo po razrabotke. Opyt vvedeniya pravovogo zonirovaniya v Kyrgyzstane [Land Use and Development Rules: A Guide to Drafting. Experience in Implementing Legal Zoning in Kyrgyzstan]. Bishkek: Ega-Basma. <https://www.hse.ru/data/.pdf>

Allen, J., Scott, A. J. & Storper, M. (2015). The Nature of Cities: The Scope and Limits of Urban Theory. *International Journal of Urban and Regional Research*, 39(1), 1–15. <https://doi.org/10.1111/1468-2427.12134>.

Vneocherednoi XXI sezd KPSS (27 yanvarya – 5 fevralya 1959 goda): stenograficheskii otchet (1959) [The Extraordinary 21st Congress of the CPSU (January 27 – February 5, 1959): Verbatim Report]. *Gospolitizdat*. https://istmat.org/files/uploads/52191/21_sezd._materialy.pdf

Saushkin Yu. G (1961) Osnovy territorial'noi organizatsii narodnogo khozyaistva SSSR [Fundamentals of the Territorial Organization of the National Economy of the USSR]. Moscow: Gospolitizdat. <http://www.econross.ru/files/books2016/Saushkin,%202016.pdf>

Jacobs, J. (1992). *The Death and Life of Great American Cities*. Vintage Books. <https://www.petkovstudio.com/bg/.pdf>

Hall, P. (1988). *Cities of Tomorrow: An Intellectual History of Urban Planning and Design in the Twentieth Century*. Oxford: Basil Blackwell. <https://wellcomecollection.org/works/zyzcy8h2>

Rodionova I. A. (2000) Makrogeografiya promyshlennosti mira [Macrogeography of the World's Industry] – Moscow: Moskovskii litsei. <https://smolgu.ru/upload/iblock/edd/cy9wxe4w57dx2f91o9nlna4q0zp01b40.pdf>

Tkachenko A. A. (1995) Territorial'naya obshchnost' v regional'nom razvitii i upravlenii [Territorial Community in Regional Development and Management]. Tver: Tverizdatel'stvo. https://lms.tversu.ru/eportfolios/380/3_

Soja, E. (2000). *Postmetropolis: Critical Studies of Cities and Regions*. Oxford: Blackwell Publishers. <https://www.scirp.org/reference/referencespapers?referenceid=2392535>

Alaev E. B. (1983) Sotsialno-ekonomicheskaya geografiya: ponyatiino-terminologicheskii slovar [Socio-Economic Geography: Conceptual and Terminological Dictionary]. Moscow: Mir. <http://www.econross.ru/files/books2013/SEG,%20slovar,%202013.pdf>

Khorev B. S. (1981) Territorial'naya organizatsiya obshchestva: aktual'nye problemy regional'nogo upravleniya i planirovaniya v SSSR [Territorial Organization of Society: Current Problems of Regional Management and Planning in the USSR]. Moscow: Mysl'. <https://www.hse.ru/data.doc>

Samarina V. P. (2007) Osobennosti territorial'noi organizatsii naseleniya regionov Severa [Features of the Territorial Organization of the Population in the Northern Regions]. *Vestnik Tyumenskogo gosudarstvennogo universiteta*, vol. 3, pp. 204–212. https://elibrary.ru/jspui/bitstream/ru-tsu/33176/1/vestnikTyumGU_2007_3_204_212.pdf

Batty, M. (2013). *The New Science of Cities*. Cambridge, MA: MIT Press. <https://direct.mit.edu/books/monograph/3422/The-New-Science-of-Cities>

Sonda, G., Coletta, C. & Gabbi, F. (2010). *Urban Plots, Organizing Cities*. Farnham: Ashgate. <https://api.pageplace.de/preview/.epub>

Jacques, E., Neuenfeldt Júnior, A., Francescato, M., Siluk, J. & De Paris, S. (2024). Smart cities and innovative urban management: Perspectives of integrated technological solutions in urban environments. *Heliyon*, 10(6), 1–14. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e27850>

Semenov V. T., Shtompel N. E. (2018) Model' organizatsii smart-megapolisa na primere g. Khar'kova, v osnovu kotoroi polozhena effektivnaya territorial'no-prostranstvennaya organizatsiya [A Model for Organizing a Smart Megapolis: The Case of Kharkiv Based on Effective Territorial and Spatial Organization]. *Kommunal'noe khozyajstvo gorodov*, vol. 98, pp. 137–145. <http://eprints.kname.edu.ua/21437/>

Ataev Y., Myratgulyev Y., Myradov M. (2025) Gorodskaya sreda i ustoychivoe razvitiye: planirovaniye «umnykh gorodov» i arhitektura dlia komfortnoi gorodskoi zhizni [Urban environment and sustainable development: Planning of «smart cities» and architecture for comfortable urban life]. *Paradigma*, vol. 9, no 3, pp. 47–50. <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=83014685>

Golubchikov, O. & Thornbush, M. (2020). Artificial Intelligence and Robotics in Smart City Strategies and Planned Smart Development. *Smart Cities*, 3(4), 1133–1144. <https://doi.org/10.3390/smartcities3040056>

Agboola, O.P. (2024). The role of artificial intelligence in enhancing design innovation and sustainability. *Smart Design Policies*, 1(1), 6–14. <https://doi.org/10.25034/smart-v1n1-2>

The Next Wave of Urban Development: Investing In Smart City Infrastructure and Technology. (2026). *Astana International Financial Centre*. <https://aifc.kz/wp-content/uploads/2026/01/eng-smart-city-aifc-2026.pdf>

International recommendations for urban and territorial planning. (2015). *United Nations Human Settlements Programme*. https://unhabitat.org/sites/default/files/download-manager-files/IG-UTP_English.pdf

Qazaqstan Respublikasy Ukimeti. (2024) Almaty oblysy Alatau qalasynyñ bas jospary turaly (negizgi erejelerdi qosa alǵanda) № 388 qaulysy [On the master plan of Alatau city of Almaty region (including the main provisions). Resolution No. 388 of the Government of the Republic of Kazakhstan dated May 17, 2024]. <https://adilet.zan.kz/rus/docs/P2400000388>

Toqayev Q. K. (2025) «Zhasandy intellekt daıirindegi Qazaqstan: ózekti máseleler zhane ony tubegeili tsifrlıy ózgerister arqyly sheshu» [Artificial Intelligence Era in Kazakhstan: Current Issues and Their Solution Through Radical Digital Transformation] <https://www.akorda.kz/kz/memleket-basshysy-kasym-zhomart-tokaevty-n-kazakstan-halkyna-zholdauy-zhasandy-intellekt-daurindegi-kazakstan-ozekti-maseleler-zhane-ony-tubegeyli-cifrlık-ozgerister-arkyly-sheshu-881957>

Alatau City. (2026, February 12). *Infrastructure*. <https://alatau.city/ru/infrastructure/>

Авторлар туралы мәлімет:

Лайсханов Шахислам Узакбаевич – PhD, Халықаралық білім беру корпорациясының Ғылым және инновациялар департаментінің директоры, Абай атындағы Қазақ ұлттық педагогикалық университетінің География және экология кафедрасының қауымдастырылған профессоры (Алматы, Қазақстан, e-mail: laiskhanov@mail.com).

Қазақбай Дильназ Исатайқызы (жауапты автор) – Абай атындағы Қазақ ұлттық педагогикалық университетінің География және экология кафедрасының магистранты (Алматы, Қазақстан, e-mail: kazakbajdilnaz@gmail.com).

Чингисов Даурен Даулетович – Қазақстан Республикасы Өнеркәсіп және құрылыс министрлігі Құрылыс және тұрғын үй-коммуналдық шаруашылық істері комитетінің «Жобаларды мемлекеттік ведомстводан тыс сараптау» шаруашылық жүргізу құқығындағы республикалық мемлекеттік кәсіпорнының («Мемсараптама» РМК) қалаларды жоспарлау құжаттарының экономикалық бөлігін тексеру жөніндегі кеңесші-сарапшысы (Астана, Қазақстан, e-mail: daukaz@mail.ru).

Information about the authors:

Laiskhanov Shakhislam Uzakbaevich – PhD, director of the Department of Science and Innovation of the International Educational Corporation, associate professor of the Department of Geography and Ecology of the Abai Kazakh National Pedagogical University (Almaty, Kazakhstan, e-mail: laiskhanov@mail.com).

Kazakbay Dilnaz Isatayqyzy (corresponding author) – Master's student, Department of Geography and Ecology, Abai Kazakh National Pedagogical University (Almaty, Kazakhstan, e-mail: kazakbajdilnaz@gmail.com).

Chingissov Dauren Dauletovich – Consultant-Expert for Reviewing the Economic Section of Urban Planning Documents at the Republican state enterprise «State out of departmental examination of projects» (RSE «Gosexpertiza») of the Committee for Construction and Housing and Communal Services of the Ministry of Industry and Construction of the Republic of Kazakhstan (Astana, Kazakhstan, e-mail: daukaz@mail.ru).

Сведения об авторах:

Лайсханов Шахислам Узакбаевич – PhD, директор департамента науки и инноваций Международной образовательной корпорации, ассоциированный профессор кафедры Географии и экологии Казахского национального педагогического университета имени Абая (Алматы, Казахстан, e-mail: laiskhanov@mail.com).

Қазақбай Дильназ Исатайқызы (ответственный автор) – магистрант кафедры Географии и экологии Казахского национального педагогического университета имени Абая (Алматы, Казахстан, e-mail: kazakbajdilnaz@gmail.com).

Чингисов Даурен Даулетович – консультант-эксперт по проверки экономической части градостроительных документов РГП на ПХВ «Государственная вневедомственная экспертиза проектов» Комитета по делам строительства и жилищно-коммунального хозяйства Министерства промышленности и строительства Республики Казахстан (РГП «Госэкспертиза») (Астана, Казахстан, e-mail: daukaz@mail.ru).

Келіп түсті: 06 қараша 2025 жыл

Қабылданды: 04 наурыз 2026 жыл

МРНТИ 05.11.47

<https://doi.org/10.26577/JGEM81220263>Г.Н. Нүсіпова , А. Нұрболқызы* , Ә.Қ. Сарсембаева ,Г.К. Бидайбекова , Ш.Б. Жумагулов 

Әл-Фараби атындағы ҚазҰУ, Алматы, Қазақстан

*e-mail: aikenti1987@inbox.ru

ЖЕТІСУ ОБЛЫСЫНЫҢ ГЕОДЕМОГРАФИЯЛЫҚ ТҰРАҚТЫЛЫҒЫ ЕҢБЕК ӘЛЕУЕТІН ЖОСПАРЛАУ МЕН ДАМУДЫҢ НЕГІЗІ РЕТІНДЕ

Мақалада Жетісу облысының аудандары мен қалалары деңгейінде геодемографиялық тұрақтылық пен еңбек әлеуетінің өзара байланысы қарастырылады. Зерттеудің мақсаты – демографиялық үрдістер мен еңбек нарығы көрсеткіштерін интеграциялау арқылы өңірлік еңбек әлеуетінің кеңістіктік дифференциациясын бағалау және аумақтық саясат үшін басым бағыттарды айқындау. Теориялық негіз ретінде геодемографиялық тұрақтылық, еңбек ресурстарының кеңістіктік ұйымдасуы, өңірлік еңбек нарығы және композиттік индекстер жөніндегі отандық және шетелдік зерттеулер талданды.

Зерттеуде ресми статистикалық деректер негізінде интегралды бағалау әдісі қолданылды. Геодемографиялық тұрақтылық индексі (IGU) табиғи өсім, көші-қон және өлім-жітім көрсеткіштерінің нормаланған мәндері арқылы есептелді. Еңбек әлеуеті индексі (LPI) экономикалық белсенділік, жұмыспен қамтылғандардың үлесі, жалдамалы жұмыспен қамтылғандардың үлесі және жұмыссыздық деңгейінің кері нормаланған мәні негізінде анықталды. Осы екі блокты біріктіру арқылы интегралды геодемографиялық-еңбек индексі (IGDTI) ұсынылды.

Нәтижелер Жетісу облысында «ядро–периферия» типіндегі кеңістіктік құрылымның қалыптасқанын көрсетті: Талдықорған қаласы мен Панфилов ауданы жоғары тұрақтылықпен, ал Текелі қаласы мен Қаратал ауданы тәуекелді аумақтар ретінде сипатталды.

Түйін сөздер: геодемографиялық тұрақтылық, еңбек әлеуеті, интегралды индекс, IGU, LPI, IGDTI.

G.N. Nyussupova, A. Nurbolkyzy*,
A.K. Sarsembayeva, G.K. Bidaibekova, Ch.B. Zhumagulov

Al-Farabi Kazakh National University, Almaty, Kazakhstan

*e-mail: aikenti1987@inbox.ru

Geodemographic sustainability of the Zhetysu region as a basis for planning and developing labor potential

This article examines the relationship between geodemographic sustainability and labour potential planning at the district and city level in the Zhetysu region of Kazakhstan. The aim of the study is to assess the spatial differentiation of regional labour potential by integrating demographic and labour-market indicators and to identify priority directions for territorial policy.

The empirical basis consists of official statistics from the Bureau of National Statistics of the Republic of Kazakhstan. The study calculates the geodemographic sustainability index (IGU), the labour potential index (LPI), which combines economic activity, employment, wage employment and the inverse normalized unemployment rate, and the integrated geodemographic-labour index (IGDTI).

The results reveal a clear core-periphery pattern: Taldykorgan city and Panfilov district show high index values, whereas Tekeli city and Karatal district represent areas of increased demographic and labour-market risk.

Keywords: geodemographic sustainability, labour potential, integral index, IGU, LPI, IGDTI.

Г.Н. Нюсупова, А. Нурболкызы*,
А.К. Сарсембаева, Г.К. Бидайбекова, Ш.Б. Жумагулов
Казахский национальный университет имени аль-Фараби, Алматы, Казахстан
*e-mail: aikenti1987@inbox.ru

Геодемографическая устойчивость Жетысуской области как основа планирования и развития трудового потенциала

В статье рассматривается взаимосвязь геодемографической устойчивости и планирования трудового потенциала на уровне районов и городов Жетысуской области. Цель исследования – на основе интеграции демографических и трудовых показателей оценить пространственную дифференциацию регионального трудового потенциала и определить приоритетные направления территориальной политики.

Информационную базу исследования составили официальные статистические данные Бюро национальной статистики Республики Казахстан. Рассчитаны индекс геодемографической устойчивости (IGU), индекс трудового потенциала (LPI), включающий экономическую активность, занятость, долю наёмной занятости и обратную нормализацию уровня безработицы, а также интегральный геодемографическо-трудовой индекс (IGDTI).

Полученные результаты показывают формирование структуры типа «ядро–периферия»: г. Талдыкорган и Панфиловский район характеризуются высокими значениями, тогда как г. Текели и Каратаевский район относятся к зоне пониженной устойчивости.

Ключевые слова: геодемографическая устойчивость, трудовой потенциал, интегральный индекс, IGU, LPI, IGDTI.

Кіріспе

Қазақстан Республикасының кеңістіктік дамуында демографиялық үрдістер мен еңбек ресурстарының аумақтық құрылымы маңызды рөл атқарады. Халық санының динамикасы, жас-жыныстық құрылым, табиғи өсім және көші-қон бағыттары өңірлердің әлеуметтік-экономикалық даму әлеуетін, еңбек нарығының сыйымдылығын және кадрлық қамтамасыз етілу деңгейін айқындайтын негізгі факторлардың бірі болып табылады (Нүсіпова, 2018; Нүсіпова және Қайырбеков, 2019). Демографиялық өзгерістер еңбек ресурстарының қалыптасуына, олардың аумақтық таралуына және өңірлік еңбек нарығының құрылымына тікелей әсер етеді.

Соңғы жылдары урбандалу, ішкі көші-қон және өңірлік теңсіздіктің күшеюі Қазақстанның көптеген аймақтарында геодемографиялық жағдайдың өзгеруіне алып келуде. Бұл үрдістер еңбек ресурстарының аумақтық қайта бөлінуіне, халықтың экономикалық белсенді бөлігінің ірі қалалар мен экономикалық орталықтарға шоғырлануына және кейбір өңірлерде еңбек ресурстарының тапшылығының қалыптасуына әсер етеді.

Жаһандану жағдайында өңірлік еңбек әлеуетін тиімді басқару демографиялық және экономикалық процестердің өзара байланысын кешенді түрде қарастыруды талап етеді. Қазіргі ғылыми әдебиеттерде еңбек ресурстарының кеңістіктік таралуы, өңірлік еңбек нарығының

қалыптасуы және халықтың демографиялық трансформациясы мәселелері экономикалық география мен демография ғылымдарының маңызды зерттеу бағыттарының бірі болып табылады. Сонымен қатар халықтың қартаюы, көші-қон ағымдарының күшеюі және урбандалу процестері өңірлік еңбек нарықтарының тұрақтылығына елеулі ықпал етеді (Böhme et al., 2019; Nicolini et al., 2022).

Қазақстан жағдайында өңірлік демографиялық даму мен еңбек әлеуетінің қалыптасу ерекшеліктерін зерттеу соңғы жылдары өзектілігін арттыра түсуде. Ел аумағында халықтың кеңістіктік орналасуы біркелкі емес және бұл жағдай өңірлердің әлеуметтік-экономикалық даму деңгейінің айырмашылықтарына алып келеді (Ахметов, 2018). Мұндай кеңістіктік теңсіздік еңбек ресурстарының аумақтық концентрациясын күшейтіп, кейбір өңірлерде кадрлық тапшылықтың қалыптасуына ықпал етеді.

Жетісу облысы – аграрлық-өнеркәсіптік, көлік-логистикалық және туристік функциялары тоғысқан, геостратегиялық маңызы жоғары өңірлердің бірі. Облыс құрамына 8 аудан және 2 қала кіреді, олардың табиғи-географиялық, әлеуметтік-экономикалық және демографиялық сипаттамалары айтарлықтай әркелкі орналасқан. Кейбір аудандарда ауыл шаруашылығы басым болса, басқа аумақтарда сауда-логистика, туризм және өңдеу өнеркәсібі дамуда (Жетісу облысы әкімдігі, 2023). Осыған байланысты өңір

аумағында демографиялық даму мен еңбек нарығының құрылымы да біркелкі емес.

Ғылыми әдебиеттерде өңірлік еңбек әлеуетін бағалау мәселелері көбінесе экономикалық көрсеткіштер, еңбек өнімділігі және жұмыспен қамту құрылымы тұрғысынан қарастырылады. Алайда геодемографиялық тұрақтылық пен еңбек әлеуетінің өзара байланысын кешенді түрде қарастыратын зерттеулер салыстырмалы түрде аз. Әсіресе Қазақстан жағдайында демографиялық үрдістер мен еңбек нарығы көрсеткіштерін біріктіретін интегралды бағалау әдістері жеткілікті деңгейде зерттелмеген.

Өңірлік дамуды кешенді бағалауда композиттік немесе интегралды индекстер кеңінен қолданылады. Мұндай индекстер әртүрлі әлеуметтік-экономикалық көрсеткіштерді бір жүйеге біріктіру арқылы аумақтардың даму деңгейін салыстыруға және өңірлік саясаттың басым бағыттарын анықтауға мүмкіндік береді (OECD, 2008; Bandura, 2008). Интегралды көрсеткіштер әдісі өңірлік даму мен еңбек ресурстарының кеңістіктік құрылымын талдауда тиімді құралдардың бірі болып табылады.

Осы тұрғыдан алғанда, Жетісу облысының аудандары мен қалалары деңгейінде геодемографиялық тұрақтылықты сандық бағалау және оны еңбек әлеуетін жоспарлаумен байланыстыру ғылыми және практикалық тұрғыдан маңызды болып табылады. Өңірлік еңбек әлеуетін тиімді жоспарлау демографиялық үрдістер мен экономикалық факторлардың өзара байланысын есепке алуды талап етеді.

Зерттеу сұрағы: Жетісу облысында геодемографиялық тұрақтылық еңбек әлеуетін жоспарлау мен дамытуға қалай әсер етеді және оның аумақтық айырмашылықтары қандай?

Зерттеудің мақсаты – Жетісу облысы өңірлерінің геодемографиялық тұрақтылығын интегралды түрде бағалап, еңбек әлеуетін жоспарлау мен дамыту үшін аумақтық басымдықтарды анықтау.

Осы мақсатқа жету үшін келесі міндеттер қойылды:

1. Геодемографиялық тұрақтылық және еңбек әлеуеті ұғымдарын теориялық-әдіснамалық тұрғыдан нақтылау;
2. Жетісу облысының аудандары мен қалалары бойынша демографиялық және еңбек нарығы көрсеткіштерін талдау;
3. Интегралды геодемографиялық тұрақтылық индексын (бұдан әрі – IGU), еңбек әлеуетінің

интегралды индексын (бұдан әрі – LPI) және оларды біріктіретін интегралды геодемографиялық-еңбек индексын (бұдан әрі – IGDPI) есептеу әдістемесін ұсыну;

4. Жетісу өңірінің аудандары мен қалаларын интегралды индекс деңгейі бойынша жіктеп, олардың кеңістіктік ерекшеліктерін анықтау;

5. Еңбек әлеуетін жоспарлау мен өңірлік саясатты жетілдіруге бағытталған ұсыныстар әзірлеу.

Зерттеудің ақпараттық базасын Қазақстан Республикасы Ұлттық статистика бюросының ресми деректері, демографиялық және еңбек нарығы бойынша статистикалық жинақтар, сондай-ақ отандық және шетелдік ғылыми еңбектер құрайды (Қазақстан Республикасы Ұлттық статистика бюросы, 2025).

Зерттеудің ғылыми жаңалығы Жетісу облысының аудандық деңгейіндегі геодемографиялық үрдістер мен еңбек нарығы көрсеткіштерін біріктіретін интегралды бағалау тәсілін қолданумен байланысты. Ұсынылған әдістеме демографиялық даму мен еңбек әлеуетінің өзара байланысын сандық тұрғыдан бағалауға, өңірлердің кеңістіктік дифференциациясын анықтауға және аумақтық даму басымдықтарын айқындауға мүмкіндік береді (Greco et al., 2019; Буракова, 2020).

Әдебиеттерге шолу

Геодемографиялық тұрақтылық пен өңірлік еңбек әлеуетінің өзара байланысын зерттеу қазіргі экономикалық география, демография және өңірлік даму теорияларының тоғысында қалыптасқан ғылыми бағыттардың бірі болып табылады. Бұл мәселелер шетелдік ғылыми әдебиеттерде геодемография, кеңістіктік демография, өңірлік еңбек нарықтары және әлеуметтік-экономикалық дамудың интегралды индекстері шеңберінде кеңінен қарастырылады (Iammarino, Rodríguez-Pose & Storper, 2019; Rodríguez-Pose, 2018).

Халықтың көші-қон қозғалысы мен демографиялық өзгерістердің аумақтық құрылымын түсіндіретін теориялық зерттеулерде көші-қон процестері еңбек нарығы мен экономикалық даму арасындағы өзара байланыстың маңызды факторы ретінде қарастырылады. Демографиялық өзгерістер мен еңбек ресурстарының мобильділігі өңірлердің экономикалық даму деңгейіне тікелей ықпал етеді (Böhme, Growe &

Schneider, 2019; Nicolini, Pellegrini & Beltrami, 2022).

Геодемография ғылымы халықтың әлеуметтік-демографиялық сипаттамалары мен олардың кеңістіктік таралу заңдылықтарын зерттеуге бағытталған. Геодемографиялық зерттеулердің маңызды бағыттарының бірі – аумақтарды халықтың әлеуметтік-экономикалық және демографиялық көрсеткіштері негізінде топтастыруға бағытталған геодемографиялық жіктеу әдістері болып табылады. Мұндай тәсілдер халық санағы деректері негізінде аумақтардың әлеуметтік-демографиялық типологиясын анықтауға мүмкіндік береді (Singleton & Spielman, 2014; Gale, Singleton & Bates, 2016).

Соңғы жылдары геодемографиялық зерттеулердің мазмұны кеңейіп, халық құрылымымен қатар еңбек нарығының кеңістіктік ұйымдасуы да зерттелуде. Еуропалық зерттеулерде еңбекке бару-келу ағындары, жұмыс орындарының орналасуы және экономиканың секторлық құрылымы сияқты көрсеткіштер біріктіріліп, еңбек нарығының кеңістіктік құрылымы талданады (Gale, Singleton & Bates, 2016).

Кеңістіктік демографиялық өзгерістердің өңірлік еңбек нарықтарына әсерін зерттеу Еуропа елдерінде кең таралған ғылыми бағыттардың бірі болып табылады. Германия аймақтары бойынша жүргізілген зерттеулерде халықтың қартаюы мен жастық құрылымдағы өзгерістердің еңбек нарығына әсері талданып, жұмыс күшінің орташа жасының өсуі еңбек нарығының құрылымына ықпал ететіні анықталған (Böhme et al., 2019). Сонымен қатар Еуропалық Одақ аймақтары бойынша жүргізілген зерттеулерде демографиялық өзгерістер өңірлік экономикалық өсудің маңызды факторларының бірі ретінде қарастырылады (Nicolini et al., 2022).

Өңірлік даму теориясында демографиялық факторлар мен адам капиталы экономикалық өсудің негізгі драйверлерінің бірі болып табылады. Экономикалық географияда өңірлік теңсіздіктер, еңбек ресурстарының мобильділігі және экономикалық белсенділіктің кеңістіктік шоғырлануы мәселелері кеңінен зерттеледі (Rodríguez-Pose, 2018; Iammarino et al., 2019). Сонымен қатар инфрақұрылымның дамуы мен адам капиталының сапасы өңірлік экономикалық өсудің маңызды факторлары ретінде қарастырылады (Crescenzi & Rodríguez-Pose, 2012; Boschma, 2017).

Әлеуметтік-экономикалық дамуды кешенді бағалауда композиттік индекстер кеңінен қолданылады. Композиттік индикаторлар бірнеше әлеуметтік және экономикалық көрсеткіштерді біріктіру арқылы аумақтардың даму деңгейін кешенді бағалауға мүмкіндік береді (Gresco, Ishizaka, Tasiou & Torrisi, 2019). Халықаралық ұйымдар бұл бағытта үлкен тәжірибе жинақтаған. Мысалы, Біріккен Ұлттар Ұйымының Даму бағдарламасы әзірлеген адам даму индексі елдердің әлеуметтік-экономикалық даму деңгейін кешенді бағалауға мүмкіндік береді (UNDP, 2023). Сонымен қатар OECD ұйымының зерттеулерінде композиттік индикаторларды құрудың әдіснамалық негіздері жан-жақты қарастырылған.

Кеңістіктік демография мен еңбек нарығы арасындағы байланыс миграциялық процестер арқылы да көрінеді. Урбандалу үдерістерінің күшеюі көптеген елдерде ауылдық аумақтардың демографиялық әлсіреуіне, жастардың ірі қалаларға көшуіне және еңбек ресурстарының аумақтық теңсіздігіне алып келеді (ILO, 2022).

Посткеңестік кеңістіктегі өңірлік демографиялық процестер мен еңбек ресурстары мәселелері ресейлік және қазақстандық зерттеушілердің еңбектерінде қарастырылған. Ресейлік ғылыми әдебиеттерде өңірлік демографиялық өзгерістер, халықтың қартаюы және еңбек ресурстарының аумақтық теңсіздігі мәселелері кеңінен зерттеледі (Зубаревич, 2019; Нигматуллин, 2018; Татаркин, 2016). Сонымен қатар кеңістіктік экономика теориясында өңірлік даму мен демографиялық процестердің өзара байланысы талданады.

Қазақстандық ғылыми әдебиеттерде геодемографиялық даму және өңірлік демографиялық ерекшеліктер мәселелері бірқатар зерттеулерде қарастырылған. Бұл бағыттағы еңбектерде халықтың табиғи қозғалысы, көші-қон процестері және өңірлік демографиялық айырмашылықтар талданады (Жолдасбаева және Төлеубаева, 2022). Алайда Қазақстан өңірлеріндегі геодемографиялық тұрақтылық пен еңбек әлеуетін интегралды индекстер негізінде кешенді бағалау мәселесі жеткілікті деңгейде зерттелмеген.

Қазіргі геодемографиялық зерттеулерде геоақпараттық жүйелер маңызды рөл атқарады. ГАЖ-технологиялар демографиялық және әлеуметтік-экономикалық көрсеткіштердің кеңістіктік дифференциациясын визуализациялауға

және аумақтық теңсіздіктерді картографиялық тұрғыдан көрсетуге мүмкіндік береді (Singleton & Spielman, 2014).

Осылайша, халықаралық зерттеулер геодемографиялық жіктеулерді, еңбек нарығының кеңістіктік талдауын және интегралды индекстерді жеке-жеке қарастырады. Алайда көпшілік жұмыстарда демографиялық тұрақтылық пен еңбек әлеуеті біріктірілген кешенді көрсеткіш ретінде қарастырылмайды.

Сонымен қатар, қолданыстағы индекстер көбіне ұлттық деңгейде есептеліп, аудандық деңгейдегі кеңістіктік дифференциацияны толық ашпайды.

Қазақстан жағдайында, әсіресе облыстық және аудандық деңгейде геодемографиялық тұрақтылық пен еңбек әлеуетін интеграциялайтын әмбебап көрсеткіштер жеткіліксіз зерттелген. Осыған байланысты, бұл зерттеуде ұсынылған интегралды геодемографиялық-еңбек индексі (IGDTI) халықаралық әдістерді өңірлік деңгейге бейімдей отырып, ғылыми олқылықты толықтыруға бағытталған.

Әдістеме

Жетісу облысы аудандары мен қалаларының еңбек әлеуетін жоспарлау мен дамыту үшін аумақтық айырмашылықтарды сандық түрде бағалау мақсатында интегралды геодемографиялық-еңбек индексі (IGDTI) қолданылды. Ұсынылған индекс өңірдегі демографиялық үрдістер мен еңбек нарығы жағдайын біріктіретін кешенді көрсеткіш болып табылады.

Индекстің әдіснамалық негізі еңбек әлеуетін екі өзара байланысты өлшемде қарастыруға негізделеді:

- еңбек ресурстары қорының қалыптасуы (демографиялық қайта өндірілу және көші-қон арқылы);

- еңбек әлеуетінің іске асу мүмкіндігі (еңбек нарығындағы тәуекелдер, яғни жұмыссыздық деңгейі арқылы).

Осылайша интегралды индекс демографиялық тұрақтылық пен еңбек нарығының жағдайын бір өлшемде біріктіріп, аумақтық айырмашылықтарды салыстыруға және өңірлердің типологиясын жасауға мүмкіндік береді. Мұн-

дай интегралды көрсеткіштер өңірлік әлеуметтік-экономикалық талдауларда кеңінен қолданылады және күрделі көпфакторлы құбылыстарды кешенді бағалауға мүмкіндік береді (OECD, 2008).

Зерттеуде Қазақстан Республикасы Ұлттық статистика бюросының ресми деректері пайдаланылды (stat.gov.kz). Әкімшілік-аумақтық бірліктер бойынша халық санының динамикасы Алматы облысы құрамындағы аудандар үшін 2000–2021 жылдар аралығында, ал Жетісу облысы бойынша 2022–2024 жылдар аралығында талданды. Сонымен қатар 2025 жылғы 1 қаңтардағы халық саны өзгерісінің негізгі компоненттері – табиғи өсім, көші-қон сальдосы және еңбек нарығының негізгі көрсеткіші болып табылатын жұмыссыздық деңгейі қолданылды. Жұмыссыздық деңгейін есептеу Халықаралық еңбек ұйымының әдістемесіне сәйкес жүргізілді (ILO, 2022).

Зерттеу әдістемесі үш негізгі кезеңнен тұрады:

1. 2000–2024 жылдар аралығындағы халық саны динамикасын салыстырмалы талдау;

2. 2025 жылғы 1 қаңтардағы демографиялық өзгерістердің құрылымын бағалау (табиғи өсім және көші-қон);

3. аудандық деңгейде геодемографиялық тұрақтылық индексін есептеу және еңбек әлеуетін аумақтық жоспарлау тұрғысынан талдау.

Интегралды индекстерді құру әдістемесі халықаралық тәжірибеде кеңінен қолданылатын композиттік индекстерді есептеу қағидаттарына негізделеді. Атап айтқанда, OECD ұйымының композиттік индекстер құру жөніндегі әдістемелік ұсынымдары (OECD, 2008), көпөлшемді бағалау әдістері (Greco et al., 2019) және UNDP-ның адам даму индексін есептеу принциптері пайдаланылды (UNDP, 2023). Сонымен қатар көші-қон процестерінің өңірлік демографиялық дамуға әсерін түсіндіруде Э. Лидің көші-қон теориясының негізгі қағидалары ескерілді (Lee, 1966).

Зерттеуде интегралды индекс екі негізгі құрамдас бөліктен тұрады:

- геодемографиялық тұрақтылық индексі (IGU);

- еңбек әлеуеті индексі (LPI).

Геодемографиялық тұрақтылық индексі есептеу

Геодемографиялық тұрақтылық индексі демографиялық процестердің еңбек ресурстарының қалыптасуына әсерін сипаттайды және келесі формула бойынша есептеледі:

$$IGU_i = 0.50 \times n_i^{norm} + 0.30 \times m_i^{norm} + 0.20 \times d_i^{norm}$$

мұнда: n_i^{norm} – табиғи өсім коэффициентінің нормаланған мәні; m_i^{norm} – көші-қон сальдосының нормаланған мәні; d_i^{norm} – өлім-жітім коэффициентінің кері нормаланған мәні.

Салмақ коэффициенттері ғылыми әдебиеттердегі композиттік индекстерді қалыптастыру тәжірибесіне (OECD, 2008; World Bank, 2020) сүйене отырып және зерттеудің мақсаттарына сәйкес сараптамалық әдіспен анықталды. Геодемографиялық тұрақтылықта табиғи өсім негізгі фактор ретінде (0.50), көші-қон (0.30), өлім-жітім (0.20) ескерілді. Ал еңбек әлеуетінде жұмыссыздық (0.40), экономикалық белсенділік (0.30) және жұмыспен қамтылу (0.30) теңгерімді түрде енгізілді.

Индикаторларды нормализациялау

Көрсеткіштер әртүрлі өлшем бірліктерінде берілгендіктен оларды салыстырмалы бағалау үшін Min–Max нормализация әдісі қолданылды (OECD, 2008).

Оң бағыттағы индикаторлар үшін (мәні жоғарылаған сайын жағдай жақсарады) нормализация келесі формула бойынша жүргізілді:

$$x_i^{norm} = \frac{(x_i - x_{min})}{(x_{max} - x_{min})}$$

Бұл топқа табиғи өсім коэффициенті және көші-қон сальдосы жатады.

Теріс бағыттағы индикаторлар үшін (мәні жоғарылаған сайын жағдай нашарлайды) кері нормализация қолданылды:

$$x_i^{norm} = \frac{(x_{max} - x_i)}{(x_{max} - x_{min})}$$

Бұл топқа өлім-жітім коэффициенті және жұмыссыздық деңгейі жатады.

Нормализация нәтижесінде барлық көрсеткіштер 0–1 аралығындағы шкалаға келтіріледі.

Еңбек әлеуеті индексі есептеу

Еңбек әлеуетін сандық бағалау үшін зерттеуде интегралды еңбек әлеуеті индексі (Labour Potential Index – LPI) қолданылды. Бұл индекс өңірдегі еңбек ресурстарының қалыптасу деңгейін және олардың экономикалық қызметке тартылу тиімділігін кешенді түрде сипаттайды.

Еңбек әлеуеті көпқұрамды әлеуметтік-экономикалық категория болғандықтан, оны бағалау барысында еңбек нарығының негізгі үш индикаторы тандалды:

экономикалық белсенді халықтың үлесі (EA);

жұмыспен қамтылғандар үлесі (EMP);

жұмыссыздық деңгейі (UR).

Бұл көрсеткіштер еңбек ресурстарының сандық және сапалық сипаттамаларын толық қамтиды және Халықаралық еңбек ұйымының (ILO, 2022) әдіснамасына сәйкес еңбек нарығын бағалаудың базалық индикаторлары болып табылады.

Көрсеткіштердің өлшем бірліктері әртүрлі болғандықтан, оларды салыстырмалы формаға келтіру үшін Min–Max нормализация әдісі қолданылды (OECD, 2008).

Теріс бағыттағы индикатор – жұмыссыздық деңгейі үшін кері нормализация қолданылды:

$$UR_i^{inv} = 1 - \frac{UR_i - UR_{min}}{UR_{max} - UR_{min}}$$

Осылайша барлық көрсеткіштер 0 мен 1 аралығындағы шкалаға келтірілді.

Интегралды еңбек әлеуеті индексі келесі формула бойынша есептеледі:

$$LPI_i = 0.40 \times UR_i^{inv} + 0.30 \times EA_i^{norm} + 0.30 \times EMP_i^{norm}$$

Мұндағы салмақ коэффициенттері еңбек нарығының құрылымын ескере отырып анықталды. Жұмыссыздық деңгейіне (0.40) жоғары салмақ берілуі оның еңбек әлеуетін іске асырудағы негізгі шектеуші фактор ретінде қарастырылуымен түсіндіріледі. Ал экономикалық белсенділік пен жұмыспен қамтылу көрсеткіштері (әрқайсысы 0.30) еңбек ресурстарының нарыққа қатысу деңгейін сипаттайды.

Ұсынылған тәсіл еңбек ресурстарының тек сандық көлемін ғана емес, олардың экономикалық жүйеге тартылу тиімділігін де бағалауға

мүмкіндік береді. Бұл өз кезегінде өңірлік еңбек нарығының жағдайын кешенді талдауға және аумақтар арасындағы айырмашылықтарды анықтауға жағдай жасайды.

Интегралды геодемографиялық-еңбек индексі есептеу

Геодемографиялық және еңбек факторларын біріктіру үшін интегралды геодемографиялық-еңбек индексі есептеледі:

$$IGDTI_i = 0.60 \times IGU_i + 0.40 \times LPI_i$$

Бұл модельде демографиялық компонентке басымдық беріледі (0.60), өйткені еңбек ресурстарының ұзақ мерзімді қалыптасуы халықтың табиғи қозғалысы мен көші-қон үрдістеріне тәуелді. Сонымен қатар еңбек нарығы жағдайы еңбек әлеуетінің нақты іске асуына тікелей әсер ететіндіктен еңбек әлеуеті индексі де маңызды үлеспен енгізілді (UNDP, 2023).

Индекс интерпретациясы

Есептелген IGDTI мәндері аудан/қалаларды салыстыру және картаға түсіру үшін 4 сыныпқа бөлінеді: төмен – орташа төмен – орташа жоғары – жоғары.

Нормализация салыстырмалы сипатқа ие болғандықтан индекс мәндері ең алдымен өңір ішіндегі салыстыру үшін тиімді. Басқа өңірлермен салыстыру жүргізу үшін бірдей деректер базасы қолданылуы қажет. Сонымен қатар сал-

мақ коэффициенттері эксперттік-аналитикалық негізде таңдалған және қажет болған жағдайда сезімталдық талдауы арқылы тексерілуі мүмкін.

Нәтижесі

Халық санының динамикасы

Жүргізілген талдау Жетісу облысында соңғы жылдары халық санының жалпы өсімі сақталғанымен, оның аумақтық таралуы біркелкі емес екенін көрсетті. Өңірлік орталық болып табылатын Талдықорған қаласында, сондай-ақ шекаралық және туристік әлеуеті бар Панфилов және Алакөл аудандарында халық санының өсу қарқыны айқын байқалады. Керісінше, Қаратал ауданы мен Текелі қаласында демографиялық өсім баяулап, көші-қон теңгерімінің теріс болуы халық саны динамикасына әсер етеді. Мұндай аумақтық дифференциация демографиялық дамудың кеңістіктік ерекшеліктерімен түсіндіріледі.

Ауылдық аудандарда туу деңгейі салыстырмалы түрде жоғары болғанымен, еңбекке қабілетті жастағы халықтың ірі қалалар мен экономикалық орталықтарға көшуі демографиялық құрылымның өзгеруіне ықпал етеді. Бұл құбылыс жастық-жыныстық құрылымның трансформациясына және демографиялық жүктеменің артуына әкелуі мүмкін. Мұндай көші-қон үдерістері еңбек ресурстарының аумақтық қайта бөлінуінің маңызды факторларының бірі болып табылады (Нигматуллин, 2018)

1-кесте

Жетісу облысының аудандары мен қалаларындағы халық саны (2000–2024 жж., жыл басы)

Әкімшілік бірлік	2000 ж.	2005 ж.	2010 ж.	2015 ж.	2020 ж.	2024 ж.	2000–2024, %
Ақсу	44 300	38 364	39 081	40 621	38 569	35 226	-20,5
Алакөл	79 600	76 741	69 782	70 930	68 886	73 483	-7,7
Ескелді	48 300	48 970	50 267	48 939	45 763	51 076	5,7
Қаратал	46 500	50 115	47 805	48 027	46 676	39 155	-15,8
Кербулак	53 300	51 308	48 309	49 876	48 150	42 296	-20,6
Көксу	40 100	39 230	38 738	40 570	41 038	41 634	3,8
Панфилов	113 700	116 223	114 372	124 695	130 011	134 212	18,0
Сарқан	47 600	43 768	41 227	40 139	35 664	38 874	-18,3
Талдықорған	116 600	125 279	148 778	162 392	175 181	207 628	78,1
Текелі	25 100	24 758	27 529	31 645	33 408	30 816	22,8
Барлығы	615 100	614 756	625 888	657 834	663 346	694 400	12,9

Ескерту: автор құрастырған

Кесте деректері бойынша 2000–2024 жылдар аралығында облыс халқы 615,1 мың адамнан 694,4 мың адамға дейін өсіп, жалпы өсім 12,9%-ды құрады. Ең жоғары өсім Талдықорған қаласында байқалады (+78,1%). Бұл жағдай қаланың әкімшілік-басқару, білім беру және қызмет көрсету салаларының өңірлік орталығы ретінде қалыптасуымен байланысты. Панфилов ауданында да халық санының тұрақты өсуі байқалады (+18,0%), бұл шекаралық сауда мен логистикалық қызметтердің дамуымен түсіндіріледі.

Сонымен қатар Ақсу, Кербұлақ және Сарқан аудандарында халық санының төмендеуі бай

қалады. Мұндай үрдіс урбандалу үдерістерінің күшеюімен және еңбек ресурстарының экономикалық белсенді орталықтарға көшуімен байланысты.

Геодемографиялық тұрақтылық индексі

Жетісу облысының аудандары мен қалалары бойынша демографиялық тұрақтылықты бағалау мақсатында интегралды геодемографиялық тұрақтылық индексі (IGU) есептелді. Интегралды индекстерді қолдану өңірлік демографиялық процестерді кешенді бағалауға және аумақтардың демографиялық даму деңгейін салыстырмалы түрде талдауға мүмкіндік береді.

2-кесте

Жетісу облысының аудандары мен қалалары бойынша интегралды геодемографиялық тұрақтылық индексі (01.01.2025 ж.)

Әкімшілік бірлік	Туу коэф., ‰	Өлім-жітім коэф., ‰	Табиғи өсім коэф., ‰	Көші-қон сальдосы, адам	Көші-қон коэф. (есеп), ‰	IGU интегралды геодемографиялық тұрақтылық индексі (0-1)
Талдықорған қаласы	17.88	6.58	11.29	1244	6.04	0,805
Текелі қаласы	12.66	11.34	1.32	-332	-10.72	0,203
Ақсу ауданы	15.88	7.19	8.69	-1651	-46.00	0,395
Алакөл ауданы	14.46	7.07	7.38	-1755	-23.69	0,483
Ескелді ауданы	16.22	8.69	7.53	-1360	-26.39	0,416
Кербұлақ ауданы	18.47	7.69	10.78	-1753	-40.83	0,478
Көксу ауданы	16.72	7.05	9.67	-874	-20.88	0,578
Қаратал ауданы	15.38	9.94	5.44	-972	-24.59	0,312
Панфилов ауданы	21.64	5.60	16.04	-2406	-17.92	0,862
Сарқан ауданы	16.74	8.14	8.60	-905	-25.26	0,478

Ескерту: автор құрастырған

Есептеу нәтижелері облыс аумақтарында геодемографиялық тұрақтылықтың айқын аумақтық айырмашылықтары бар екенін көрсетті. Ең жоғары индекс мәндері Панфилов ауданында (0,862), Талдықорған қаласында (0,805) және Көксу ауданында (0,578) байқалады. Бұл аумақтарда табиғи өсім деңгейі салыстырмалы жоғары және демографиялық құрылым тұрақты. Демографиялық өсім мен көші-қон процестерінің үйлесімі өңірлік тұрақтылықтың маңызды көрсеткіші болып табылады.

Орташа деңгейдегі тұрақтылық Алакөл, Сарқан, Кербұлақ және Ескелді аудандарында анықталды. Бұл аудандарда табиғи өсім сақталғанымен, көші-қонның теріс теңгерімі демографиялық тұрақтылықты әлсіретеді.

Ең төмен индекс мәндері Ақсу, Қаратал аудандарында және Текелі қаласында байқалады.

Бұл аумақтарда көші-қон шығыны жоғары және демографиялық өсім деңгейі салыстырмалы түрде төмен, бұл өңірлік демографиялық дамудың кеңістіктік теңсіздігін көрсетеді.

Еңбек әлеуеті индексі

Жетісу облысының еңбек нарығы көрсеткіштері негізінде еңбек әлеуетінің интегралды индексі (LPI) есептелді. Еңбек әлеуеті ұғымы халықтың экономикалық белсенділігі, жұмыспен қамтылуы және еңбек ресурстарының сапалық сипаттамалары арқылы анықталады (Римашевская, 2009; Медков, 2014). Өңірлік еңбек нарығын бағалау кезінде халықтың экономикалық белсенділік деңгейі, жұмыспен қамтылғандар үлесі және жұмыссыздық көрсеткіштері негізгі индикаторлар ретінде қарастырылады (ILO, 2022).

3-кесте

01.01.2025 жыл бойынша Жетісу облысы аудандары мен қалаларының еңбек әлеуеті индексі (LPI)

№	Әкімшілік бірлік	Экономикалық белсенділік, %	Жұмыссыздық деңгейі, %	Жұмыспен қамтылғандар үлесі, %	LPI -еңбек әлеуеті индексі
1	Талдықорған қаласы	89,6	3,8	86,2	1,000
2	Панфилов ауданы	57,5	4,7	54,8	0,588
3	Сарқан ауданы	24,1	4,7	22,9	0,325
4	Текелі қ.	13,6	4,5	13,0	0,278
5	Алакөл ауданы	35,2	5,5	33,3	0,273
6	Қаратал ауданы	19,1	4,8	18,2	0,269
7	Көксу ауданы	16,1	4,7	15,4	0,263
8	Ақсу ауданы	16,8	5,8	15,8	0,076
9	Ескелді ауданы	21,6	6,1	20,2	0,061
10	Кербұлақ ауданы	17,9	6,0	16,9	0,050

Ескерту: автор құрастырған

3-кесте деректері бойынша еңбек әлеуетінің ең жоғары мәні Талдықорған қаласында (LPI = 1,000) байқалады. Бұл қалада экономикалық белсенді халықтың үлесі (89,6%) мен жұмыспен қамтылу деңгейі (86,2%) жоғары, ал жұмыссыздық деңгейі ең төмен (3,8%). Мұндай комбинация еңбек ресурстарының жоғары тиімділікпен пайдаланылып отырғанын көрсетеді және қаланың өңірлік еңбек нарығының негізгі орталығы екенін дәлелдейді.

Панфилов ауданы да салыстырмалы жоғары еңбек әлеуетімен ерекшеленеді (LPI = 0,588). Мұнда экономикалық белсенділік пен жұмыспен қамтылу көрсеткіштері ортадан жоғары деңгейде, алайда жұмыссыздықтың салыстырмалы жоғары болуы еңбек әлеуетінің толық іске асуына белгілі бір шектеу қояды. Бұл аудан үшін басты бағыт – жаңа жұмыс орындарын құру арқылы демографиялық әлеуетті экономикалық тиімділікке айналдыру.

Орташа деңгейдегі LPI мәндері Сарқан (0,325), Текелі (0,278), Алакөл (0,273), Қаратал (0,269) және Көксу (0,263) аудандарына тән. Бұл аумақтарда еңбек ресурстары бар болғанымен, олардың еңбек нарығында іске асу тиімділігі шектеулі. Әсіресе ауыл шаруашылығының басымдығы, экономиканың жеткіліксіз әртараптандырылуы және тұрақты жұмыс орындарының тапшылығы еңбек әлеуетін толық пайдалануға кедергі келтіреді.

Ең төмен еңбек әлеуеті Ақсу (0,076), Ескелді (0,061) және Кербұлақ (0,050) аудандарында тіркелді. Бұл аудандарда экономикалық белсенді-

лік деңгейі төмен, жұмыспен қамту жеткіліксіз және жұмыссыздық деңгейі жоғары, нәтижесінде еңбек ресурстарының едәуір бөлігі толық іске асырылмай отыр. Мұндай жағдай ұзақ мерзімді перспективада еңбек әлеуетінің әлсіреуіне және көші-қон ағындарының күшеюіне әкелуі мүмкін.

Интегралды геодемографиялық-еңбек индексі

Геодемографиялық тұрақтылық индексі мен еңбек әлеуеті индексі біріктіру арқылы интегралды геодемографиялық-еңбек индексі (IGDTI) есептелді. Мұндай интегралды тәсіл демографиялық және экономикалық факторлардың өзара байланысын кешенді талдауға мүмкіндік береді.

Интегралды геодемографиялық-еңбек индексі (IGDTI) демографиялық тұрақтылық пен еңбек әлеуетін біріктіре отырып, өңірдің кеңістіктік құрылымын неғұрлым толық сипаттайды (4-кесте). Есептеу нәтижелері бойынша IGDTI мәндері 0,233 пен 0,883 аралығында өзгеріп, аймақтың айқын «ядро–периферия» моделін қалыптастыратынын көрсетеді.

IGDTI бойынша ең жоғары көрсеткіш Талдықорған қаласында тіркелді (0,883). Бұл жоғары мән демографиялық тұрақтылықтың (IGU = 0,805) және еңбек әлеуетінің (LPI = 1,000) үйлесімді жоғары деңгейімен түсіндіріледі. Қала өңірлік экономикалық, білім беру және қызмет көрсету орталығы ретінде еңбек ресурстарын тарту мен ұстап қалудың негізгі нүктесі болып табылады.

4-кесте*Жетісу облысы аудандары мен қалалары бойынша интегралды геодемографиялық-еңбек индексі (IGDTI)*

№	Әкімшілік бірлік	IGU	LPI	IGDTI	Тұрақтылық тобы
1	Талдықорған қаласы	0,805	1,000	0,883	Жоғары
2	Панфилов ауданы	0,862	0,588	0,752	Жоғары
3	Көксу ауданы	0,578	0,263	0,452	Орташа жоғары
4	Сарқан ауданы	0,478	0,325	0,417	Орташа жоғары
5	Алакөл ауданы	0,483	0,273	0,399	Орташа төмен
6	Кербұлақ ауданы	0,478	0,050	0,307	Орташа төмен
7	Қаратал ауданы	0,312	0,269	0,295	Орташа төмен
8	Ескелді ауданы	0,416	0,061	0,274	Орташа төмен
9	Ақсу ауданы	0,395	0,076	0,268	Орташа төмен
10	Текелі қаласы	0,203	0,278	0,233	Төмен

Ескерту: автор құрастырған

Панфилов ауданы да жоғары интегралды көрсеткішке ие ($IGDTI = 0,752$). Мұнда демографиялық әлеует өте жоғары болғанымен ($IGU = 0,862$), еңбек нарығы көрсеткіштері салыстырмалы түрде төменірек. Бұл демографиялық артықшылықтың экономикалық артықшылыққа толық айналмағанын көрсетеді және өндірістік-логистикалық инфрақұрылымды дамыту қажеттігін дәлелдейді.

Орташа-жоғары тұрақтылық тобына Көксу (0,452) және Сарқан (0,417) аудандары жатады. Бұл аумақтарда демографиялық база жеткілікті болғанымен, еңбек әлеуетінің деңгейі орташа, сондықтан оларды «тұрақты, бірақ толық іске аспаған әлеует аймақтары» ретінде сипаттауға болады.

Орташа-төмен тұрақтылық Алакөл (0,399), Кербұлақ (0,307), Қаратал (0,295), Ескелді (0,274) және Ақсу (0,268) аудандарында байқалады. Бұл аумақтарда демографиялық және еңбек көрсеткіштері салыстырмалы түрде теңгерімді болғанымен, айқын өсу драйверлері жоқ. Мұндай аудандарда еңбек әлеуетін күшейту үшін экономиканы әртараптандыру, инфрақұрылымды дамыту және жастарды ұстап қалу саясаты маңызды.

Ең төмен $IGDTI$ мәні Текелі қаласында тіркелді (0,233). Бұл қалада демографиялық тұрақтылықтың төмендігі ($IGU = 0,203$) негізгі шектеуші фактор болып табылады, ал еңбек әлеуеті салыстырмалы түрде жоғары болғанымен ($LPI = 0,278$), жалпы интегралды көрсеткішті көтеруге жеткіліксіз. Бұл жағдай монокалаларға тән демографиялық және экономикалық тәуекелдердің қатар әсерін көрсетеді.

Осылайша, алынған нәтижелер Жетісу облысында еңбек әлеуетінің кеңістіктік құрылымы айқын дифференциацияланғанын және оның демографиялық үрдістермен тығыз байланысты екенін дәлелдейді. Интегралды көрсеткіштерді қолдану өңірлік саясатта «өсу нүктелерін», «өтпелі аймақтарды» және «тәуекел аумақтарын» дәл анықтауға мүмкіндік береді.

Зерттеу нәтижелері Жетісу облысының еңбек әлеуетін жоспарлау және өңірлік даму саясатын қалыптастыру кезінде аумақтық ерекшеліктерді ескерудің маңыздылығын көрсетеді (Қазақстан Республикасы Ұлттық статистика бюросы, 2025).

Геодемографиялық даму заңдылықтары

Жүргізілген талдау нәтижелері Жетісу облысында геодемографиялық тұрақтылық пен еңбек әлеуетінің қалыптасуында бірнеше кеңістіктік заңдылықтардың бар екенін көрсетті.

Бірінші заңдылық – халық санының динамикасы мен геодемографиялық тұрақтылық индексінің өзара байланысы. Халық саны тұрақты өсіп отырған аумақтарда геодемографиялық тұрақтылық индексінің мәні жоғары болады (Вишневский, 2010; Нүсіпова, 2018).

Екінші заңдылық – демографиялық тұрақтылық пен еңбек әлеуеті арасындағы байланыс. Демографиялық жағдайы тұрақты аумақтарда еңбек ресурстарының қалыптасуы мен жаңаруы тиімді жүзеге асады (Римашевская, 2009; Медков, 2014).

Үшінші заңдылық – өңірлік орталықтардың еңбек ресурстарын тарту рөлі. Талдықорған

қаласы өңірлік әкімшілік-экономикалық орталық ретінде еңбек ресурстарының негізгі тартылу нүктесі болып табылады (Rodríguez-Pose, 2018).

Осылайша, Жетісу облысында геодемографиялық тұрақтылық пен еңбек әлеуетінің кеңістіктік құрылымы демографиялық үрдістер мен өңірлік экономикалық даму факторларының өзара ықпалы арқылы қалыптасады.

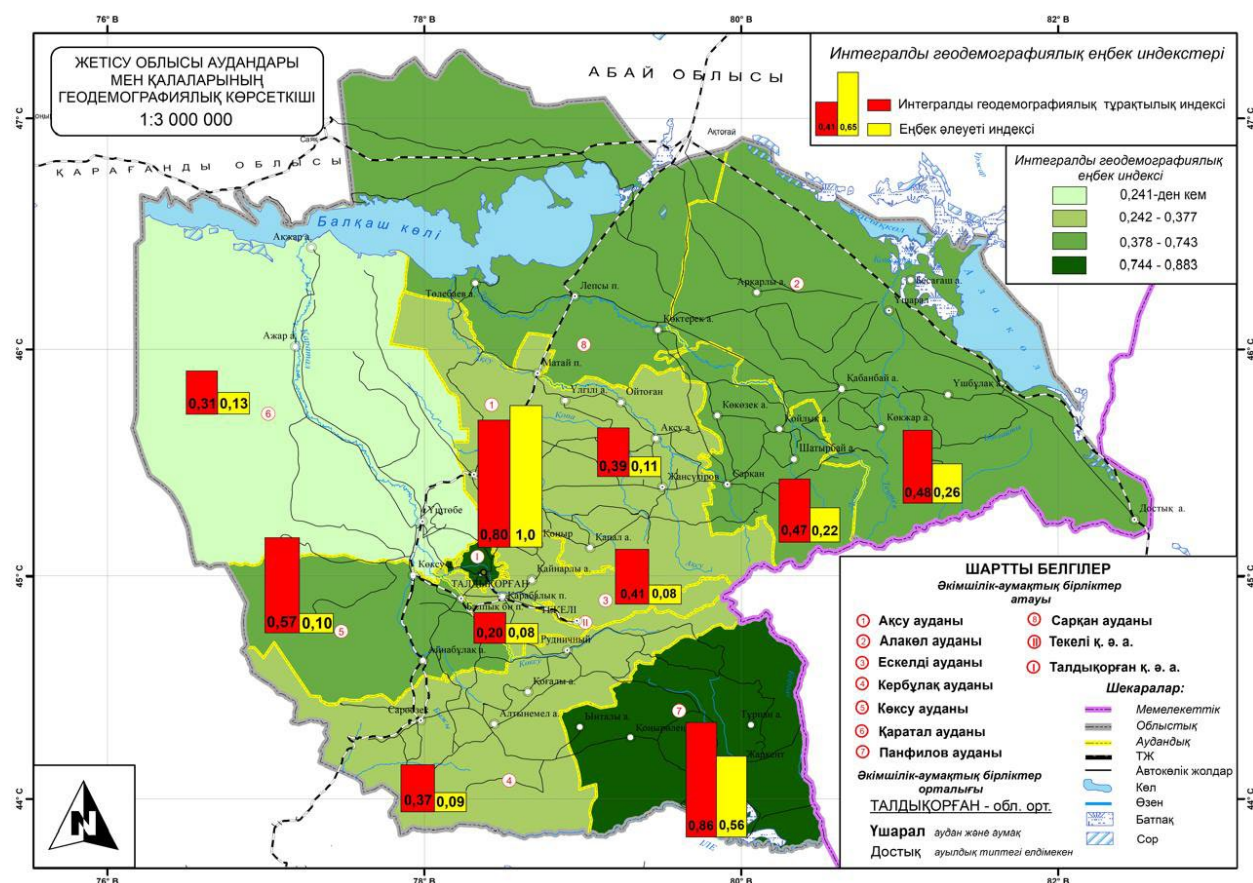
1-сурет мәліметтері IGDТІ көрсеткіштерінің аумақ бойынша біркелкі емес таралғанын және өңірде айқын «ядро-периферия» құрылымының қалыптасқанын

көрсетеді. Жоғары тұрақтылық аймақтары ретінде Талдықорған қаласы мен Панфилов ауданы ерекшеленеді, олар картада жоғары мәндермен айқын көрінеді. Бұл аумақтар демографиялық және еңбек әлеуетінің шоғырланған негізгі өсу нүктелері болып табылады.

Орташа-жоғары тұрақтылық аймақтары Көксу және Сарқан аудандарында байқалады. Бұл аудандарда демографиялық база жеткілікті болғанымен, еңбек әлеуетінің толық іске асуы шектеулі, сондықтан оларды даму резерві бар аумақтар ретінде қарастыруға болады.

1-сурет

Жетісу облысының аудандары мен қалалары бойынша геодемографиялық тұрақтылық және еңбек әлеуеті индекстерінің кеңістіктік таралуы



Ескерту: авторлармен құрастырылған

Орташа-төмен тұрақтылық аймақтарына Алакөл, Кербұлақ, Қаратал, Ескелді және Аксу аудандары жатады. Бұл аумақтар картада аралық түстермен бейнеленіп, олардың даму деңгейінің тұрақты, бірақ әлсіз екенін көрсетеді.

Мұнда еңбек әлеуетін арттыру үшін экономиканы әртараптандыру және инфрақұрылымды дамыту қажет.

Төмен тұрақтылық аймағы ретінде Текелі қаласы ерекшеленеді, ол картада ең төмен

көрсеткішпен көрсетілген. Бұл аумақта демографиялық әлсіздік пен еңбек нарығының шектеулілігі қатар байқалады, бұл оны тәуекел аймағына жатқызуға мүмкіндік береді.

Осылайша, 1-сурет интегралды көрсеткіштердің кеңістіктік үлгісін айқын көрсетіп, кестелік мәліметтерді визуалды түрде толықтырады. Картографиялық талдау нәтижелері Жетісу облысында еңбек әлеуетін жоспарлау аумақтық сараланған тәсілді талап ететінін дәлелдейді.

Жалпы алғанда, алынған нәтижелер өңірдегі еңбек әлеуетінің кеңістіктік ұйымдасуы демографиялық үрдістермен тығыз байланысты екенін көрсетеді. Интегралды индекстерді қолдану өңірлік саясатта «өсу нүктелерін», «өтпелі аймақтарды» және «тәуекел аумақтарын» анықтауға мүмкіндік береді.

Талқылау

IGDTI шкаласы бойынша ең жоғары мәндер Талдықорған қаласы мен Панфилов және Алакөл аудандарында байқалады: Талдықорған қаласы – $IGDTI = 0,883$; Панфилов ауданы – $IGDTI = 0,752$; Көксу ауданы – $IGDTI = 0,452$. Мұндай аумақтық айырмашылықтар өңірлік демографиялық даму мен еңбек ресурстарының кеңістіктік шоғырлануының нәтижесі болып табылады (Iammarino et al., 2019; Rodríguez-Pose, 2018).

Талдықорған қаласының жоғары интегралды индексі екі негізгі фактордың үйлесуімен түсіндіріледі. Біріншіден, қалада табиғи өсім коэффициенті (11,3%) және көші-қонның оң сальдосы (6,0%) нәтижесінде геодемографиялық тұрақтылық индексі $IGU = 0,805$ деңгейінде қалыптасқан. Бұл демографиялық тұрғыдан қаланың өзіндік жаңару әлеуетінің жоғары екенін көрсетеді. Екіншіден, еңбек нарығында экономикалық белсенді халықтың үлесі жоғары, жұмыспен қамтылу деңгейі тұрақты, ал жұмыссыздық салыстырмалы түрде төмен болғандықтан еңбек әлеуеті индексі $LPI = 1,000$ мәнін құрайды. Осы екі компоненттің үйлесуі Талдықорғанды облыстың негізгі геодемографиялық және еңбек ресурстары шоғырланған орталығына айналдырады. Өңірлік даму теориясына сәйкес мұндай орталықтар инновациялық қызметтер мен басқарушылық функциялардың шоғырлану нүктесіне айналады (Rodríguez-Pose, 2018; OECD, 2021).

Панфилов ауданы да IGDPI шкаласы бойынша жоғары көрсеткішке ие (0,744). Бұл жерде $IGU = 0,862$ – облыс бойынша ең жоғары демографиялық индекс. Яғни табиғи өсім жоғары, халықтың жас құрылымы салыстырмалы түрде жас және еңбек жасындағы тұрғындар үлесі басым. Дегенмен еңбек әлеуетінің интегралды индексі $LPI = 0,588$ деңгейінде қалып, жалпы IGTDI мәнін төмендетеді. Бұл өндірістік кәсіпорындар мен жоғары өнімді жұмыс орындарының жеткіліксіздігін көрсетеді. Бұл жағдай «демографиялық артықшылық – экономикалық әлсіздік» типіне жатады. Сондықтан негізгі мәселе – артық еңбек ресурстарының сыртқа кетуі. Бұл тәуекелді азайту үшін ауданның шекаралық орналасуын пайдаланып, логистика, сауда, өңдеу өнеркәсібі және агробизнес кластерлерін дамыту қажет.

Көксу және Сарқан аудандары өтпелі даму типіне жатады. Бұл аумақтарда табиғи өсім оң болғанымен ($IGU = 0,578$ және $0,478$), көші-қонның теріс сальдосы демографиялық тұрақтылықты әлсіретеді. Сонымен қатар LPI мәндерінің орташа деңгейде болуы ($0,263$ және $0,325$) еңбек әлеуетінің толық іске аспағанын көрсетеді. Бұл аудандарда негізгі проблема – экономиканың тар құрылымы және тұрақты жұмыс орындарының жетіспеушілігі. Сондықтан оларды «жасырын әлеуеті бар аумақтар» ретінде қарастыруға болады. Мұнда агроөнеркәсіптік өңдеу, шағын және орта бизнес, жергілікті өндірістерді дамыту арқылы еңбек ресурстарын ұстап қалу мүмкін.

Алакөл ауданы ерекше типті көрсетеді. Мұнда табиғи өсім сақталғанымен ($IGU = 0,483$), көші-қонның теріс сальдосы және маусымдық экономикалық құрылым тұрақтылықты шектейді. $LPI = 0,273$ болуы еңбек нарығының тұрақсыз екенін көрсетеді. Туризмнің дамуы еңбек әлеуетіне әсер еткенімен, оның маусымдық сипаты тұрақты жұмыспен қамтуды қамтамасыз етпейді. Сондықтан негізгі шешім – туризмді маусымдық модельден жыл бойғы қызмет көрсету жүйесіне көшіру, сонымен қатар көлік-логистика және қайта өңдеу секторларын дамыту (Зубаревич, 2019; OECD, 2021).

Кербұлақ ауданы демографиялық әлеует пен экономикалық әлсіздіктің арасындағы ең айқын дисбалансты көрсетеді. Табиғи өсім жоғары болғанымен, көші-қон шығыны өте жоғары, ал $LPI = 0,050$ – ең төмен көрсеткіштердің бірі. Бұл ауданнан еңбек ресурстарының жаппай кетіп

жатқанын көрсетеді. Мұндай жағдайда негізгі мәселе – жұмыс орындарының болмауы. Шешім ретінде ауыл шаруашылығы өнімдерін өңдеу, жергілікті өндірістерді дамыту және инфрақұрылымды жақсарту қажет.

Қаратал ауданы «қос әлсіздік» типіне жатады: $IGU = 0,312$ және $LPI = 0,269$. Бұл жерде демографиялық база да, еңбек нарығы да әлсіз. Мұндай аумақтарда экономикалық және әлеуметтік саясат қатар жүргізілуі тиіс. Атап айтқанда, суармалы егіншілік, агроөнеркәсіптік кешенді дамыту және әлеуметтік инфрақұрылымды күшейту маңызды.

Ескелді және Ақсу аудандары демографиялық база сақталғанымен, еңбек нарығы әлсіз аумақтар болып табылады. Табиғи өсім оң болғанымен, көші-қонның тұрақты теріс сальдосы байқалады. LPI мәндерінің өте төмен болуы (0,061 және 0,076) экономикалық белсенділіктің жеткіліксіздігін көрсетеді. Бұл аудандарда негізгі мәселе – жастардың кетуі. Сондықтан еңбек ресурстарын ұстап қалу үшін жергілікті

жұмыспен қамтуды кеңейту, шағын бизнес пен қызмет көрсету секторын дамыту қажет (Жетісу облысы әкімдігі, 2025).

Текелі қаласы ең күрделі жағдайды көрсетеді. Мұнда демографиялық құлдырау ($IGU = 0,203$) және монофункционалды экономика қатар байқалады. LPI салыстырмалы түрде жоғары болғанымен (0,278), бұл жалпы тұрақтылықты көтеруге жеткіліксіз. Бұл классикалық монокала проблемасы. Шешім ретінде экономиканы әртараптандыру, жаңа өндірістер мен сервистік секторларды дамыту, сондай-ақ халықтың кетуін азайтуға бағытталған саясат қажет.

1-сурет нәтижелері бұл айырмашылықтарды кеңістіктік тұрғыдан толық растайды. Жоғары тұрақтылық аймақтары орталықта шоғырланып, ал төмен тұрақтылық перифериялық аумақтарға тән. Бұл Жетісу облысында «ядро–периферия» құрылымының қалыптасқанын көрсетеді (Қазақстан Республикасы Ұлттық статистика бюросы, 2025).

5-кесте

Аудандар мен қалалардың экономикалық профилі

Аймақ	Басым салалар	Тірек кәсіпорын/нысан (жалпы)
Панфилов ауданы	Шекара маңы сауда–логистика, көлік, қызмет көрсету	Қорғас бағыты (логистикалық тораптар, сервистер)
Алакөл ауданы	Туризм–рекреация (Алакөл), қызмет көрсету; балық шаруашылығы; агросектор	Туристік инфрақұрылым, шағын сервис бизнес
Көксу ауданы	Агроөнеркәсіп (қант қызылшасы), өңдеу өнеркәсібі	Қант өндірісімен байланысты өңдеу/логистика
Ақсу ауданы	Агроөнеркәсіп (қант қызылшасы), өңдеу өнеркәсібі	Қант өндірісімен байланысты өңдеу/логистика
Ескелді ауданы	Ауыл шаруашылығы (егін, мал), өңдеуші секторға шикізат базасы	Агро кооперация және өңдеуші кәсіпорындарға жеткізу тізбегі
Қаратал ауданы	Суармалы егіншілік, агросектор, ШОБ	Агроөнеркәсіптік өндіріс тізбегі (өңдеу/сақтау)
Кербұлақ ауданы	Ауыл шаруашылығы, ШОБ, әртараптандыру жобалары	Инвестициялық жобалар, агро және сервистік сектор
Сарқан ауданы	Ауыл шаруашылығы, ШОБ, сервистер	Агро және сервистік кәсіпкерлік
Талдықорған қаласы	Өңірлік орталық: қызмет көрсету, сауда, құрылыс, өңдеу өнеркәсібі, білім/медицина	Әкімшілік-іскерлік және сервистік хаб (еңбек нарығының тартылу орталығы)
Текелі қаласы	Өнеркәсіптік қала: тау-кен, өңдеу, энергетика, сервистер	Тау-кен/өңдеу дәстүрі (монокалалық тәуекелдермен бірге)

Ескерту: авторлармен құрастырылған.

Экономикалық мамандану еңбек әлеуетінің аумақтық қалыптасуын тікелей айқындайды. Талдықорған қаласында сервистік және әкімшілік функциялар еңбек нарығын кеңейтіп,

мамандарды тартатын орталық рөл атқарады. Панфилов ауданында логистика мен шекаралық сауда жұмыс орындарының құрылымын қалыптастырып, көші-қон тартымдылығына

әсер етеді. Ақсу мен Көксу аудандарындағы агроөңдеу (әсіресе қант қызылшасы тізбегі) маусымдық және тұрақты жұмыспен қамтуды үйлестіре отырып, ауылдық еңбек ресурстарын ұстап қалу құралы бола алады. Алакөл ауданы үшін туризм–рекреация саласы қызмет көрсетуге негізделген жаңа жұмыс орындарын құрудың басты бағыты болса, Текелі қаласы сияқты өнеркәсіптік моноқалаларда еңбек әлеуетін орнықтыру үшін экономиканы әртараптандыру және жоғары өнімді жұмыс орындарын көбейту шешуші рөл атқарады.

Жетісу өңірі үшін басым бағыттар ретінде агроөнеркәсіптік кешенді өңдеу, логистика және қоймалау, құрылыс материалдары өндірісі, туристік сервис, сондай-ақ жаңартылатын энергетика бағыттары қарастырылады. АӨК-өңдеу (қант қызылшасы, сүт-ет, жеміс-көкөніс, дән өнімдері) ауылдық аудандарда еңбек әлеуетін бекітудің маңызды құралдарының бірі болып табылады. Маусымдық жұмысты тұрақты жұмыспен қамтуға айналдыру үшін сақтау-сұрыптау-қаптама инфрақұрылымы, тоңазытқыш қоймалар және сапа сертификаттау жүйесін дамыту қажет. Бұл бағыт Ақсу, Көксу, Ескелді, Қаратал және Кербұлақ аудандарында ауыл шаруашылығы кооперацияларын дамытуға мүмкіндік береді (Татаркин, 2016; Ахметов, 2018).

Панфилов ауданында шекаралық-транзиттік фактор еңбек нарығын әртараптандыруға мүмкіндік береді. Логистикалық-кедендік сервистер, қойма-тарату орталықтары және шағын өңдеу кәсіпорындары жаңа жұмыс орындарын қалыптастыра алады. Мұнда кадрларға қойылатын талаптар негізінен орта біліктілік деңгейіндегі мамандарға бағытталады (қоймашылар, жүргізушілер, экспедиторлар, кедендік брокер көмекшілері) және қауіпсіздік пен сапа стандарттарын сақтаумен байланысты.

Талдықорған қаласы мен оның маңындағы құрылыс белсенділігі инертті материалдар, бетон бұйымдары, құрғақ қоспалар, кірпіш және шағын металл конструкциялар өндірісіне тұрақты сұраныс қалыптастырады. Бұл сала жұмыспен қамту мультипликаторы жоғары және шағын-орта бизнес кооперациясын дамытуға қолайлы.

Алакөл бағыты және таулы рекреациялық ресурстар аудандық экономиканы әртараптандырудың маңызды факторы болып табылады. Туризмнің еңбек әлеуетіне әсері көбінесе маусымдық сипатта болғандықтан, сервисті

«төрт маусым» моделіне көшіру (денсаулық-сауықтыру туризмі, экотуризм, спорттық және мәдени іс-шаралар) қажет. Сонымен қатар жергілікті өнімдермен кооперация құру туризмнің мультипликативтік әсерін күшейтуге мүмкіндік береді (Жетісу облысы әкімдігі, 2025).

Ауылдық және шеткері аумақтарда жаңартылатын энергия көздері жобалары энергия тұрақтылығын арттырып, жергілікті сервистік тізбек арқылы қосымша жұмыспен қамтуды қалыптастырады (монтаж, техникалық қызмет көрсету, логистика). Дегенмен жаңартылатын энергетиканың тікелей жұмыспен қамту әсері салыстырмалы түрде шектеулі болғандықтан, негізгі нәтиже өңдеу және сақтау инфрақұрылымын тұрақты энергиямен қамтамасыз ету арқылы экономикалық белсенділікті арттыру болып табылады (OECD, 2021; IEA, 2022).

Қорытынды

Жетісу облысының аудандық деңгейдегі геодемографиялық тұрақтылығы біркелкі емес екені анықталды. 2000–2025 жылдар аралығында Талдықорған қаласы өңірдің негізгі өсу орталығы ретінде қалыптасып, демографиялық және еңбек әлеуетінің шоғырлану аймағына айналды. Панфилов ауданы демографиялық көрсеткіштер бойынша жоғары әлеуетке ие болғанымен, көші-қонның теріс сальдосы еңбек ресурстарының тұрақтылығына әсер ететін фактор болып отыр. Жалпы алғанда, 2025 жылғы компоненттік талдау табиғи өсімнің барлық аудандарда оң екенін, алайда көші-қон шығындарының көптеген аумақтарда еңбек әлеуетінің әлсіреуіне ықпал ететінін көрсетті (Қазақстан Республикасы Ұлттық статистика бюросы, 2025а; Нүсіпова, 2018; Жолдасбаева және Төлеубаева, 2022).

Зерттеу нәтижелері Жетісу облысының аумақтық құрылымы «ядро–периферия» типіне жақын екенін көрсетті. IGDPI мәндері бойынша Талдықорған қаласы, сондай-ақ Панфилов және Алакөл аудандары демографиялық және еңбек ресурстарын тартатын негізгі орталықтар ретінде айқындалды. Ақсу, Ескелді, Кербұлақ, Көксу және Сарқан аудандары салыстырмалы түрде тұрақты, бірақ инерциялық даму сипатымен ерекшеленеді. Ал Текелі қаласы мен Қаратал ауданы IGDPI бойынша төмен тұрақты аумақтар қатарына жатады, бұл жерде демографиялық құлдырау мен еңбек нарығының

әлсіздігі өзара күшейетін фактор ретінде байқалады.

Жүргізілген талдау интегралды геодемографиялық-еңбек индексінің өңірлік еңбек әлеуетін бағалауда тиімді құрал екенін көрсетті. Индекс табиғи өсім, көші-қон және еңбек нарығы көрсеткіштерін біріктіре отырып, аумақтардың салыстырмалы артықшылықтары мен тәуекелдерін кешенді түрде анықтауға мүмкіндік береді. Бұл өз кезегінде еңбек ресурстарын орналас-тыру, инфрақұрылымды дамыту және инвестициялық басымдықтарды анықтау сияқты өңірлік саясат шешімдерін ғылыми негіздеуге жағдай жасайды (OECD, 2008; Bandura, 2008; Greco et al., 2019).

Сонымен қатар зерттеу нәтижелері еңбек әлеуетін дамытуда экономикалық мамандану маңызды рөл атқаратынын көрсетті. Жетісу облысы үшін агроөнеркәсіптік өңдеу, логистика-қойма инфрақұрылымы, құрылыс материалдары өндірісі, туризм және жаңартылатын энергетика бағыттары өңірлік еңбек ресурстарын тиімді пайдаланудың негізгі факторлары ретінде қарастырылады (Boschma, 2017; Bathelt & Glückler, 2018; OECD, 2021; Жетісу облысы әкімдігі, 2023).

Зерттеу нәтижелері негізінде Жетісу облысының еңбек әлеуетін жоспарлау мен дамыту үшін келесі ұсыныстар берілді:

1. IGDPI индикаторын өңірлік мониторинг жүйесіне енгізу.

Демографиялық және еңбек процестерін тұрақты бақылау мақсатында индексті жыл сайын есептеп, өңірлік даму бағдарламаларына енгізу ұсынылады (OECD, 2008; Burlakova, 2020).

2. Жоғары IGDPI бар аумақтарды өсу полюстері ретінде дамыту.

Талдықорған қаласы, Панфилов және Алакөл аудандарында жоғары қосылған құны бар өндірістер мен сервистік секторды дамыту қажет (Ахметов, 2018; OECD, 2021; Farole & Rodríguez-Pose, 2015).

3. Орташа тұрақты аудандарда экономиканы өртартапандыру.

Ақсу, Ескелді, Кербұлақ, Көксу және Сарқан аудандарында агроөнеркәсіптік өңдеу, ауыл сервистері және шағын кәсіпкерлікті дамыту маңызды (Barca et al., 2012; Boschma, 2017;).

4. Төмен IGDPI бар аумақтарды мақсатты қолдау.

Текелі қаласы мен Қаратал ауданында инфрақұрылымды дамыту, инвестициялық ынталандыру және әлеуметтік сала мамандарын тарту шараларын күшейту қажет (Қазақстан Республикасы Еңбек және халықты әлеуметтік қорғау министрлігі, 2023).

5. Көші-қон саясатын еңбек әлеуетін жоспарлаумен үйлестіру.

Жастар мен білікті мамандарды өңірде ұстап қалу және жаңа еңбек ресурстарын тарту шараларын IGDPI кеңістіктік үлгісімен байланыстыру қажет.

Ғылыми жаңалығы

Зерттеудің ғылыми жаңалығы Жетісу облысының аудандық деңгейіндегі геодемографиялық тұрақтылық пен еңбек әлеуетінің өзара байланысын интегралды индекстік тәсіл арқылы кешенді бағалауда көрінеді. Зерттеу барысында алғаш рет өңірлік деңгейде демографиялық үдерістер мен еңбек нарығы көрсеткіштерін біріктіретін интегралды геодемографиялық-еңбек индексі (IGDPI) есептеліп, оның кеңістіктік таралу ерекшеліктері анықталды (OECD, 2008; Bandura, 2008; Greco et al., 2019).

Сонымен қатар Жетісу облысының аудандары мен қалаларының геодемографиялық тұрақтылығы «ядро–периферия» үлгісі негізінде талданып, еңбек әлеуетінің аумақтық шоғырлану заңдылықтары айқындалды. Индекстік талдау нәтижесінде өңірдегі демографиялық өсім мен көші-қон үдерістерінің еңбек ресурстарының қалыптасуына әсері жүйелі түрде бағаланып, еңбек әлеуетін жоспарлаудың кеңістіктік ерекшеліктері анықталды (Минакир, 2017; Rodríguez-Pose, 2018; Нүсіпова, 2018).

Практикалық маңыздылығы

Зерттеу нәтижелері Жетісу облысында еңбек әлеуетін жоспарлау және өңірлік даму саясатын қалыптастыру барысында қолдануға болатын ғылыми-талдамалық негіз болып табылады. Ұсынылған интегралды геодемографиялық-еңбек индексі демографиялық және еңбек нарығы көрсеткіштерін кешенді түрде бағалауға мүмкіндік беріп, өңірлік әлеуметтік-экономикалық даму бағдарламаларын әзірлеу кезінде қолданылуы мүмкін (Жетісу облысы әкімдігі, 2023; Қазақстан Республикасы Еңбек және халықты әлеуметтік қорғау министрлігі, 2023; OECD, 2021).

Зерттеу нәтижелері өңірлік басқару органдары үшін еңбек ресурстарын тиімді орналас-тыру, көші-қон саясатын жетілдіру, инфрақұ-рылымдық жобаларды жоспарлау және инве-стициялық басымдықтарды айқындау барысында практикалық маңызға ие. Сонымен қатар ұсынылған әдістемелік тәсіл Қазақстанның басқа өңірлерінде де геодемографиялық тұрақтылық пен еңбек әлеуетін бағалау үшін қолданылуы мүмкін (Burlakova, 2020; Greco et al., 2019; Нүсіпова және Қайырбеков, 2019).

Мүдделер қақтығысы

Авторлар мүдделер қақтығысының жоқ екенін мәлімдейді.

Авторлардың үлесі:

Тұжырымдаманы әзірлеу – Г.Н. Нүсіпова, А. Нұрболқызы; Әдіснама – Г.Н. Нүсіпова, А. Нұрболқызы; Формалды талдау – А. Нұр-болқызы; Зерттеу – А. Нұрболқызы; Деректерді жинау және өңдеу – А. Нұрболқызы; Нәтиже-лерді интерпретациялау – Г.Н. Нүсіпова, А. Нұр-болқызы; Мақаланың бастапқы нұсқасын жазу – А. Нұрболқызы; Қарау және редакциялау – Г.Н. Нүсіпова; Визуализация – Ә.Қ. Сарсем-баева; Ғылыми кеңес беру және нәтижелерді талқылау – Ш. Жумагулов, Г.К. Бидайбекова; Ғылыми жетекшілік – Г.Н. Нүсіпова; Жобаны басқару – Г.Н. Нүсіпова.

Әдебиеттер

- Ахметов К. Қазақстан өңірлерінің әлеуметтік-экономикалық дифференциациясы // ҚазҰУ хабаршысы. Экономика сериясы. – 2018. – № 1. – Б. 77–86. – DOI: <https://doi.org/10.26577/JEc.2018.v119.i1.08>
- Бурлакова Н.А. Композиттік индекстер в региональных исследованиях // Региональная экономика: теория и практика. – 2020. – Т. 18. – № 5. – С. 921–936. – DOI: <https://doi.org/10.24891/re.18.5.921>
- Жетісу облысы әкімдігі. Жетісу облысының 2023–2029 жылдарға арналған әлеуметтік-экономикалық даму бағдарламасы. – Талдықорған, 2023.
- Жолдасбаева Г., Төлеубаева Л. Жетісу облысының демографиялық дамуы // География және табиғатты пайдалану. – 2022. – № 1(68). – Б. 25–34.
- Зубаревич Н.В. Региональное развитие и демографические процессы // Региональные исследования. – 2019. – № 2. – С. 5–17.
- Медков В.М. Демография. – Москва: ИНФРА-М, 2014. – 432 с.
- Минакир П.А. Пространственная экономика и региональная политика // Пространственная экономика. – 2017. – № 3. – С. 7–22. – DOI: <https://doi.org/10.14530/se.2017.3.007-022>
- Нигматуллин Р.И. Демографические вызовы и рынок труда // Экономика региона. – 2018. – Т. 14. – № 3. – С. 879–892. – DOI: <https://doi.org/10.17059/2018-3-20>
- Нүсіпова Г.Н. Геодемографиялық даму теориясы. – Алматы: Қазақ университеті, 2013.
- Нүсіпова Г.Н. Геодемографиялық даму және өңірлік ерекшеліктер. – Алматы: Қазақ университеті, 2018.
- Нүсіпова Г.Н., Қайырбеков А. Қазақстан өңірлерінің демографиялық даму ерекшеліктері // ҚазҰУ хабаршысы. География сериясы. – 2019. – № 2(53). – Б. 4–13.
- Римашевская Н.М. Демография и социальное развитие. – Москва: Наука, 2009. – 256 с.
- Татаркин А.И. Пространственное развитие и человеческий капитал // Экономика региона. – 2016. – Т. 12. – № 1. – С. 10–25. – DOI: <https://doi.org/10.17059/2016-1-1>
- Қазақстан Республикасы Еңбек және халықты әлеуметтік қорғау министрлігі. Халықты жұмыспен қамтуды дамыту тұжырымдамасы. – Астана, 2023.
- Қазақстан Республикасы Ұлттық статистика бюросы. Қазақстанның демографиялық жылнамасы 2025. – Астана, 2025.
- Қазақстан Республикасы Ұлттық статистика бюросы. Қазақстан Республикасының еңбек нарығы 2025. – Астана, 2025.
- Bandura R. A Survey of Composite Indices Measuring Country Performance. – New York: UNDP, 2008.
- Barca F., McCann P., Rodríguez-Pose A. The case for regional development intervention // Regional Studies. – 2012. – Vol. 46. – No. 1. – P. 134–152. – DOI: <https://doi.org/10.1080/00343404.2011.607423>
- Crescenzi R., Rodríguez-Pose A. Infrastructure and regional growth in the European Union // Journal of Economic Geography. – 2012. – Vol. 12. – No. 2. – P. 379–407. – DOI: <https://doi.org/10.1093/jeg/lbr033>
- Gale C., Singleton A., Bates A. Geodemographics and labour markets // Applied Spatial Analysis and Policy. – 2016. – Vol. 9. – P. 1–20. – DOI: <https://doi.org/10.1007/s12061-015-9153-4>
- Greco S., Ishizaka A., Tasiou M., Torrisi G. On the methodological foundations of composite indicators // Social Indicators Research. – 2019. – Vol. 141. – P. 61–94. – DOI: <https://doi.org/10.1007/s11205-017-1832-9>
- Iammarino S., Rodríguez-Pose A., Storper M. Regional inequality in Europe // Journal of Economic Geography. – 2019. – Vol. 19. – No. 2. – P. 273–298. – DOI: <https://doi.org/10.1093/jeg/lby021>
- International Labour Organization (ILO). World Employment and Social Outlook: Trends 2022. – Geneva, 2022.
- Lee E.S. A theory of migration // Demography. – 1966. – Vol. 3. – No. 1. – P. 47–57. – DOI: <https://doi.org/10.2307/2060063>

- Nicolini R., Pellegrini G., Beltrami F. Population ageing and regional economic growth // *European Economic Review*. – 2022. – Vol. 148. – DOI: <https://doi.org/10.1016/j.euroecorev.2022.104241>
- OECD. Handbook on Constructing Composite Indicators. – Paris, 2008. – DOI: <https://doi.org/10.1787/9789264043466-en>
- OECD. Regions and Cities at a Glance. – Paris, 2021.
- Rodríguez-Pose A. The revenge of the places that don't matter // *Cambridge Journal of Regions, Economy and Society*. – 2018. – Vol. 11. – No. 1. – P. 189–209. – DOI: <https://doi.org/10.1093/cjres/rsx024>
- Singleton A., Spielman S. The past, present and future of geodemographics // *Geography Compass*. – 2014. – Vol. 8. – No. 7. – P. 504–516. – DOI: <https://doi.org/10.1111/gec3.12148>
- United Nations Development Programme (UNDP). Human Development Report 2023/2024. – New York, 2023.

References

- Akhmetov K. Socio-economic differentiation of regions of Kazakhstan. *Vestnik KazNU. Economic Series*, 2018, no.1, pp.77–86. DOI: <https://doi.org/10.26577/JEc.2018.v119.i1.08>
- Bandura R. A Survey of Composite Indices Measuring Country Performance. New York: UNDP, 2008.
- Barca F., McCann P., Rodríguez-Pose A. The case for regional development intervention: place-based versus place-neutral approaches. *Regional Studies*, 2012, vol.46, no.1, pp.134–152. DOI: <https://doi.org/10.1080/00343404.2011.607423>
- Bureau of National Statistics of the Republic of Kazakhstan. Demographic Yearbook of Kazakhstan 2025. Astana, 2025a.
- Bureau of National Statistics of the Republic of Kazakhstan. Labour Market of the Republic of Kazakhstan 2025. Astana, 2025b.
- Burlakova N.A. Composite indices in regional studies. *Regional Economics: Theory and Practice*, 2020, vol.18, no.5, pp.921–936. DOI: <https://doi.org/10.24891/re.18.5.921>
- Crescenzi R., Rodríguez-Pose A. Infrastructure and regional growth in the European Union. *Journal of Economic Geography*, 2012, vol.12, no.2, pp.379–407. DOI: <https://doi.org/10.1093/jeg/lbr033>
- Gale C., Singleton A., Bates A. Geodemographics and labour markets. *Applied Spatial Analysis and Policy*, 2016, vol.9, pp.1–20. DOI: <https://doi.org/10.1007/s12061-015-9153-4>
- Greco S., Ishizaka A., Tasiou M., Torrisi G. On the methodological foundations of composite indicators. *Social Indicators Research*, 2019, vol.141, pp.61–94. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11205-017-1832-9>
- Iammarino S., Rodríguez-Pose A., Storper M. Regional inequality in Europe. *Journal of Economic Geography*, 2019, vol.19, no.2, pp.273–298. DOI: <https://doi.org/10.1093/jeg/lby021>
- International Labour Organization (ILO). World Employment and Social Outlook: Trends 2022. Geneva, 2022.
- Lee E.S. A theory of migration. *Demography*, 1966, vol.3, no.1, pp.47–57. DOI: <https://doi.org/10.2307/2060063>
- Medkov V.M. Demography. Moscow: INFRA-M, 2014.
- Minakir P.A. Spatial economics and regional policy. *Spatial Economics*, 2017, no.3, pp.7–22. DOI: <https://doi.org/10.14530/se.2017.3.007-022>
- Ministry of Labour and Social Protection of Population of the Republic of Kazakhstan. Employment Development Concept. Astana, 2023.
- Nicolini R., Pellegrini G., Beltrami F. Population ageing and regional economic growth. *European Economic Review*, 2022, vol.148. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.euroecorev.2022.104241>
- Nigmatullin R.I. Demographic challenges and labour market. *Economy of Region*, 2018, vol.14, no.3, pp.879–892. DOI: <https://doi.org/10.17059/2018-3-20>
- Nussupova G.N. Theory of Geodemographic Development. Almaty: Kazakh University, 2013.
- Nussupova G.N. Geodemographic Development and Regional Features. Almaty: Kazakh University, 2018.
- Nussupova G.N., Kairbekov A. Demographic features of regional development in Kazakhstan. *Vestnik KazNU. Geography Series*, 2019, no.2(53), pp.4–13.
- OECD. Handbook on Constructing Composite Indicators. Paris: OECD Publishing, 2008. DOI: <https://doi.org/10.1787/9789264043466-en>
- OECD. Regions and Cities at a Glance. Paris: OECD Publishing, 2021.
- Rimashevskaya N.M. Demography and Social Development. Moscow: Nauka, 2009.
- Rodríguez-Pose A. The revenge of the places that don't matter. *Cambridge Journal of Regions, Economy and Society*, 2018, vol.11, no.1, pp.189–209. DOI: <https://doi.org/10.1093/cjres/rsx024>
- Singleton A., Spielman S. The past, present and future of geodemographics. *Geography Compass*, 2014, vol.8, no.7, pp.504–516. DOI: <https://doi.org/10.1111/gec3.12148>
- Tatarkin A.I. Spatial development and human capital. *Economy of Region*, 2016, vol.12, no.1, pp.10–25. DOI: <https://doi.org/10.17059/2016-1-1>
- United Nations Development Programme (UNDP). Human Development Report 2023/2024. New York, 2023.
- Zholdasbaeva G., Toleubayeva L. Demographic development of Zhetysu region. *Geography and Nature Management*, 2022, no.1(68), pp.25–34.
- Zhetysu Region Akimat. Socio-economic development program of Zhetysu region for 2023–2029. Taldykorgan, 2023.

Авторлар туралы мәлімет:

Г.Н. Нүсіпова – әл-Фараби атындағы ҚазҰУ география, жерге орналастыру және кадастр кафедрасының профессоры, география ғылымдарының докторы (Алматы, Қазақстан, e-mail: gulnaran@mail.ru).

А. Нұрболқызы – әл-Фараби атындағы ҚазҰУ география, жерге орналастыру және кадастр кафедрасының «География» мамандығы бойынша докторанты (Алматы, Қазақстан, e-mail: aikenti1987@inbox.ru).

А.К. Сарсембаева – әл-Фараби атындағы ҚазҰУ география, жерге орналастыру және кадастр кафедрасының «География» мамандығы бойынша докторанты (Алматы, Қазақстан, e-mail: a.sarsembayeva.kz@gmail.com).

Г.К. Бидайбекова – әл-Фараби атындағы ҚазҰУ география, жерге орналастыру және кадастр кафедрасының «География» мамандығы бойынша магистранты (Алматы, Қазақстан, e-mail: Life87_87@mail.ru).

Ш. Жұмагулов – әл-Фараби атындағы ҚазҰУ философия докторы (PhD) (Алматы, Қазақстан, e-mail: c.zhumagulov@gmail.com).

Information about the authors:

G.N. Nyussipova – Professor of the Department of Geography, Land Management and Cadastre, Al-Farabi Kazakh National University, Doctor of Geographical Sciences (Almaty, Kazakhstan, e-mail: gulnaran@mail.ru).

A. Nurbolkyzy – PhD doctoral student in Geography at the Department of Geography, Land Management and Cadastre, Al-Farabi Kazakh National University (Almaty, Kazakhstan, e-mail: aikenti1987@inbox.ru).

A.K. Sarsembayeva – 3PhD doctoral student in Geography at the Department of Geography, Land Management and Cadastre, Al-Farabi KazNU (Almaty, Kazakhstan, e-mail: a.sarsembayeva.kz@gmail.com).

G.K. Bidaibekova – 4Master of Geography at the Department of Geography, Land Management and Cadastre, Al-Farabi KazNU (Almaty, Kazakhstan, e-mail: Life87_87@mail.ru).

Ch. Zhumagulov – PhD Al-Farabi Kazakh National University (Almaty, Kazakhstan, e-mail: c.zhumagulov@gmail.com).

Сведения об авторах:

Г.Н. Нюсупова – профессор кафедры географии, землеустройства и кадастра Казахского национального университета имени аль-Фараби, доктор географических наук (Алматы, Казахстан, e-mail: gulnaran@mail.ru).

А. Нурболқызы – докторант по специальности «География» кафедры географии, землеустройства и кадастра Казахского национального университета имени аль-Фараби (Алматы, Казахстан, e-mail: aikenti1987@inbox.ru).

А.К. Сарсембаева – докторант по специальности «География» кафедры географии, землеустройства и кадастра КазНУ имени аль-Фараби (Алматы, Казахстан, e-mail: a.sarsembayeva.kz@gmail.com).

Г.К. Бидайбекова – магистрант по специальности «География» кафедры географии, землеустройства и кадастра КазНУ имени аль-Фараби (Алматы, Казахстан, e-mail: Life87_87@mail.ru).

Ч. Жұмагулов – доктор философии (PhD) КазНУ имени аль-Фараби (Алматы, Казахстан, e-mail: c.zhumagulov@gmail.com).

Келіп түсті: 11 қаңтар 2026 жыл

Қабылданды: 25 сәуір 2026 жыл

М.Г. Мустафаев

Институт Географии Министерства науки
и образования Азербайджанской Республики, Баку, Азербайджан
e-mail: meliorasiya58@mail.ru

СОВРЕМЕННОЕ МЕЛИОРАТИВНОЕ СОСТОЯНИЕ ОРОШАЕМЫХ ЗЕМЕЛЬ КУРА-АРАКСИНСКОЙ НИЗМЕННОСТИ И ПУТИ ИХ УЛУЧШЕНИЯ (АЗЕРБАЙДЖАН)

В статье приведены материалы о засоленных почвах орошаемых земель Кура-Араксинской низменности и о причинах ее возникновения. Во время исследования также были изучены изменения водно-физических свойств почв, минерализация коллекторно-дренажных, оросительных и грунтовых вод, уровень грунтовых вод, а также засоленность почв этой территории. Результаты исследований показали, что в зависимости от степени деградации почв на этих территориях изменение их физико-химических свойств происходит следующим образом: на слабозасоленных почвах удельная масса составила 2,48–2,60 г/см³, объемная 1,20–1,30 г/см³, физическая глина 36,42–51,71%, полевая влагоемкость 32–40 %, pH 7,5–7,8, гумус –2,35–0,62 %, сумма поглощенных оснований 21,65–28,15 мг-экв., величина Na–5,28–6,12% от суммы поглощенных оснований. В среднее засоленных почвах эти показатели изменялись соответственно: 2,64–2,71 г/см³, 1,32–1,48 г/см³, 52,96–59,68 %, 41–44%, 7,6–7,9; 2,14–0,43 %, 21,0–26,13 мг-экв. и 7,12–7,94 %; а в сильно засоленных эти величины составили соответственно: 2,68–2,76 г/см³; 1,39–1,54 г/см³; 65,72–70,20 %; 44–49 %; 28,5–35,6 %; 8,0–8,6; 0,95–0,35 %, 28,50–34,60 мг-экв. и 12,50–20,71%. Результаты исследований показывают, что на данной территории в местах неудовлетворительного состояния коллекторно-дренажной и оросительных сетей выявлены повышенный уровень грунтовых вод, их минерализация и количество солей в почве. На основании проведенных исследований были предложены агромелиоративные мероприятия по улучшению мелиоративного состояния земель Кура-Араксинской низменности.

Ключевые слова: засоленные почвы, удельная масса, физические глины, объемная масса, гумус, сумма поглощенных оснований.

M.G. Mustafae

Institute of Geography of the Ministry of Science and Education of
the Republic of Azerbaijan, Baku, Azerbaijan
e-mail: meliorasiya58@mail.ru

The modern meliorative condition of irrigated lands in the Kura-Araz plain and ways to improve them

This article presents data on salinized soils in irrigated lands of the Kura-Araks Lowland and the causes of this development. The study also examined changes in the hydrophysical properties of soils, the mineralization of collector-drainage, irrigation, and groundwater, the groundwater level, and the salinity of soils in this area. The results of the research showed that depending on the degree of soil degradation in these areas, the change in their physicochemical properties occurs as follows: on slightly saline soils, the specific gravity was 2.48–2.60 g/cm³, volumetric gravity was 1.20–1.30 g/cm³, physical clay was 36.42–51.71%, field moisture capacity was 32–40%, pH was 7.5–7.8, humus was 2.35–0.62 %, the sum of absorbed bases was 21.65–28.15 mg-eq, and the Na value was 5.28–6.12% of the sum of absorbed bases. In moderately saline soils, these indicators changed respectively: 2.64–2.71 g/cm³, 1.32–1.48 g/cm³, 52.96–59.68 %, 41–44 %, 7.6–7.9; 2.14–0.43 %, 21.0–26.13 mg-eq. and 7.12–7.94 %; and in highly saline soils, these values were respectively: 2.68–2.76 g/cm³, 1.39–1.54 g/cm³, 65.72–70.20 %, 44–49 %, 28.5–35.6 %, 8.0–8.6, 0.95–0.35 %, 28.50–34.60 mg-eq. and 12.50–20.71 %. Research results show that in this area, in areas with unsatisfactory drainage and irrigation networks, elevated groundwater levels, groundwater mineralization, and soil salt levels were detected. Based on these studies, agro-reclamation measures were proposed to improve the land reclamation status of the Kura-Araks Lowland.

Keywords: Saline soils, specific totality, physical clays, volumetric mass, humus, sum of absorbed bases.

М.Г. Мустафаев

Әзірбайжан Республикасы Ғылым және
білім министрлігінің География институты, Баку, Әзірбайжан
e-mail: meliorasiya58@mail.ru

Кура-Аракс ойпатындағы суармалы жерлердегі қазіргі мелиорациялық жағдайы және оларды жақсарту жолдары (Әзірбайжан)

Бұл мақалада Кура-Аракс ойпатындағы суармалы жерлерде топырақтың тұздануы және оның себептері туралы деректер келтірілген. Зерттеу барысында сонымен қатар топырақтың гидрофизикалық қасиеттерінің, коллекторлық-дренаждың, суарудың және жер асты суларының минералдануының, жер асты суларының деңгейінің және осы аймақтағы топырақтың тұздануының өзгерістері қарастырылды. Зерттеу нәтижелері көрсеткендей, бұл аумақтардағы топырақтардың деградация дәрежесіне байланысты олардың физико-химиялық қасиеттерінің өзгеруі келесідей болады: аздап тұздалған топырақтарда меншікті салмағы 2,48–2,60 г/см³, көлемі – 1,20–1,30 г/см³, физикалық саз – 36,42–51,71%, далалық ылғал сыйымдылығы – 32–40%, рН 7,5–7,8, гумус – 2,35–0,62%, сіңірілген негіздердің қосындысы – 21,65–28,15 мг-экв, Na қосындысы – сіңірілген негіздердің қосындысының 5,28–6,12%. Орташа тұздалған топырақтарда бұл көрсеткіштер сәйкесінше өзгерді: 2,64–2,71 г/см³, 1,32–1,48 г/см³, 52,96–59,68%, 41–44%, 7,6–7,9; 2,14–0,43%, 21,0–26,13 мг-экв. және 7,12–7,94%; ал қатты тұзды топырақтарда олардың мәндері: 2,68–2,76 г/см³, 1,39–1,54 г/см³, 65,72–70,20%; 44–49%; 28,5–35,6%; 8,0–8,6; 0,95–0,35%, 28,50–34,60 мг-экв. және 12,50–20,71%. Зерттеу нәтижелері дренаж және суару желілерінің нашар жағдайда тұрған бұл аймақта жер асты суларының деңгейінің жоғарылауы, топырақтың минералдануы және топырақтың тұздылығы анықталғанын көрсетеді. Осы зерттеулерге сүйене отырып, Кура-Аракс ойпатының мелиорациялық жағдайын жақсартуға бағытталған агро-мелиорациялық шаралар ұсынылды.

Түйін сөздер: тұзды топырақ, меншікті салмағы, физикалық саз, көлемдік тығыздық, гумус, жалпы сорбциялық негіздер.

Введение

Как известно, в орошаемом земледелии причиной засоления почв, особенно в условиях плохой дренированности, является не столько орошение как таковое, а наличие солей в почвогрунтах. Орошение главным образом перераспределяет запасы солей, имеющиеся в почвах. Засоленные почвы в Азербайджане распространены в основном на Кура-Араксинской низменности, занимающей важное место в экономике республики. В ее пределах размещены основные районы хлопководства и других сельскохозяйственных культур. В связи с засоленностью почв грунтовой толщии развитие орошаемого хозяйства на Кура-Араксинской низменности с самого начала столкнулось с необходимостью проведения больших мелиоративных работ.

Весьма существенный интерес для мелиорации засоленных земель Кура-Араксинской низменности представляют вопросы о происхождении огромных масс солей, содержащихся в почвах, грунтах и грунтовых водах. Засоление почв Кура-Араксинской низменности – это очень серьезная проблема, при которой около 60–65% земель региона подвержены накоплению солей, что снижает их плодородие и представляет угро-

зу для сельского хозяйства (Азизов, 2006, 260; Волобуев, 1965, 246; Мустафаев, 2010, 31–38).

В настоящее время приходится изучать не только непосредственное влияние мелиорации на почву, но и влияние мелиорации на весь экогеографический ландшафт и возникающее вследствие этого влияние на процессы, протекающие в засоленных почвах. Научные исследования мелиораторов в последние годы были сосредоточены, главным образом, на определении величины промывных норм, а такие вопросы, как опреснение почвогрунтов и грунтовых вод вглубь под влиянием оросительных вод на фоне дренажных почт почти не изучались.

В связи с этим нами были изучены изменения засоления почв и минерализации грунтовых вод Кура-Араксинской низменности и представлены комплексные мероприятия для улучшения мелиоративного состояния этих земель.

Объекты и методы исследований

Исследования проводились на орошаемых массивах Кура-Араксинской низменности в характерных местах, на площадях, используемых под различные сельскохозяйственные культуры (в 2021–2025 годах).

Исследования изменения засоления почвогрунтов и минерализации грунтовых вод проведены на основе изучения результатов солевых съемок в масштабе 1:10000 и заложено 50 разрезов. Почвенные образцы для химического анализа были взяты через 25 см до первого метра и далее через 50 см до глубины 2,0 метров. Анализ почв по засолению показывает, что содержание хлор-иона очень разнообразно по своей величине и зависит от величины содержания солей. Чем больше содержание солей, тем больше содержание хлор-иона. Также ведет себя катион магния. Катион магния хорошо коррелирует со степенью засоления

Водная вытяжка почв, взятые пробы оросительных, грунтовых и дренажных вод определялись по общепринятой методике Е.В. Аринушкиной (Аринушкина, 1970, 488): ионы CO_3 и HCO_3 титрованием серной кислотой; Cl^- – аргентиометрическим методом Мора; сумма ионов Са и Мд – трилонометрическим; SO_4 – объемным и $\text{Na}+\text{K}$ – разности суммы катионов и анионов. Объемная масса почвы определялась по методу К.А. Качинского (Качинский, 1965, 324); удельная масса – по методу С.И. Долгова; гранулометрический состав – по методу пипетки с обработкой 1,0 %-го раствора NaCl , а также в соответствии с ареометрическим методом по ГОСТу 12536-2014 и ISO 11277-2009; гумус – по методу И.В. Тюрина; pH – потенциометрическим. Состав поглощенных оснований определялся извлечением из почвы поглощенных Са и Mg по методу Д.И. Иванова; обменный натрий – по К.К. Гедройцу, pH – потенциометрическим способом.

Результаты исследований и их обсуждение

Кура-Араксинская низменность расположена в восточной части Азербайджана, между Каспийским морем и горными системами Большого и Малого Кавказа. Земельный фонд Кура-Араксинской низменности составляет 21536 км² или 24,5% всей площади Азербайджана. Климат низменности относится к субтропическому сухому, теплему, континентальному. Лето сухое и жаркое, зима относительно теплая и малоснежная. Среднегодовая температура на низменности колеблется в пределах от +14,5°C до +16°C. Сумма эффективной температуры обеспечивает возможность возделывания ценных технических и теплолюбивых культур. В Кура-Араксинской низменности сероземный тип (Cleyis Calcisols) почвообразования формируется в качестве ос-

новного зонального почвенного типа. Среди сероземных почв низменности в основном распространены лугово-сероземные и сероземно-луговые почвы. Под влиянием разной интенсивности увлажнения в аллювиальном ряду луговых почв формируются луговые светлые, луговые темные, лугово-болотные и болотные. Сероземные почвы, имея небольшой запас гумуса и питательных элементов, по своему потенциальному плодородию уступают другим типам полупустынной зоны. Запасы гумуса в слое 0–20 см не превышает 30–65 т/га, гидролизующего азота 100–150 мг/кг, усвояемого фосфора 5–40, обменного калия 200–400 мг/кг (Волобуев, 1965, 246). Величина pH изменяется от 7,2–8,2. По гранулометрическому составу профиль описываемых почв хорошо дифференцирован. Некоторое повышенное содержание илистой фракции < 0,001 отмечается в горизонте Bt. Описываемые почвы являются тяжелоглинистыми и глинистыми (Азизов, 2006, 260; Мустафаев, 2010, 31–38).

Геоморфология Кура-Араксинской низменности характеризуется как аккумулятивная равнина, сформированная реками Курой и Араксом, с широкими долинами, сливающимися к Каспию, и включает аллювиальные равнины, дельты, прибрежно-морские террасы и предгорные равнины, с постепенным понижением к востоку, где она граничит с Каспием и Прикаспийской низменностью, а также обрамлена Большим Кавказом, Малым Кавказом и Талышскими горами.

Центральные части заняты широкими, плоскими долинами рек Куры и Аракса, с пойменными террасами, старицами и дельтовыми участками, где происходит накопление речных отложений. На востоке низменность расширяется, формируя обширные дельты и прибрежные полосы, связанные с Каспийским морем.

На севере и западе, у подножия Большого и Малого Кавказа, формируются конусы выноса и предгорные равнины, где происходит накопление грубого аллювия. Многочисленные речные террасы (надпойменные) показывают стадии врезания рек и древние уровни поймы, а морские террасы свидетельствуют об изменении уровня Каспийского моря. Кура-Араксинская низменность представляет собой сложную аккумулятивную систему, где преобладают процессы накопления осадочного материала реками из горных районов и накопления морских осадков на востоке, что приводит к постоянному понижению и расширению равнины в сторону Каспия.

Засоление почв Кура-Араксинской низменности – это широко распространенная проблема, обусловленная аридным климатом (недостаток осадков, высокое испарение) и близостью засоленных грунтовых вод к поверхности, которые поднимаются капиллярно, оставляя соли при испарении; усугубляется неправильным орошением, особенно водой из Аракса и Куры с высоким содержанием солей, что привело к образованию солончаков и солонцов, требующих мелиорации и дренажа. Засоление почв в аридной зоне является одним из главных факторов, снижающих продуктивность орошаемых земель. Оно возникает за счет перераспределения легкорастворимых солей, накопленных в толще четвертичных отложений в геологическом периоде их формирования (Волобуев, 1965, 246).

В настоящее время на дренированных территориях уровень залегания грунтовых вод повсеместно ниже 2-2,5 м от поверхности почвы. Некоторые исследователи связывают снижение уровня грунтовых вод с регрессией Каспия. Однако это предположение не имеет твердых оснований; так как тогда падение уровня Каспия наиболее заметно должно было бы отразиться в низовьях Акуши, то есть в районе массива, непосредственно прилегающего к заливу им. Кирова. В действительности в течение последних лет не только в низовьях Акуши, но и по всему прилегающему к ней району значительного снижения уровня грунтовых вод не наблюдалось. На орошаемых массивах грунтовые воды в осенне-зимний период залегают глубоко, а в вегетационный – поднимаются. В конце лета и в начале осени вновь опускаются, а поздней осенью снижаются уже до максимальных глубин. На неорошаемых землях таких резких изменений в уровне грунтовых вод не наблюдается. Колебание уровня здесь лежат в пределах 0,5 м, тогда как на орошаемых участках амплитуда колебания уровня грунтовых вод достигает 1,5-2,0 м (Mustafayev, 2022, 276-285).

Общеизвестно, что глубина залегания грунтовых вод часто зависит от рельефа местности. В понижениях они залегают на сравнительно небольшой глубине, на возвышенностях глубина их залегания может быть значительно больше. Питание грунтовых вод зависит от атмосферных осадков, рельефа местности, проницаемости пород и глубины залегания подземных вод. Наиболее благоприятны для инфильтрации мелкие затяжные дожди. Питание грунтовых вод зависит от атмосферных осадков, рельефа местности, проницаемости пород и глубины залегания

подземных вод. Наиболее благоприятны для инфильтрации мелкие затяжные дожди. Питание грунтовых вод за счет поверхностных вод широко распространено. Во время обильных осадков и весенних половодий уровень поверхности (рек, озер), повышается. В меженьный период, когда уровень воды в водоеме низкий, наблюдается обратное явление – грунтовые воды питают поверхностные водоемы. Местами грунтовые воды могут получать дополнительное питание за счет подтока напорных вод из нижерасположенных пластов. В пустынных областях возможно также конденсационное питание грунтовых вод. Причина засоления почв на этом участке рассмотрена на ряде частных признаков, которые необходимы для достаточно полной характеристики засоленных почв. Прежде всего к ним нужно отнести морфологические признаки – состояние поверхности засоленной почвы, солевые скопления по профилю почвы и др. Более строгое суждение о засолении почвы основывается уже на аналитических данных о величине общего солевого содержания по почвенному профилю. Об углублении характеристик засоленности почв свидетельствуют данные об изменении солевого состава по почвенному профилю. Для всех признаков этой группы характерно то, что они основаны на изменении профиля почвы, поэтому их можно назвать профильно-солевыми признаками.

Следующий этап характеристики явлений засоления должен основываться на анализе географических закономерностей изменения интересующих нас свойств засоленных почв. Этой цели служит сравнительно-географический метод. Определенный вывод в этом отношении может быть сделан путем сопоставления профильно-солевых данных и районирования по ним изучаемой территории. Но необходимы некоторые дополнительные показатели, значение которых может быть выражено на карте в виде определенного градиента изменения, или изолиний.

Например, среднее содержание солей в почвенной толще (в % плотного остатка или в килограммах на некоторый объем почвы) недостаточный показатель для выводов об отдельной взятой почве. Но этот показатель приобретает большую значимость при сопоставлении ряда почв и становится особо ценным при географическом анализе. Изображение его на карте общего солевого содержания в виде определенных изолиний – важнейший способ изучения закономерностей миграции солей. Дальнейшее углубление в этом направлении достигается

путем изучения географических закономерностей изменения солевого состава. Процесс перераспределения запасов солей и засоление почв зависят от многих климатических, геологических и гидрогеологических условий. Чем суше и континентальнее климат, тем больше степень засоления. Сильнозасоленные почвы чаще всего встречаются в пустынных и полупустынных зонах, а с переходом в степную зону степень засоления несколько ослабевает. Этот процесс, известный как вторичное засоление, происходит из-за ошибок в орошении, усиленного испарения грунтовых вод с высоким содержанием соли и отсутствия должного дренажа (Волобуев, 1965, 246; Mustafayev, 2008).

Другим источником соленакопления в аридной зоне служит оросительная вода, в составе которой содержится определенное количество легкорастворимых солей. Интенсивность соленакопления за счет оросительной воды также зависит от объема водоподачи и минерализации и может составить 15-20 т/га в год. В современных условиях засоление почв за счет оросительной воды приобретает более опасный характер из-за возврата части коллекторно-дренажного стока в реки. В этом отношении наиболее опасной зоной являются земли, расположенные в среднем и нижнем течении рек, где минерализация воды в отдельные месяцы достигает 1,5-2,5 г/л.

Вторичное засоление в основном происходит из-за неправильного использования оросительных систем и недостаточности дренажа. В условиях засушливого климата вода с высоким содержанием солей испаряется с поверхности почвы, оставляя избыток соли в верхних слоях. Чрезмерное или неправильное использование соленой воды для полива способствует накоплению солей в почве. Высокая концентрация солей, особенно хлоридов и карбонатов натрия, делает почву непригодной для выращивания большинства сельскохозяйственных культур (Волобуев, 1965, 246).

Засоление негативно влияет на рост и развитие растений, что в конечном итоге может привести к их гибели. Результаты солевых съемок и наблюдения за уровнем грунтовых вод в большинстве случаев показали, что достигнуто устойчивое опреснение почвогрунтов и систематическое снижение уровня грунтовых вод (Мустафаев, 2008, 44-47; Мустафаев, 2010, 31-38; Mustafayev, 2020, 101-108).

Большая часть низменности характеризуется высоким стоянием грунтовых вод. Примерно на 2/3 этих площадей имеются грунтовые воды,

расположенные на глубине менее 5 м от поверхности Земли. На участках с залеганием грунтовых вод на глубине 1-2 м в жаркие летние месяцы вода, поднимаясь по капиллярным трубам в верхние слои почвы, подвергается испарению, а содержащаяся в них соль оседает в верхних слоях почвы.

Равнинный характер Кура-Араксинской низменности складывался на протяжении всей истории ее формирования. Куринская тектоническая впадина – этот крупный межгорный прогиб – постепенно заполнялся вначале древними морскими осадками, в четвертичном периоде – континентальными и морскими отложениями (при трансгрессиях Каспийского моря), а также наносами Куры и Аракса. Мощные пласты различных отложений и послужили основой равнинного рельефа низменности.

Однако современная поверхность Кура-Араксинской низменности создана главным образом деятельностью рек, по имени которых она и названа. Стекая с гор, Кура и Аракс несут огромное количество песка и ила – не даром воды этих рек относятся к одним из самых мутных в мире. Территория Кура-Араксинской низменности в физико-географическом отношении делится на части, которые называются равнинами, или степями.

На левобережье Куры расположены Ширванская равнина, в междуречье Куры и Аракса – Карабахская и Мильская, к югу от Аракса – Муганская равнина, в правобережье нижнего течения Куры – Сальянская равнина. Каждая из этих равнин имеет свои особенности рельефа, почв, растительности и хозяйственного использования (Мустафаев, 2008, 44-47; Mustafayev, 2020, 101-108; Mustafayev, 2022, 276-285). В Азербайджане основным фактором, ограничивающим развитие орошаемого земледелия, является засоление и солонцеватость почв. Это отрицательное явление широко распространено во всех районах республики, в том числе и в Кура-Араксинской низменности.

В зависимости от почвенно-грунтовых условий и мелиоративной обстановки в 1934-1935 гг. на территории Кура-Араксинской низменности в Мугань-Сальянском массиве была построена коллекторно-дренажная сеть длиной 104 км, в 1951-1952 гг. в Мильской степи – длиной 830 км, в 1958-1980 гг. в Ширванской и Карабахской степях – более 10 тыс. км. В настоящее время на исследуемой низменности длина коллекторно-дренажной сети составляет более 25 тыс. км на площади около 650 тыс. га.

Эксплуатационный срок мелиоративной конструкции по принятым нормам предусмотрен на 35-40 лет. На сегодняшний момент срок эксплуатации коллекторно-дренажной сети, проведенной на некоторых участках Кура-Араксинской низменности закончился, сеть не может работать в полную проектную силу. Такое состояние приводит к повторному процессу засоления почв исследуемой низменности.

Результаты исследования показывают, что неудовлетворительная работа дренажной системы и высокая минерализация грунтовых вод требуют провести на дренажной системе мероприятия, направленные на снижение минерализации грунтовых вод. Влияние орошения на изменение свойств и плодородие почв проявляется в зависимости от исходных почвенных и гидрогеологических условий орошаемых территорий, качеством поливных вод, инженерного уровня и состояния оросительных систем, общей культуры орошаемого земледелия. Поэтому в условиях последнего имеются как примеры длительного сохранения благоприятных свойств и режимов почв, так и примеры значительных негативных изменений свойств почв и их режимов, приводящих к снижению почвенного плодородия.

Важные причины, приводящие к негативным изменениям почв при орошении, следующие: избыточные поливные нормы, большие потери воды в подводящей и распределительной сети и на полях, где отсутствует искусственный дренаж или его состояние неудовлетворительное. Это приводит к развитию неблагоприятного водного режима, способствующего подъему грунтовых вод на орошаемых землях. С последним связан ряд весьма неблагоприятных последствий орошения: вторичное засоление, заболачивание, осолонцевание почв. Сам процесс засоления почв в большинстве случаев связан с соленакоплением под влиянием испарения грунтовых вод. Поэтому интенсивность засоления почв зависит от глубины залегания и минерализации грунтовых вод, а также механического состава почв, определяющего капиллярные свойства. Чем ближе залегает уровень грунтовых вод к дневной поверхности и выше минерализация, тем больше скорость накопления солей.

Под действием каждого вегетационного полива солесодержание в метровой толще почвогрунтов уменьшается, а в межполивные периоды увеличивается до проведения второго полива, затем увеличение солесодержания в межполивные периоды настолько мало (0,003-0,005%), что им

можно пренебречь. Это объясняется следующим образом: в начале вегетации, когда органическая масса хлопчатника не велика и слабо затеняет почву, большая часть ресурсов тепла расходуется на нагревание почвы и воздуха, происходит непродуктивное испарение. В этот период суммарное испарение составляет 2,6-3,0 мм/день ($26-30 \text{ м}^3/\text{га}$ в день).

Определенная часть этой влаги приходит за счет грунтовых вод, то есть происходит процесс повторного засоления. По мере развития растений (кустов и корневой системы) доля непродуктивного испарения уменьшается, значительная часть влаги расходуется через растения (транспирация) около 50% и суммарное испарение в этот период (цветение) составляет 4,6-4,8 мм/день ($46-48 \text{ м}^3/\text{сут}$ в день). При сомкнутом покрове (в фазе формирования коробочек – созревание) ресурсы тепла полностью поглощаются растениями и величина суммарного испарения достигает 8,0-9,0 мм/день ($80-90 \text{ м}^3/\text{га}$ в день).

Транспирация при сомкнутом покрове (после 10 июля) абсолютно преобладает над испарением влаги почвой и может достигать до 100% от общей испаряемости. Из этого следует, что в июле-августе транспирация от суммарного испарения может составлять 80-90%, то есть $4000-4500 \text{ м}^3/\text{га}$. При таком количестве транспирации испарение с поверхности почвы за июль-август составляет 800-950 (при 80% транспирации и $225-250 \text{ м}^3/\text{га}$ (при 95% транспирации).

В июле и, особенно, в августе, корневая система сельскохозяйственных культур достигает соответственно до 1 и 2 м и более. Интенсивная транспирация 1-2 м слоя почвогрунтов сельскохозяйственными культурами сильно влияет на капиллярный подъем грунтовых вод и в большинстве случаев предотвращает его, так как скорость транспирации воды в этот период превышает скорость передвижения влаги в капиллярах. В связи с этим в июле-августе на полях, занятых под сельхозкультурами повторное засоление почвогрунтов не происходит даже при засолении 0,6% по плотному остатку. Полученный богатый фактический материал использован в математических моделях, дающий возможность построить прогноз солевого режима почвогрунтов (Мустафаев, Азизов, 2010, 31-38).

Исследования показывают, что в природе грунтовые воды, находясь в различных условиях с уклоном территории и имея естественный сток, слабо минерализованы. В зависимости от рельефа в некоторых местах грунтовые воды не

имеют стока. В грунтовых водах таких территорий в течение долгого времени происходит растворение солей материнской породы, что приводит к их высокой степени минерализации. Такой процесс формируется на территориях с близким расположением грунтовых вод к поверхности земли в сочетании с высокой степенью испарения.

Регулирование уровня грунтовых вод при орошении сельскохозяйственных культур, возделываемых на территориях с близким залеганием грунтовых вод, не имеющих естественного стока, возможно с применением коллекторно-дренажных систем. В целом на орошаемых местах при засолении и в процессе формирования разных типов почв большое значение имеет химический состав грунтовых вод, а также их степень и типы минерализации.

Исследования показывают, что при меньшей минерализации и щелочности в почве происходит засоление содового типа. При минерализации грунтовых больше 1,0 г/л и ее близким расположением к поверхности земли происходит активизация вредных для растений солей. Когда их уровень приближается к поверхности земли, наблюдается их увеличение, повышается процесс испарения и транспирации, в результате чего в почве происходит повторное засоление.

На основании проведенных исследований было установлено, что при сближении уровня грунтовых вод к поверхности земли большую роль в засолении почв играют такие факторы, как режим орошения, химический состав подаваемой на поле воды и др. В настоящее время примерно около 60 % орошаемых почв Кура-Араксинской низменности имеют среднюю и сильную степень засоления и требуют применения комплексных мелиоративных мероприятий. Основным неблагоприятным явлением, задерживающим развитие сельского хозяйства, является широкое распространение засоленных почв и близкое залегание к поверхности земли высокоминерализованных грунтовых вод (Mustafayev, 2022, 276-285; Sadigov, 2024, 266-279).

Если орошаемые почвы в верхних горизонтах богаты гипсом, то кратковременное использование щелочных вод для орошения таких почв неопасно. Однако в засушливых и полувасушливых зонах широко распространены почвы, лишенные гипса в верхних горизонтах (черноземы, каштановые, луговые и др.). Использование

щелочных вод на таких почвах неизбежно приводит к их вторичному осолонцеванию.

Для профилактики неблагоприятных явлений необходимы специальные мероприятия не только по предупреждению осолонцевания почв, но и по мелиорации самой оросительной воды (например, гипсованием). Вместе с тем не-солёная и не щелочная оросительная вода с концентрацией не выше 0,2–0,5 г/л оказывает положительное влияние на щелочные почвы.

В таких водах среди катионов обычно преобладает кальций. В результате орошения в течение нескольких лет или десятилетий пресными кальций содержащими водами щелочные почвы становятся нейтральными. Их физические, химические свойства и биологические особенности улучшаются. Орошение должно обеспечить:

- получение проектной продукции растениеводства;
- экономное использование водных, земельных и топливно-энергетических ресурсов;
- использование высокопроизводительной сельскохозяйственной техники при обработке мелиорируемых земель;
- высокая производительность труда при эксплуатации сооружений и мелиоративной системы в целом;
- комплексная автоматизация технологических процессов, при этом степень автоматизации должна быть обоснована технико-экономическими расчетами;
- соблюдение требований охраны окружающей природной среды санитарно-гигиенических требований;
- возможность внесения удобрений, химмелиорантов и гербицидов с оросительной водой.

Влияние солей на растения весьма многообразно. Она проявляется в нарушении и ряд биохимических и физиологических функции растений, их водного и питательного режимов, условий развития и состояния корневой системы растений. Под влиянием засоленности почвы у растений заметно снижаются интенсивность фотосинтеза и дыхания, замедляется обмен веществ. Накопление сухого вещества с повышением степени засоления почвы становится все меньшим (Mukanova, 2024, 98-118).

При разделении по составу солей учитываются главным образом их анионы. По этому признаку принято различать засоление сульфатно-содовое, хлоридно-сульфатное (с преобладанием сульфатов над хлоридами), сульфатно-хло-

ридное (с преобладанием хлоридов (содовые) над сульфатами) и наконец, хлоридное. Случаи нитратного засоления очень редки, и соответствующие почвы занимают весьма незначительные площади. В приведенном выше перечне типы засоления почв поставлены в порядке нарастания засушливости климата и увеличения степени минерализации грунтовых вод, т. е. преобладают почвы сульфатно-содового засоления на слабоминерализованных грунтовых водах с хорошим стоком, в наиболее засушливом климате почвы хлоридного засоления с сильными минерализованными водами, обладающими плохим стоком.

Перераспределение легкорастворимых солей по почвенному профилю зависит от целого ряда факторов, таких как начальные запасы солей, минерализация поливной воды, глубина залегания и минерализации грунтовых вод. В связи с высоким стоянием грунтовых вод на исследуемом участке и их существенной минерализацией повсеместно наблюдается вторичное засоление

орошаемых земель, обусловленное превышением расхода грунтовых вод на испарение (Волобуев, 1965, 246; Мустафаев, 2010, 31-38).

В почвах состав водно-растворимых солей может быть весьма разнообразным. Соли эти образуются, одного, сравнительно не большим числом катионов и анионов. Из катионов участвуют главным образом Na^+ , Mg^{++} , и Ca^{++} , из анионов Cl^- , SO_4^{--} , CO_3^{--} и HCO_3^- . Различное сочетание этих катионов и анионов образуют следующие соли, многие из которых и содержатся в засоленных почвах (Мустафаев, 2015, 51-53; Zhapaev, 2023, 1678-1689).

Ни одна из этих солей не является непосредственно необходимой для нормального развития сельскохозяйственных растений. Между тем многие из них, даже при относительно небольшом содержании их в почве, угнетают культурные растения и называются вредными. Академик К.К.Гедройц считал, что вредные для растений свойства солончаковых почв обусловлены в основном их катионами (табл. 1).

Таблица 1

Соли, участвующие в засолении почв

Хлористые (хлориды)-анион Cl^-	Сернокислые (сульфаты) анион SO_4^{--}	Углекислые (карбонаты) CO_3^{--}	Двууглекислые (бикарбонаты) – анион HCO_3^-
NaCl (поваренная соль)	Na_2SO_4 (глауберов а соль)	Na_2CO_3 (сода нормальная, бельевая)	NaHCO_3 (сода пищевая)
MgCl_2 (хлористый магний)	MgSO_4 (горькая соль)	MgCO_3 (углекислый магний)	$\text{Mg}(\text{HCO}_3)_2$ (двууглекислый магний)
CaCl_2 (хлористый кальций)	CaSO_4 (гипс)	CaCO_3 (известь)	$\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$ (двууглекислый кальций)

Порядок токсичности катионов Na^+ , Mg^{++} , K^+ , Ca^{++} . Из анионов весьма токсичным для растений является хлор ион. По данным многолетних исследований выявлено, что для нормального и продуктивного возделывания с/х культур, необходимо строгое установление норм и сроков орошения, устранения засоления и дренажных стоков на некоторых участках, поддержание уровня и минерализации грунтовых вод, а также правильной работы оросительной техники.

Результаты исследования показывают, что неудовлетворительная работа дренажной системы и высокая минерализация грунтовых вод требуют провести на дренажной системе мероприятия, направленные на снижение минерализации грунтовых вод. Влияние орошения на изменение свойств и плодородие почв проявляется

в зависимости от исходных почвенных и гидрогеологических условий орошаемых территорий, качеством поливных вод, инженерного уровня и состояния оросительных систем, общей культуры орошаемого земледелия. По этому в условиях последнего имеются как примеры длительного сохранения благоприятных свойств и режимов почв, так и примеры значительных негативных изменений свойств почв и их режимов, приводящих к снижению почвенного плодородия.

В настоящее время примерно 58 % орошаемых почв Мугано-Сальянского массива имеют среднюю и сильную степень засоления и требуют применения капитальных мелиоративных мероприятий (Мустафаев, 2015).

Для ослабления и нейтрализации негативных последствий орошения необходим комплекс раз-

личных мероприятий, многие из которых хорошо известны, но по разным причинам не осуществляются или проводятся в недостаточных объемах. Комплексы этих мероприятий должны быть строго дифференцированы с учетом конкретных почвенно-мелиоративных и общих экологических условий. Совершенствование дренажа на действующих оросительных системах, устройство современных дренажных систем на территориях нового орошения является одной из важных мер по ослаблению его негативных последствий. Практически все сооружения на оросительной сети требуют ремонта или переустройства. По некоторым построенным сооружениям отмечается несоответствие их типа акту вводу или проекту.

На многих переездах оголовки заваливаются в канал, происходит расстыковка, разрушение, заиливание труб. Того или иного ремонта требуют мостовые переезды. У многих мостов отсутствуют переходные плиты, поэтому идет обрушение откосов каналов на съезде с мостов. Закрытый дренаж часто не выполняет своего предназначения по следующим причинам: подпор воды в каналах, сильное их заиливание, зарастание откосов и дна каналов густой древесно-кустарниковой и влаголюбивой растительностью. По этим же причинам почти невозможно визуально обнаружить выходы коллекторов.

Отсутствие нормального регулирования уровня грунтовых вод приводит к переувлажнению площадей, а на таких угодьях, как пастбища к сильной закороченности. Из всего вышесказанного можно сделать вывод, что в условиях практически полного отсутствия необходимого

финансирования для выполнения ремонтно-эксплуатационных работ мелиоративные системы приходят в негодность, разрушаются.

Вышеуказанные причины по-разному влияют на урожайность. Особенно сильно сказываются они на продуктивности орошаемых земель. В связи с вышеизложенным необходимо пересмотреть концепцию развития сельского хозяйства области в части использования орошаемых земель, выделить целевые средства на реконструкцию и эксплуатацию мелиоративных и оросительных систем (Мустафаев, 2015, 51-53).

Исследования показывают, что при исправной работе коллекторно-дренажных и оросительных систем на орошаемых территориях количество солей в почве уменьшается. Однако на территориях, где они работают неудовлетворительно, наоборот, наблюдается увеличение количества солей на 25–30% (Zhapaev, 2013, 1821-1830; Kunyiyayeva, 2023, 2115-2127; Mustafayev, 2025, 1688-1698).

На Кура-Араксинской равнине коллекторно-дренажная сеть функционирует на площади 543 тыс. га. Из них 310,4 тыс. га – открытая, 269,4 тыс. га – закрытая и 13,2 тыс. га – вертикальные дрены. В связи с истечением срока службы большинство из них эксплуатируется неудовлетворительно. Установлено, что на 486,6 тыс. га этих площадей минерализация грунтовых вод составляет менее 1,0 г/л, на 506,0 тыс. га – от 1 до 3 г/л, а на 459,3 тыс. га – более 3,0 г/л.

Ниже приведены фотографии нескольких коллекторно-дренажных сетей на Кура-Арзской равнине (Рис. 1-3)

Рисунок 1

Главный Ширванский коллектор, N 40°40'43,36"; E 47°11'25,06", H=15m



Почвы сильно засолены (Агдашский район)

Рисунок 2

Главный Ширванский коллектор, N 40°20'06,8"; E 47°42'11,7"; H= -9m



Солончак (Евлахский район)

Рисунок 3

Муганская степь (Главный Миль-Муганский коллектор, Имишлинский район)



N 39°53'16,29 "; E 48°18'17,42"; H= -11m

Не засоленные почвы

Как видно из фотографий, на территориях со слабой работой коллекторно-дренажных систем наблюдается засоление и засоленность почв. Однако на территориях с их исправной работой наблюдается снижение содержания солей в почвах и увеличение площади незасоленных почв. Для улучшения водно-физических свойств почв исследуемой территории, нужно добиться нормальной работы существующих дренажей и организовать регулярное сбрасывание этих вод собирателем в коллекторы. В случае невозможности ремонта дренажных систем, на этих участках нужно использовать временные дренажи (глубина 0,8-1,0 м) с междурасстоянием 25-50 м, временные собиратели (глубина 1,0-1,5 м) и обеспечить сбрасывание орошаемых вод в постоянные дренажи.

Закключение и предложения

Проведенными исследованиями выявлено, что количество солей в орошаемых лугово-сероземных и сероземно-луговых почвах опытного участка под хлопчатник составляет 0,27–0,69 %, а под зерновые – 0,38–0,78 %. Количество поглощенных оснований под хлопчатник варьировало в пределах 26,7–33,8 мг-экв, а под зерновыми культурами – в пределах 23,5–35,6 мг-экв. Величина pH под зерновыми культурами менялась в пределах 7,7–8,1, а под хлопчатник – 7,6–8,5. Установлено, что, данные типы почв по типу солей хлоридный, сульфатно-хлоридный и хлоридно-сульфатный. Объемная масса этих типов почв в верхнем слое доходит до 1,51-1,60 г/см³ и выше, удельная масса – до 2,68-2,73 г/см³, а со-

держание физической глины составляет 65-80%. Повышение продуктивности этих почв может быть осуществлено при проведении периодически глубокого рыхления. Промывную норму воды для засоленных почв (с содержанием солей 2,0–3,0 %) рекомендуем 10000–12000 м³/га, а для сравнительно менее засоленным почвам (с содержанием солей 1,0–2,0 %) – 6000–8000 м³/га. Вода должна подаваться одноразовыми нормами по 2000–2500 м³/га. Промывку следует проводить в осенне-зимний период года, чтобы избежать восстановления засоления. Почва в первый год после промывки должна занять солеустойчивые культуры (ячмень, сорго и т. д.), вносить органоминеральные удобрения с применением промывного режима орошения. Этот

метод способствует обогащению корнеобитаемого слоя почвы органическими веществами и улучшению мелиоративного состояния почвы.

Проведенные исследования показывают, что в условиях Кура-Араксинской низменности в те годы, когда поля заняты зерновыми и хлопковыми культурами, необходимо после их уборки высевать кормовые и другие сельскохозяйственные культуры с коротким вегетационным периодом. Это даст возможность не только улучшить мелиоративного состояния почв, но и получить дополнительный урожай. Для улучшения слабо, средне и сильно засоленных почв необходимо не только правильно установить поливные нормы, количество и сроки поливов, но и следует высевать солеустойчивые культуры.

Литература

- Азизов, К.З. Водно-солевой баланс мелиорируемых почвогрунтов Кура-Араксинской низменности и научный анализ его результатов / К.З.Азизов. – Баку : Элм, 2006. – 260 с.
- Волобуев, В.Р. Генетические формы засоления почв Кура-Араксинской низменности / В.Р.Волобуев. – Баку : ИАН Азербайджанской ССР, 1965. – 246 с.
- Мустафаев М.Г., Азизов Г.З.- Изменение глубины и минерализации подземных вод МуганоСальянского массива / М.Г.Мустафаев, Г.З.Азизов // Азербайджанское общество почвоведов : сб. науч. тр.–Баку, 2010. –. XI. –С.31–38.
- Аринушкина, Е.В. Руководство по химическому анализу почв / Е.В. Аринушкина. –2-е изд., перераб. и доп. – Москва : МГУ, 1970. – 488 с.
- Качинский, Н. А. Физика почв / Н.А.Качинский. – Москва : Высшая школа, 1965. – 324 с.
- Mustafayev, M.G. Influence of soil-climatic conditions of Mugan-Salyan massif on agricultural production / M.G.Mustafayev // Annals of Agrarian Science. – 2008. – Vol. 6. – № 3. – P. 44–47.
- Mustafayev, M.G. Change of the salt's quantity and type in the irrigated soils of the Mughan Plain and their impact on plants productivity / M.G.Mustafayev // Intern. Journal of Food Science and Agriculture. – 2020. – № 4 (2). – P. 101–108. <http://dx.doi.org/10.26855/ijfsa.2020.06.001>
- Mustafayev, M., Tukenova, Z., Alimzhanova, M., Ashimuly, K., Mustafayev, F.-The influence of fertilisation on the water-salt regime in the conditions of the Mugan-Salyan massif, Azerbaijan / M.Mustafayev, Z.Tukenova, M. Alimzhanova, K.Ashimuly, F. Mustafayev // Journal of Water and Land Development, Polsha, 2022, (55), pp.276–285
- Sadigov, R.A., Mustafayev, M.G.-Analysis of mountain-forest cinnamon soil types in the basin of the new Shamkirchay reservoir / R.A.Sadigov, M.G. Mustafayev // Sabrao Journal of Breeding and Genetics, Philippine, 2024, 56(1), pp. 266–279
- Мустафаев М.Г. Развитие почвенной деградации Мугано-Сальянского массива / М.Г.Мустафаев // Научный журнал Российского НИИ проблем мелиорации / Новочеркасск, 2015 г., № 3(19), стр. 51–63
- Zhapayev R.K, Kunypiyaeva G.T, Mustafaev F.M, Bekzhanov S.Zh, Nurgaliev A.K.-Comparative assessment of pearl millet genotypes under arid conditions of Southeast Kazakhstan. SABRAO Journal of Breeding Genetics. 2023, 55(5): 1678-1689.<http://doi.org/10.54910/sabrao.2023.55.5.20>
- Zhapayev R.K, Kunypiyaeva G.T, Ospanbayev Zh, Sembayeva A.S, Ibash N.D, Mustafaev M.G. – Khidirov A.E-Structural-aggregate composition and soil water resistance based on tillage regimes in Southeast Kazakhstan. SABRAO Journal Breeding Genetics. 2023, 55(5): 1821-1830. <http://doi.org/10.54910/sabrao.2023.55.5.33>.
- Kunypiyaeva GT, Zhapayev RK, Mustafaev MG, Kakimzhanov Y, Kyrgyzbay K, Seilkhan A.S.-Soil cultivation methods' impact on soil water-physical properties under rainfed conditions of Southeast Kazakhstan. SABRAO Journal Breeding Genetics. 55(6): 2115-2127, <http://doi.org/10.54910/sabrao.2023.55.6.23>.
- Мүканова Г.А., Какимжанов Е.Х., Шимшиков Б.Е., Туkenova З.А., Мустафаев М.Г., Ошакбай А.А., Хасенова А.Н.- Деректер корын күру үшін Батыс Казакстан өңірінде антропогендік ықпалдан деградацияға ұшыраған аймақтардың экологиялық жай-күйін сараптау //Хабаршы. География сериясы.Алматы, №1 (72) 2024, 98-118, <https://bulletin-geography.kaznu.kz>, <https://doi.org/10.26577/JGEM.2024.v72.i1.08>
- Mustafayev M.G., Alizade Sh.V., Mustafayev F.M., Akhundov A.Y., Hasanova A.Kh.- Anthropogenic impact on the soil salinization and its management in irrigated areas of the Mughan plains, Azerbaijan// SABRAO Journal Breeding Genetics. 57(4): 1688-1698, 2025, <http://doi.org/10.54910/sabrao.2025.57.4.35>

References

- Azizov, K. Z. (2006). *Vodno-solevoi balans melioriruemyykh pochvogruntov Kura-Araksinskoi nizmennosti i nauchnyi analiz ego rezul'tatov*. Elm.
- Volobuev, V. R. (1965). *Geneticheskie formy zasoleniya pochv Kura-Araksinskoi nizmennosti*. IAN Azerbaidzhanskoi SSR.
- Mustafayev, M. G., & Azizov, G. Z. (2010). Izmenenie glubiny i mineralizatsii podzemnykh vod Mugano-Salyanskogo massiva. *Azerbaijan Society of Soil Scientists Proceedings*, 11, 31–38.
- Arinushkina, E. V. (1970). *Rukovodstvo po khimicheskoy analizu pochv* (2nd ed.). Moscow State University.
- Kachinskii, N. A. (1965). *Fizika pochv*. Vysshaya shkola.
- Mustafayev, M. G. (2008). Influence of soil-climatic conditions of Mugan-Salyan massif on agricultural production. *Annals of Agrarian Science*, 6(3), 44–47.
- Mustafayev, M. G. (2020). Change of the salt's quantity and type in the irrigated soils of the Mughan Plain and their impact on plant productivity. *International Journal of Food Science and Agriculture*, 4(2), 101–108. <https://doi.org/10.26855/ijfsa.2020.06.001>
- Mustafayev, M., Tukenova, Z., Alimzhanova, M., Ashimuly, K., & Mustafayev, F. (2022). The influence of fertilisation on the water-salt regime in the conditions of the Mugan-Salyan massif, Azerbaijan. *Journal of Water and Land Development*, 55, 276–285.
- Sadigov, R. A., & Mustafayev, M. G. (2024). Analysis of mountain-forest cinnamon soil types in the basin of the new Shamkirchay reservoir. *SABRAO Journal of Breeding and Genetics*, 56(1), 266–279.
- Mustafayev, M. G. (2015). Razvitie pochvennoi degradatsii Mugano-Salyanskogo massiva. *Nauchnyi zhurnal Rossiiskogo NII problem melioratsii*, 3(19), 51–63.
- Zhapayev, R. K., Kunyapiyeva, G. T., Mustafayev, F. M., Bekzhanov, S. Zh., & Nurgaliev, A. K. (2023). Comparative assessment of pearl millet genotypes under arid conditions of Southeast Kazakhstan. *SABRAO Journal of Breeding and Genetics*, 55(5), 1678–1689. <https://doi.org/10.54910/sabrao.2023.55.5.20>
- Zhapayev, R. K., Kunyapiyeva, G. T., Ospanbayev, Zh., Sembayeva, A. S., Ibash, N. D., Mustafayev, M. G., & Khidirov, A. E. (2023). Structural-aggregate composition and soil water resistance based on tillage regimes in Southeast Kazakhstan. *SABRAO Journal of Breeding and Genetics*, 55(5), 1821–1830. <https://doi.org/10.54910/sabrao.2023.55.5.33>
- Kunyapiyeva, G. T., Zhapayev, R. K., Mustafayev, M. G., Kakimzhanov, Y., Kyrgyzbay, K., & Seilkhan, A. S. (2023). Soil cultivation methods' impact on soil water-physical properties under rainfed conditions of Southeast Kazakhstan. *SABRAO Journal of Breeding and Genetics*, 55(6), 2115–2127. <https://doi.org/10.54910/sabrao.2023.55.6.23>
- Mukanova, G. A., Kakimzhanov, E. Kh., Shimshikov, B. E., Tukenova, Z. A., Mustafayev, M. G., Oshakbay, A. A., & Khasanova, A. N. (2024). Analysis of the ecological state of degraded territories under anthropogenic impact in West Kazakhstan for database development. *Journal of Geography and Environmental Management*, 72(1), 98–118. <https://doi.org/10.26577/JGEM.2024.v72.i1.08>
- Mustafayev, M. G., Alizade, Sh. V., Mustafayev, F. M., Akhundov, A. Y., & Hasanova, A. Kh. (2025). Anthropogenic impact on soil salinization and its management in irrigated areas of the Mughan plains, Azerbaijan. *SABRAO Journal of Breeding and Genetics*, 57(4), 1688–1698. <https://doi.org/10.54910/sabrao.2025.57.4.35>

Сведения об авторе:

М.Г. Мустафаев – доктор аграрных наук, доцент института Географии Министерства науки и образования Азербайджанской Республики (Баку, Азербайджан, e-mail: meliorasiya58@mail.ru).

Information about the author:

M.G. Mustafayev – Doctor of Agricultural Sciences, Associate Professor, Institute of Soil Science and Agrochemistry, Ministry of Science and Education of the Republic of Azerbaijan (Baku, Azerbaijan, e-mail: meliorasiya58@mail.ru).

Автор туралы мәлімет:

М.Г. Мұстафаев – ауыл шаруашылығы ғылымдарының докторы, Әзербайжан Республикасы Ғылым және білім министрлігінің Топырақтану және агрохимия институтының доценті (Баку, Әзірбайжан, e-mail: meliorasiya58@mail.ru).

Поступила: 15 декабря 2025 года

Принята: 10 мая 2026 года

K. Zhuman* , **Z. Assipova** , **A. Mussagaliyeva** ,
Y. Kakimzhanov , **O. Sagymbay** , **A. Orazkhan** 

Al-Farabi Kazakh National University, Almaty, Kazakhstan

*e-mail: karlygash.zhuman1@gmail.com

SPATIAL HETEROGENEITY OF GREENNESS IN ALMATY ACROSS DISTRICTS: COMPARING TOTAL AND ROAD-PROXIMATE URBAN GREENNESS (M²/PERSON) USING A SUMMER 2025 NDVI COMPOSITE

The aim of this study is to quantify the spatial heterogeneity of greenness in Almaty across eight administrative districts and to compare total greenness (within administrative boundaries) with road-proximate urban greenness constrained to the road-buffer-defined urban proxy, using area- and per-capita indicators (m²/person). The methodology is based on Sentinel-2 L2A data (Copernicus Browser) and a summer NDVI composite for June–August 2025 constructed as the pixel-wise median of eight low-cloud scenes. Greenness was mapped using NDVI thresholding (primary threshold NDVI > 0.30; sensitivity analysis for NDVI > 0.25 and NDVI > 0.35). Road-proximate urban greenness was operationalized as green pixels located within a 500-m buffer around the street network (QuickOSM), followed by district-level zonal statistics in QGIS; per-capita values (m²/person) were computed using official population statistics as of 1 July 2025 (Bureau of National Statistics). The originality and value of the study lie in a reproducible separation of “territorial” versus “urban-fabric” greenness for a city whose administrative extent includes large natural landscapes, improving interpretability and reducing upward bias in district comparisons. Results show that for NDVI > 0.30, Almaty’s total green area equals 591.45 km² (254.94 m²/person), whereas road-proximate urban greenness equals 442.05 km² (190.54 m²/person), representing 74.7% of total greenness by area. At the district level, road-proximate urban greenness ranges from 49.24 m²/person (Almaly) to 476.39 m²/person (Medeu), a 9.67-fold disparity; the top three districts are Medeu, Nauryzbay, and Turksib, while the lowest values occur in Almaly, Auezov, and Zhetysu. District rankings are robust to the NDVI threshold choice (0.25/0.30/0.35).

Keywords: NDVI, Sentinel-2, road-proximate urban greenness, green space, Almaty, m²/person.

Қ. Жұман*, Ж. Асипова, А. Мұсағалиева,
Е. Какимжанов, Ө. Сағымбай, А. Оразхан

Әл-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университеті, Алматы, Қазақстан

*e-mail: karlygash.zhuman1@gmail.com

**Алматы қаласының аудандары бойынша көгалданудың кеңістіктік әртекстілігі:
2025 жылғы жазғы NDVI-компазит негізінде жалпы және
жол желісіне жақын көгалдануды (м²/адам) салыстыру**

Бұл зерттеудің мақсаты – Алматы қаласының сегіз әкімшілік ауданы бойынша жасыл жамылғының кеңістіктік әркелкілігін сандық тұрғыдан бағалау және аудандық шекаралар ішіндегі жалпы жасыл жамылғыны жол буфері арқылы анықталған қалалық прокси-аймақпен шектелген жол желісіне жақын қалалық жасыл жамылғымен салыстыру. Бағалау үшін аумақтық және жан басына шаққандағы көрсеткіштер (м²/адам) қолданылды. Зерттеу әдістемесі Sentinel-2 L2A деректеріне (Copernicus Browser) және 2025 жылғы маусым–тамыз айлары үшін бұлттылығы төмен сегіз спутниктік көріністің пиксельдік медианасы негізінде құрастырылған жазғы NDVI композитіне негізделді. Жасыл жамылғы NDVI шекті мәндері арқылы карталанды: негізгі шек ретінде NDVI > 0.30 алынды, ал сезімталдықты талдау үшін NDVI > 0.25 және NDVI > 0.35 мәндері қолданылды. Жол желісіне жақын қалалық жасыл жамылғы QuickOSM арқылы алынған көше желісінің айналасындағы 500 м буфер шегінде орналасқан жасыл пиксельдер ретінде анықталды. Одан кейін QGIS бағдарламасында аудандық деңгейде зоналық статистика есептелді, ал жан басына шаққандағы мәндер (м²/адам) 2025 жылғы 1 шілдедегі ресми халық саны деректері негізінде есептелді (Ұлттық статистика бюросы). Зерттеудің өзіндік ерекшелігі мен құндылығы әкімшілік аумағына ірі табиғи ландшафттар кіретін қала үшін «аумақтық»

жақын» жасыл жамылғыны қайталанатын әдіс арқылы ажыратуында. Бұл нәтижелерді түсіндіруді жақсартып, аудандар арасындағы салыстыруларда көрсеткіштердің шамадан тыс жоғары бағалануын азайтады. Нәтижелер көрсеткендей, $NDVI > 0.30$ кезінде Алматы қаласының жалпы жасыл аумағы 591.45 км^2 құрайды ($254.94 \text{ м}^2/\text{адам}$), ал жол желісіне жақын қалалық жасыл жамылғы 442.05 км^2 құрайды ($190.54 \text{ м}^2/\text{адам}$), бұл жалпы жасыл аумақтың 74.7%-ына тең. Аудандық деңгейде жол желісіне жақын қалалық жасыл жамылғы $49.24 \text{ м}^2/\text{адамнан}$ (Алмалы) $476.39 \text{ м}^2/\text{адамға дейін}$ (Медеу) өзгеріп, айырмашылық 9.67 есені құрайды. Ең жоғары көрсеткіштер Медеу, Наурызбай және Түркісіб аудандарында байқалса, ең төмен мәндер Алмалы, Әуезов және Жетісу аудандарында тіркелді. Аудандардың рейтингі $NDVI$ шекті мәндерінің таңдалуына қатысты тұрақты болып қалды ($0.25/0.30/0.35$).

Түйін сөздер: $NDVI$, Sentinel-2, жол желісіне жақын қалалық жасыл жамылғы, жасыл кеңістік, Алматы, $\text{м}^2/\text{адам}$.

К. Жуман*, Ж. Асипова, А. Мусағалиева,
Е. Какимжанов, О. Сағымбай, А. Оразхан

Казахский национальный университет имени аль-Фараби, Алматы, Казахстан

*e-mail: karlygash.zhuman1@gmail.com

Пространственная неоднородность озеленения Алматы в разрезе районов: сравнение общей и городской озелененности, прилегающей к дорожной сети ($\text{м}^2/\text{чел.}$) по летнему $NDVI$ -композиту 2025 года

Целью данного исследования является количественная оценка пространственной неоднородности озелененности Алматы по восьми административным районам, а также сравнение общей озелененности в пределах административных границ с городской озелененностью, прилегающей к дорожной сети и ограниченной городским прокси-пространством, определенным на основе дорожного буфера. Для оценки использовались площадные показатели и показатели на душу населения ($\text{м}^2/\text{чел.}$). Методология исследования основана на данных Sentinel-2 L2A (Copernicus Browser) и летнем $NDVI$ -композите за июнь–август 2025 года, построенном как пиксельная медиана восьми спутниковых сцен с низкой облачностью. Картирование озелененности выполнено методом пороговой классификации $NDVI$: в качестве основного порога использовано значение $NDVI > 0.30$, а для анализа чувствительности применены пороги $NDVI > 0.25$ и $NDVI > 0.35$. Городская озелененность, прилегающая к дорожной сети, была операционализирована как зеленые пиксели, расположенные в пределах 500-метрового буфера вокруг улично-дорожной сети, полученной с помощью QuickOSM. Далее в QGIS была рассчитана зональная статистика на уровне районов, а значения на душу населения ($\text{м}^2/\text{чел.}$) определены с использованием официальных данных о численности населения по состоянию на 1 июля 2025 года (Бюро национальной статистики). Оригинальность и ценность исследования заключаются в воспроизводимом разделении «территориальной» и «городской» озелененности для города, административная территория которого включает крупные природные ландшафты. Такой подход повышает интерпретируемость результатов и снижает риск завышения показателей при сравнении районов. Результаты показали, что при $NDVI > 0.30$ общая площадь зеленых территорий Алматы составляет 591.45 км^2 ($254.94 \text{ м}^2/\text{чел.}$), тогда как городская озелененность, прилегающая к дорожной сети, составляет 442.05 км^2 ($190.54 \text{ м}^2/\text{чел.}$), что соответствует 74.7% от общей площади озелененности. На районном уровне значения городской озелененности, прилегающей к дорожной сети, варьируются от $49.24 \text{ м}^2/\text{чел.}$ в Алмалинском районе до $476.39 \text{ м}^2/\text{чел.}$ в Медеуском районе, что соответствует 9.67-кратному различию. Тремя районами с наибольшими показателями являются Медеуский, Наурызбайский и Түркісібский районы, тогда как самые низкие значения наблюдаются в Алмалинском, Ауэзовском и Жетысуском районах. Ранжирование районов остается устойчивым при выборе различных пороговых значений $NDVI$ ($0.25/0.30/0.35$).

Ключевые слова: $NDVI$, Sentinel-2, городская озелененность, прилегающая к дорожной сети, зеленые пространства, Алматы, $\text{м}^2/\text{чел.}$

Introduction

Urban green spaces are increasingly recognized as critical infrastructure for public health and climate resilience in rapidly growing cities. A growing evidence base links exposure to urban greenery with improved mental well-being, reduced all-cause mortality risk, and health benefits mediated through physical activity, stress reduction, and improved environmental quality (Gascon et al., 2016; Twohig-Bennett & Jones, 2018; WHO, 2016; WHO, 2017). In parallel, vegetation contributes to urban climate adaptation by mitigating heat exposure through shading and evapotranspiration; empirical syntheses generally find cooler conditions in greener urban sites, particularly parks and tree-covered areas (Bowler et al., 2010). These benefits make greenness a policy-relevant indicator, especially in cities experiencing intensifying heat and environmental pressures.

However, the benefits of urban greenery are not even distributed. A substantial body of environmental justice and planning research documents “green inequality” – systematic spatial disparities in the quantity and quality of green space across neighborhoods and administrative units, often aligning with differences in development intensity and socio-economic conditions (European Environment Agency, 2022; Rigolon, 2016; Wolch et al., 2014). This motivates district-level assessments that can reveal which parts of the city experience relative deficits, providing an evidence base for targeted greening interventions and equitable planning.

Remote sensing offers a practical, scalable approach for quantifying greenness consistently across large urban territories. The Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) is one of the most widely used satellite-derived indicators of vegetation presence and vigor and is typically computed as $(\text{NIR} - \text{Red}) / (\text{NIR} + \text{Red})$ (Tucker, 1979; USGS, 2020). NDVI has been widely adopted to monitor vegetation patterns and dynamics, including within urban environments, due to its interpretability and compatibility with multi-temporal analyses (Huete et al., 2002; Pettorelli et al., 2005). Nevertheless, NDVI-based road-proximate urban greenness measurement requires methodological decisions – seasonal timing, compositing strategy, and classification thresholds – that can influence absolute estimates

and should therefore be reported transparently and tested for robustness (Huete et al., 2002; Pettorelli et al., 2005).

A further challenge arises when administrative boundaries include extensive natural or semi-natural landscapes that are weakly connected to the inhabited urban fabric. This is particularly relevant for Almaty, a city located in the foothills of the Trans-Ili Alatau, where the official city territory and district extents encompass areas with strong elevation and land-cover contrasts (Akimat of the city of Almaty, 2025, December 17; Encyclopaedia Britannica, 2026, February 3). Under such conditions, greenness measured over the full administrative extent (“total greenness”) may overstate greenness that is plausibly experienced or relevant for day-to-day urban life. Complementary “built-up” or “urban-fabric” proxies can therefore improve interpretability by focusing measurement on spaces closer to the street network or residential areas. This framing is consistent with the broader literature emphasizing not only the amount of green space, but also its spatial availability and proximity to everyday activity spaces (WHO, 2016; European Environment Agency, 2022; Przewoźna, 2024).

Against this background, the present study quantifies spatial heterogeneity of greenness in Almaty across its eight districts and explicitly compares (i) total greenness within administrative boundaries versus (ii) road-proximate urban greenness defined using a road-proximity proxy. Using Sentinel-2 Level-2A imagery accessed through the Copernicus Data Space Ecosystem Browser (Copernicus Data Space Ecosystem, 2025, November 26-28) and district population statistics as of 1 July 2025 (Bureau of National Statistics of Agency for Strategic Planning and Reforms of the Republic of Kazakhstan, 2025, November 19), we compute district-level greenness supply indicators (green area and m^2/person) from a summer 2025 NDVI median composite and evaluate classification sensitivity across commonly used NDVI thresholds. The study’s contributions are: (1) an explicit demonstration of how total versus urban-fabric greenness definitions affect per-capita estimates in a city with large natural areas inside administrative limits; (2) a district-level ranking of greenness supply for identifying relative deficits; and (3) a transparent, reproducible workflow using open satellite data and GIS methods suitable for replication and future extensions.

Methodology

This study focuses on Almaty (Kazakhstan) and its eight administrative districts: Alatau, Almaly, Auezov, Bostandyk, Zhetysu, Medeu, Nauryzбай, and Turksib. District boundaries were used as the primary spatial units for aggregation and comparison of greenness indicators.

Vegetation greenness was assessed using the Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) derived from Sentinel-2 Level-2A (surface reflectance, BOA) data accessed via the Copernicus Data Space Ecosystem Browser (2025, November 26-28). Sentinel-2 provides multispectral imagery suitable for land monitoring applications, including vegetation (Copernicus Data Space Ecosystem, 2025, November 27). NDVI is defined as:

$$NDVI = \frac{NIR - Red}{NIR + Red} \quad (1)$$

where NIR and Red denote reflectance in the near-infrared and red bands, respectively (USGS, 2020). City and district boundaries were obtained in QGIS using OpenStreetMap administrative relations downloaded through the QuickOSM plugin (Overpass API), queried within Almaty and returned as multipolygon geometry for the city and districts. District and city population totals were taken from the Bureau of National Statistics of Kazakhstan: Population of the Republic of Kazakhstan by gender and type of locality (as of July 1, 2025), Table 2 (population by regions/cities/districts), published 14 Aug 2025 (2025). The road network was retrieved from OpenStreetMap using QuickOSM within the Almaty boundary. Pedestrian trails/paths were excluded; all remaining road classes were retained for buffering.

All GIS processing was performed in QGIS 3.34.15. Spatial analyses were carried out in a projected coordinate system to enable area-consistent calculations: WGS 84 / UTM Zone 43N (EPSG:32643). Raster outputs used a final pixel size of 16.503 m, corresponding to a cell area of:

$$S_{pix} = 16.503^2 = 272.35 \text{ m}^2 \quad (2)$$

All intermediate and final datasets were saved in non-proprietary formats (GeoTIFF for rasters; GeoPackage for vectors) to support reproducibility.

To represent peak vegetation conditions and reduce snow/seasonality effects, a summer period (June-August 2025) was used. Eight Sentinel-2 L2A scenes were manually selected based on visual clarity after applying an initial filter of maximum cloud coverage $\leq 20\%$ in the Copernicus Browser: 18.06.2025, 28.06.2025, 03.07.2025, 13.07.2025, 23.07.2025, 12.08.2025, 22.08.2025, 27.08.2025 (2025, November 25-26). A summer NDVI composite was generated using the pixel-wise median across the selected dates. The median composite was chosen to reduce sensitivity to outliers (residual clouds/haze and transient artifacts) while preserving stable seasonal greenness patterns.

Continuous NDVI values were converted into binary greenness masks using three thresholds – $NDVI > 0.25$, $NDVI > 0.30$, and $NDVI > 0.35$. The threshold 0.30 was treated as the primary specification, while 0.25 and 0.35 were used for sensitivity analysis to evaluate robustness of district comparisons to plausible urban vegetation cutoffs. Each threshold produced a raster mask with values 1 (green) and 0 (non-green).

Because Almaty's administrative area includes large natural landscapes, including foothill and forested zones, full administrative-boundary aggregation can inflate greenness-per-capita indicators and reduce their relevance for the inhabited urban fabric. To address this issue, we operationalized a road-proximate urban greenness proxy based on the street network. Specifically, the road network was retrieved from OpenStreetMap using QuickOSM; pedestrian trails and paths were excluded, while all remaining road classes were retained. A 500 m buffer was then generated around the road network, dissolved into a single polygon, and clipped to the official boundary of Almaty city. The resulting city-clipped 500 m road-buffer polygon was used as a spatial mask to extract NDVI-defined green pixels located within the road-proximate urban zone. Thus, "urban greenness" in this study refers to the part of the total NDVI-derived green area that intersects with the 500 m road-buffer mask.

The 500 m buffer distance was selected as a compromise between a strict accessibility threshold

and the need to delineate the everyday urban fabric of Almaty. A narrower 300 m buffer corresponds more closely to minimum walking-distance recommendations, but in this study, it could underrepresent courtyard greenery, street-tree corridors, and green parcels located within larger urban blocks. In contrast, a wider 1000 m buffer would risk extending the proxy zone into peripheral foothill, semi-natural, and non-residential landscapes, especially in the southern districts, thereby reintroducing the upward bias associated with Almaty's large administrative territory. Therefore, the 500 m threshold was used not as a full network-based accessibility model, but as an operational proxy for greenness located within the road-proximate urban fabric. This choice is consistent with the 300-500 m distance range commonly used in urban green-space accessibility studies and allows a balanced comparison between total administrative-boundary greenness and road-proximate urban greenness.

For each district d and NDVI threshold t , two sets of indicators were computed:

(1) The number of green pixels within each district was obtained via zonal aggregation of the binary mask:

$$N_{d,t}^{total} = \sum_{i \in d} M_t(i) \quad (3)$$

where $M_t(i) \in \{0,1\}$ is the greenness mask at threshold t . Total green area was computed as:

$$A_{d,t}^{total} = N_{d,t}^{total} \times S_{pix} \quad (4)$$

(2) Using the masked road-proximate urban greenness raster:

$$N_{d,t}^{urban} = \sum_{i \in d} (M_t(i) \times U(i)) \quad (5)$$

where $U(i) \in \{0,1\}$ indicates whether pixel i lies within the dissolved 500 m road buffer. Urban green area was computed as:

$$A_{d,t}^{urban} = N_{d,t}^{urban} \times S_{pix} \quad (6)$$

Using population Pop_d for each district (as of 1 July 2025), per-capita indicators were computed as:

$$GPC_{d,t}^{total} = \frac{A_{d,t}^{total}}{Pop_d} \quad (7)$$

$$GPC_{d,t}^{urban} = \frac{A_{d,t}^{urban}}{Pop_d} \quad (8)$$

Citywide indicators were derived analogously by treating the city polygon as the aggregation unit.

For quality control three checks were applied:

(1) spot checks confirmed that threshold rasters contained only values 0/1 (required for interpreting sums as pixel counts); (2) for each district and threshold, road-proximate urban greenness did not exceed total greenness (minor boundary effects at district edges were treated as negligible and attributable to rasterization/edge assignment); and (3) district rankings and disparities were evaluated across $NDVI > 0.25/0.30/0.35$ to assess how strongly results depend on threshold choice.

We explicitly acknowledge that: (1) NDVI captures vegetative greenness but does not distinguish publicly accessible green space from private greenery; (2) the 500 m road-buffer provides a transparent proxy for the road-proximate urban fabric rather than a full network-based accessibility model; and (3) the resulting urban proxy depends on the completeness and classification quality of OpenStreetMap road data, the selected buffer distance, and raster boundary effects, which may introduce uncertainty in some peripheral areas.

In addition, the final raster grid, with a pixel size of 16.503 m and a cell area of 272.35 m², implies that area estimates are subject to mixed-pixel and edge effects, especially along narrow green corridors and district boundaries. Future work can reduce these uncertainties by using higher-resolution built-up layers or automated urban extent products, and by enforcing a target grid closer to Sentinel-2's native 10 m sampling for NDVI-derived masks.

All figures and maps presented in this study were compiled by the authors based on the data and methods described above.

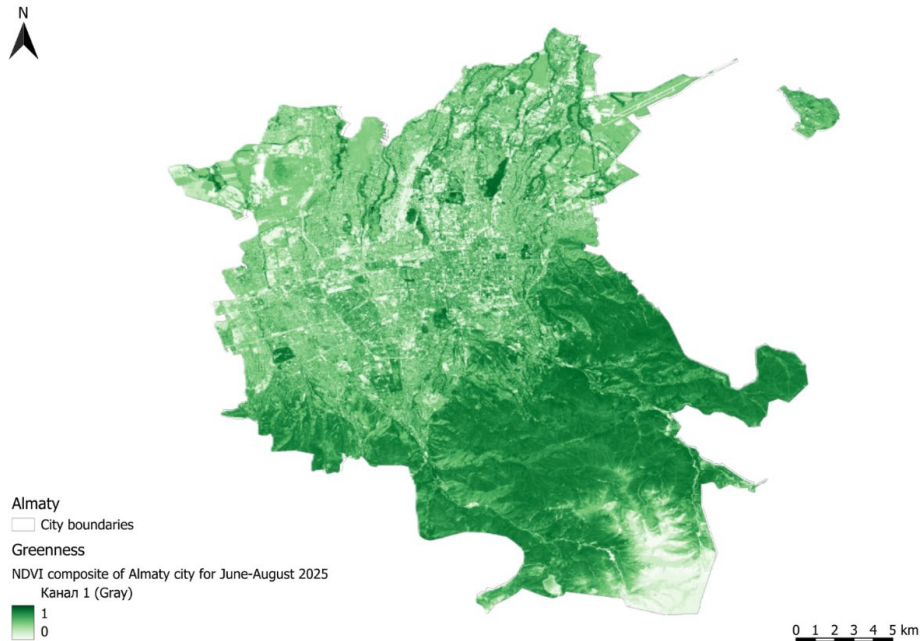
Results and discussion

Using the summer 2025 NDVI composite (Figure 1A) and the primary threshold $NDVI > 0.30$ (Figure 1B), the estimated total green area

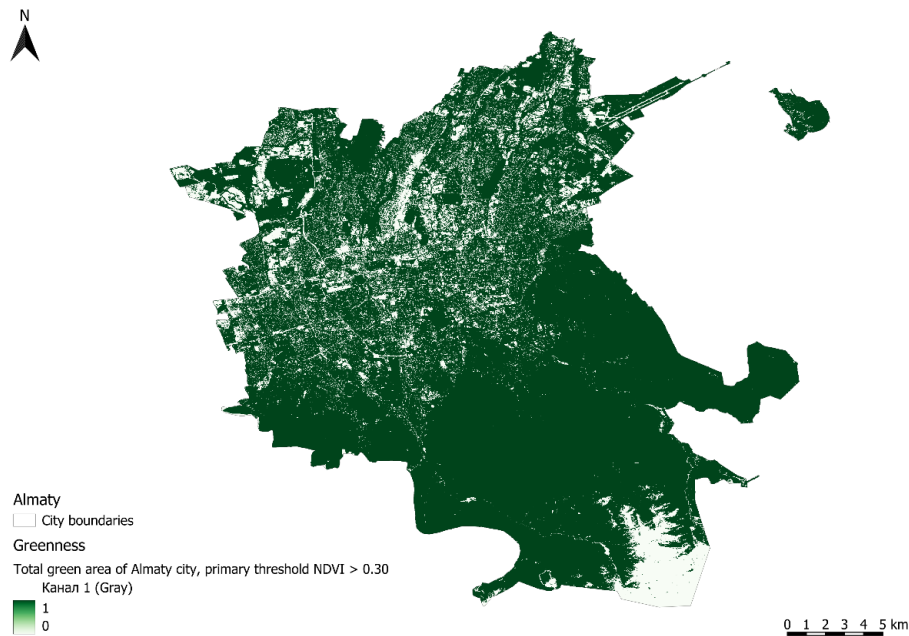
within Almaty’s administrative boundary equals 591,452,690.4 m² ($\approx$ 591.45 km²), corresponding to 254.94 m²/person (population 2,319,893 as of 1 July 2025). When greenness is constrained to the

road-proximate urban zone defined by the 500 m road-network buffer, the urban green area equals 442,046,382.7 m² ($\approx$ 442.05 km²) and 190.54 m²/person (Figure 1D) (Table 1).

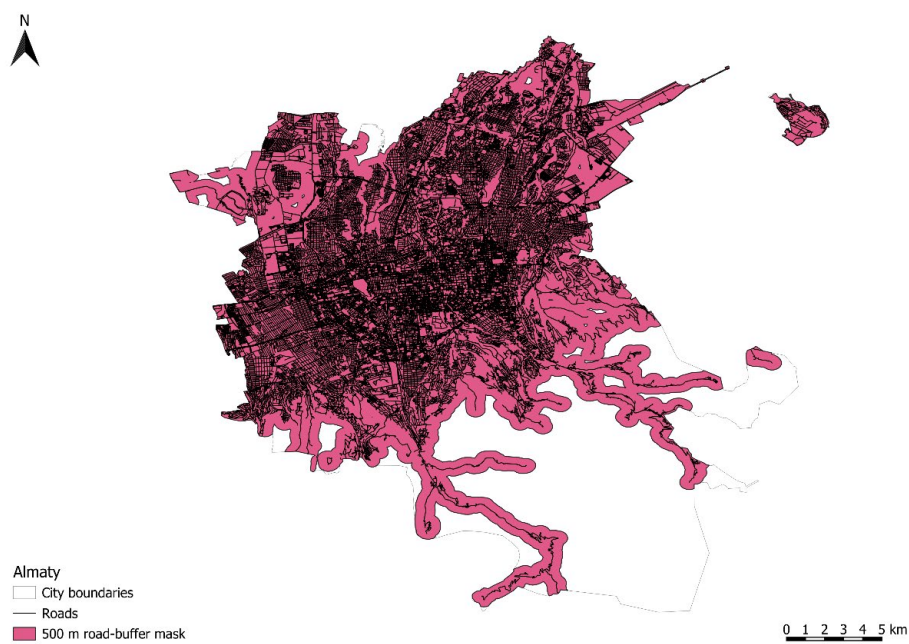
Figure 1
Spatial distribution of NDVI-derived greenness in Almaty, summer 2025



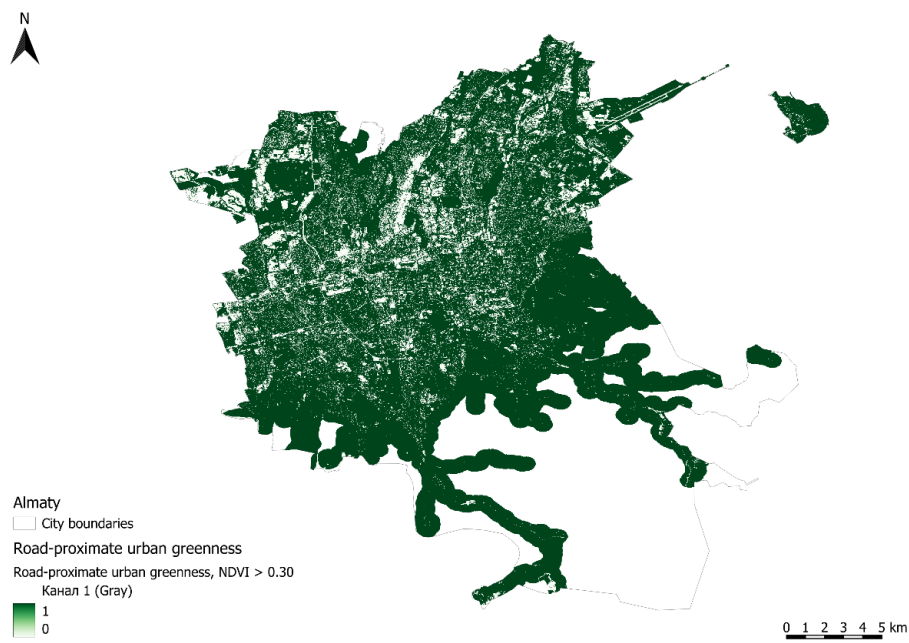
1A. NDVI composite of Almaty city for June-August 2025



1B. Total green area of Almaty city, primary threshold NDVI > 0.30



1C. 500 m road-buffer mask



1D. Extracted road-proximate urban greenness, NDVI > 0.30

Table 1*The area of total greenery and road-proximate urban greenery in Almaty city for the summer of 2025*

Region	Number of population, person	The number of pixels of total greenery	The total area of greenery, m ²	The total area of greenery per person, m ² /person	The number of pixels of road-proximate urban greenery	The total area of road-proximate urban greenery, m ²	The area of road-proximate urban greenery per person, m ² /person
Almaty city	2 319 893	2 171 664	591 452 690,4	254,94	1 623 082	442 046 382,7	190,54

Thus, road-proximate urban greenness accounts for 74.7% of total greenness by area, and the citywide per-capita estimate decreases by 64.40 m²/person (from 254.94 to 190.54 m²/person), i.e., by approximately 25%. This indicates that a non-trivial share of NDVI-defined greenness lies outside the road-proximate urban fabric and inflates administrative-boundary greenness metrics.

District-level results show pronounced spatial heterogeneity in both total and road-proximate urban greenness (Table 2). The spatial distribution of greenness in the NDVI composite (Figure 1A) and derived green area maps (Figures 1B and 1D) reflects Almaty's pronounced topographic and land-use gradient. The highest NDVI values are concentrated in the southern districts – Medeu and Bostandyk – where natural forest belts, riparian vegetation along the Malaya and Bolshaya

Almatinka rivers, and the Ile-Alatau National Park buffer form continuous high-NDVI patches. Moving northward toward the flat, densely built-up core (Almaly, Auezov, Zhetysu), NDVI values drop sharply and greenness becomes fragmented into narrow linear elements (street trees) and small isolated parcels (courtyards, schoolyards). Turksib district, despite its northern location, retains relatively higher road-proximate urban greenness (220.87 m²/person), likely reflecting lower residential density and the presence of peri-urban parcels with maintained vegetation. These spatial patterns align with Almaty's current urban development priorities: municipal greening programs have targeted street-tree planting and courtyard greening (mahalle greening) as primary measures – interventions most needed in the low-greenness northern districts identified here.

Table 2*The area of total greenery and road-proximate urban greenery in Almaty districts for the summer of 2025*

District	Number of population, person	The number of pixels of total greenery	The total area of greenery, m ²	The total area of greenery per person, m ² /person	The number of pixels of road-proximate urban greenery	The total area of road-proximate urban greenery, m ²	The area of road-proximate urban greenery per person, m ² /person
Alatau	393 247	285 761	77 827 008,35	197,9	272 421	74 193 859,35	188,66
Almaly	271 429	49 044	13 357 133,4	49,21	49 074	13 365 303,9	49,24
Auezov	358 611	67 039	18 258 071,65	50,91	67 136	18 284 489,6	50,98
Bostandyk	343 586	329 415	89 716 175,25	261,11	256 977	69 987 685,95	203,69
Zhetysu	199 417	100 901	27 480 387,35	137,8	100 900	27 480 115	137,8
Medeu	253 550	888 443	241 967 451,1	954,31	443 514	120 791 037,9	476,39
Nauryzbay	231 449	229 737	62 568 871,95	270,33	212 454	57 861 846,9	249,99
Turksib	268 604	218 578	59 529 718,3	221,62	217 840	59 328 724	220,87

Under road-proximate urban greenness (NDVI > 0.30), values range from 49.24 m²/person in Almaly district to 476.39 m²/person in Medeu district, i.e., a 9.67-fold difference – absolute gap 427.15 m²/person. The top three districts by road-proximate urban greenness are Medeu – 476.39 m²/person, Nauryzbay – 249.99 m²/person, and Turksib – 220.87 m²/person. The bottom three are

Almaly – 49.24 m²/person, Auezov – 50.98 m²/person, and Zhetysu – 137.80 m²/person.

Comparing total versus road-proximate urban greenness clarifies where administrative metrics are most affected by non-road-proximate green areas (Table 2). The strongest reduction occurs in Medeu, where greenness decreases from 954.31 m²/person (total) to 476.39 m²/person (urban) –

approximately a 50% decrease – consistent with large natural areas not captured by the road-buffer proxy. A moderate reduction is also observed in Bostandyk (from 261.11 to 203.69 m²/person, a 22% decrease). In contrast, several districts show

minimal differences between total and road-proximate urban greenness, indicating that most NDVI-defined greenness lies within the road-proximate zone in these areas (e.g., Zhetysu and Turksib; differences near zero).

Table 3

The area of total greenery and road-proximate urban greenery in Almaty districts for the summer of 2025 (NDVI > 0.25)

District	Number of population, person	The number of pixels of total greenery	The total area of greenery, m ²	The total area of greenery per person, m ² /person	The number of pixels of road-proximate urban greenery	The total area of road-proximate urban greenery, m ²	The area of road-proximate urban greenery per person, m ² /person
Almaty city	2 319 893	2 239 566	609 945 800,1	262,91	1 682 732	458 292 060,2	197,54
Alatau	393 247	305 020	83 072 197	211,24	290 863	79 216 538,05	201,44
Almaly	271 429	51 746	14 093 023,1	51,92	51 762	14 097 380,7	51,93
Auezov	358 611	70 534	19 209 934,9	53,56	70 628	19 235 535,8	53,63
Bostandyk	343 586	335 702	91 428 439,7	266,1	263 146	71 667 813,1	208,58
Zhetysu	199 417	106 793	29 085 073,55	145,85	106 803	29 087 797,05	145,86
Medeu	253 550	901 990	245 656 976,5	968,86	449 769	122 494 587,15	483,11
Nauryzbay	231 449	236 175	64 322 261,25	277,91	218 876	59 610 878,6	257,55
Turksib	268 604	228 693	62 284 538,55	231,88	227 947	62 081 365,45	231,12

Table 4

The area of total greenery and road-proximate urban greenery in Almaty districts for the summer of 2025 (NDVI > 0.35)

District	Number of population, person	The number of pixels of total greenery	The total area of greenery, m ²	The total area of greenery per person, m ² /person	The number of pixels of road-proximate urban greenery	The total area of road-proximate urban greenery, m ²	The area of road-proximate urban greenery per person, m ² /person
Almaty city	2 319 893	2 112 969	575 467 107,2	248,05	1 570 555	427 740 654,3	184,37
Alatau	393 247	268 016	72 994 157,6	185,61	255 535	69 594 957,25	176,97
Almaly	271 429	46 869	12 764 772,15	47,02	46 899	12 772 942,65	47,05
Auezov	358 611	63 845	17 388 185,75	48,48	63 943	17 414 876,05	48,56
Bostandyk	343 586	324 005	88 242 761,75	256,82	251 703	68 551 312,05	199,51
Zhetysu	199 417	96 144	26 184 818,4	131,3	96 139	26 183 456,65	131,3
Medeu	253 550	877 989	239 120 304,2	943,08	438 185	119 339 684,8	470,67
Nauryzbay	231 449	223 802	60 952 474,7	263,35	206 528	56 247 900,8	243,02
Turksib	268 604	209 680	57 106 348	212,6	208 988	56 917 881,8	211,9

Sensitivity analysis confirms that district comparisons are robust to plausible NDVI thresholds (Tables 3,4). For road-proximate urban greenness, switching from NDVI > 0.25 to NDVI > 0.35 changes per-capita values by roughly ~3-13% relative to the NDVI > 0.30 baseline across districts (smallest relative change in Medeu; larger relative changes in several low-greenness districts and in Alatau). Importantly, the top-3 (Medeu, Nauryzbay, Turksib) and bottom-3 (Almaly, Auezov, Zhetysu)

district rankings remain unchanged across thresholds, supporting the stability of the identified spatial pattern.

Internal checks confirmed the expected inequality road-proximate urban greenness ≤ total greenness for most districts and thresholds. Two districts exhibited very small inversions attributable to raster edge assignment along district boundaries: for NDVI > 0.30, urban pixel counts exceeded total pixel counts by 30 pixels in Almaly and 97 pixels

in Auezov. Given the raster cell area ($\approx 272.35 \text{ m}^2$), these differences correspond to approximately $0.03 \text{ m}^2/\text{person}$ and $0.07 \text{ m}^2/\text{person}$, respectively – negligible relative to district-level magnitudes and not affecting conclusions. Similar minor differences were observed for thresholds 0.25 and 0.35.

The results demonstrate strong intra-urban heterogeneity of greenness across Almaty's districts. Under the primary specification ($\text{NDVI} > 0.30$), road-proximate urban greenness ranges from $\sim 49 \text{ m}^2/\text{person}$ in the most deficit districts (Almaly, Auezov) to $\sim 476 \text{ m}^2/\text{person}$ in Medeu, producing nearly a tenfold disparity. Such gaps are consistent with the expectation that administrative districts differ substantially in their land-use structure, development intensity, and proximity to large vegetated landscapes. In dense, highly built-up areas (e.g., central districts), greenness tends to be spatially fragmented and dominated by narrow corridors (street trees) and small parcels, which are harder to capture as “large-area” greenness at the district scale. Conversely, districts adjacent to extensive natural landscapes or large park/forest systems can maintain very high greenness-per-capita even when restricting analysis to the road-proximate zone.

A key methodological and substantive finding is that citywide and district-level greenness estimates depend strongly on whether the measurement is taken over the full administrative extent (“total”) or constrained to the road-proximate urban proxy. Citywide, the road-proximate urban proxy retains $\sim 74.7\%$ of total greenness area, while per-capita greenness declines from 254.94 to $190.54 \text{ m}^2/\text{person}$. This indicates that a meaningful portion of NDVI-defined greenness falls outside the road-proximate urban fabric and can inflate administrative-boundary indicators.

At the district level, the contrast is most evident in Medeu, where road-proximate urban greenness is roughly half of total greenness ($954.31 - 476.39 \text{ m}^2/\text{person}$). This pattern is consistent with Medeu's inclusion of large vegetated areas that are not necessarily representative of everyday greenness exposure for the majority of residents. In contrast, several districts show minimal differences between total and road-proximate urban greenness, implying that most vegetated pixels are concentrated within the road-proximate zone. Therefore, reporting only “total greenness” risks overstating the greenness available within the inhabited fabric and may

obscure the districts where greenness deficits are most relevant for urban planning.

The spatial pattern is robust to plausible classification choices. The top- and bottom-ranked districts remain unchanged across NDVI thresholds 0.25/0.30/0.35, suggesting that the observed heterogeneity is not an artifact of a single cutoff. Although absolute per-capita values shift with the threshold (as expected when moving from a more inclusive to a more conservative vegetation definition), the stability of rankings strengthens confidence in the qualitative conclusions regarding relative district deficits. Practically, this implies that greenness disparities in Almaty are sufficiently pronounced to be detectable under a range of reasonable NDVI definitions, which is important for comparability and policy interpretation.

From a planning perspective, the results identify districts with consistently low road-proximate urban greenness-per-capita (notably Almaly and Auezov, and to a lesser extent Zhetysu) as priority areas for interventions that increase vegetated cover within the urban fabric. Because district-scale deficits can be driven by both limited available land and high population exposure, the most feasible strategies in low-greenness districts are typically those that do not require large contiguous parcels – e.g., strengthening street-tree networks and green corridors, pocket parks, greening of schoolyards and courtyards, and targeted redevelopment of underutilized land. Conversely, districts with high greenness-per-capita (especially Medeu and Nauryzbay) may benefit less from “more greenness” in aggregate and more from ensuring connectivity, maintenance, and equitable distribution within the built-up zone.

Importantly, the distinction between total and road-proximate urban greenness helps avoid misprioritization: a district can appear “green” under total metrics due to peripheral natural landscapes while still having localized greenness deficits within its built-up neighborhoods. Therefore, operational planning should consider urban-fabric greenness indicators as more actionable inputs than administrative-boundary totals in a city with large natural areas inside its official limits.

Several limitations should be considered when interpreting the findings. First, NDVI captures surface “greenness” and does not directly distinguish vegetation type, height, or public

accessibility; consequently, NDVI-based greenness-per-capita should be interpreted as a biophysical indicator rather than a measure of park access. Second, the “urban” proxy zone is derived from a road-buffer approach, which may exclude some relevant urban green areas beyond the buffer or include vegetated areas along roads that are not necessarily publicly accessible or usable. The proxy also depends on the completeness and classification quality of OpenStreetMap road data and on the selected buffer distance. Third, the final grid resolution (16.503 m) implies mixed-pixel effects and boundary assignment uncertainty, which can produce negligible edge discrepancies between total and urban pixel counts in a small number of cases, without affecting district-level conclusions.

Future work can address these limitations by (1) validating the road-buffer urban proxy with independent built-up products (e.g., global built-up layers) and comparing multiple definitions of “urban extent”; (2) incorporating higher-resolution land cover or tree canopy data to better differentiate vegetation types; and (3) evaluating accessibility with network-based methods using entry points to parks and pedestrian connectivity to complement NDVI-based greenness supply metrics.

Conclusion

This study quantified the spatial heterogeneity of greenness in Almaty across eight districts using a summer 2025 Sentinel-2 NDVI median composite and compared total greenness (within administrative boundaries) with road-proximate urban greenness, operationalized as greenness located within a dissolved 500 m buffer of the road network. Three NDVI thresholds (0.25/0.30/0.35) were used to test robustness, with $\text{NDVI} > 0.30$ as the primary specification.

At the city scale ($\text{NDVI} > 0.30$), total green area reached 591.45 km² (254.94 m²/person), while road-proximate urban greenness amounted to 442.05 km² (190.54 m²/person), i.e., 74.7% of total greenness by area. This confirms that administrative-boundary greenness indicators can be meaningfully inflated by vegetated land outside the road-proximate urban fabric in a city with extensive natural landscapes inside its formal boundary.

At the district scale, greenness proved highly uneven. For road-proximate urban greenness ($\text{NDVI} > 0.30$), per-capita values ranged from 49.24 m²/person (Almaly) to 476.39 m²/person (Medeu) – a 9.67-fold disparity. The top three districts by road-proximate urban greenness were Medeu, Nauryzbay, and Turksib, while the lowest values were consistently observed in Almaly and Auezov (followed by Zhetysu). The contrast between total and urban metrics was most pronounced in Medeu, where restricting greenness to the road-buffer zone reduced the per-capita indicator by approximately half, highlighting the importance of reporting “urban-fabric” metrics for planning interpretation.

Sensitivity analysis showed that the district ranking is robust to plausible NDVI thresholds (0.25/0.30/0.35): the top-3 and bottom-3 districts remained unchanged, indicating that the identified spatial pattern is not driven by a single classification cutoff. Minor boundary effects (small pixel-count inversions in two districts) were negligible and did not affect conclusions.

From a practical perspective, the results suggest that greening priorities should focus on districts with persistently low road-proximate urban greenness-per-capita (notably Almaly and Auezov, and to a lesser extent Zhetysu) through interventions that are feasible in dense urban fabrics – e.g., strengthening street-tree networks, park pockets, and green corridors. Methodologically, the proposed workflow provides a transparent and reproducible way to distinguish territorial greenness from road-proximate urban greenness, improving the interpretability of per-capita indicators in cities with large non-residential natural areas.

Future work should reduce remaining uncertainties by validating the road-buffer proxy against independent built-up extent products, incorporating higher-resolution land-cover/tree-canopy data, and extending from proximity proxies to network-based accessibility measures where detailed inputs are available.

Acknowledgements

This research was funded by the Science Committee of the Ministry of Science and Higher Education of the Republic of Kazakhstan under project AP26103653 Recreational capacity

modeling using UAV, GIS and AI tools to prevent overtourism in Ile-Alatau National Park.

Authors' contributions

Conceptualization: Karlygash Zhuman; Methodology: Karlygash Zhuman; Software: Karlygash Zhuman and Yerkin Kakimzhanov; Validation: Karlygash Zhuman, Zhanna Assipova, Aizhan Mussagaliyeva, Yerkin Kakimzhanov, Oketay Sagymbay and Aigerim Orazkhan; Formal Analysis: Karlygash Zhuman; Investigation:

Karlygash Zhuman; Resources: Karlygash Zhuman, Zhanna Assipova and Yerkin Kakimzhanov; Data Curation: Karlygash Zhuman; Writing – Original Draft Preparation: Karlygash Zhuman; Writing – Review & Editing: Karlygash Zhuman, Zhanna Assipova, Aizhan Mussagaliyeva, Yerkin Kakimzhanov, Oketay Sagymbay and Aigerim Orazkhan; Visualization: Karlygash Zhuman, Yerkin Kakimzhanov and Aigerim Orazkhan; Supervision: Zhanna Assipova; Project Administration: Zhanna Assipova; Funding Acquisition: Zhanna Assipova.

References

- Gascon, M., Triguero-Mas, M., Martínez, D., Dadvand, P., Rojas-Rueda, D., Plasència, A., Nieuwenhuijsen, M. J. (2016). Residential green spaces and mortality: a systematic review. *Environment international*, 86, 60-67. DOI: 10.1016/j.envint.2015.10.013.
- Twohig-Bennett, C., Jones, A. (2018). The health benefits of the great outdoors: A systematic review and meta-analysis of greenspace exposure and health outcomes. *Environmental research*, 166, 628-637. DOI: 10.1016/j.envres.2018.06.030.
- World Health Organization. Regional Office for Europe. (2016). Urban green spaces and health: a review of evidence. World Health Organization. Regional Office for Europe. (No. WHO/EURO: 2016-3352-43111-60341).
- World Health Organization. Regional Office for Europe (2017). Urban green space interventions and health: a review of impacts and effectiveness. World Health Organization. Regional Office for Europe. (No. WHO/EURO: 2017-6358-46124-66715).
- Bowler, D. E., Buyung-Ali, L., Knight, T. M., Pullin, A. S. (2010). Urban greening to cool towns and cities: A systematic review of the empirical evidence. *Landscape and urban planning*, 97(3), 147-155. DOI: 10.1016/j.landurbplan.2010.05.006.
- European Environment Agency. (2022). Who benefits from nature in cities? Social inequalities in access to urban green and blue spaces across Europe, available at: <https://www.eea.europa.eu/en/analysis/publications/who-benefits-from-nature-in-cities-social-inequalities-in-access-to-urban-green-and-blue-spaces-across-europe> (accessed: January 13, 2026) (in English).
- Rigolon, A. (2016). A complex landscape of inequity in access to urban parks: A literature review. *Landscape and urban planning*, 153, 160-169.
- Wolch, J. R., Byrne, J., Newell, J. P. (2014). Urban green space, public health, and environmental justice: The challenge of making cities 'just green enough'. *Landscape and urban planning*, 125, 234-244. DOI: 10.1016/j.landurbplan.2014.01.017.
- Tucker, C. J. (1979). Red and photographic infrared linear combinations for monitoring vegetation. *Remote sensing of Environment*, 8(2), 127-150. DOI: 10.1016/0034-4257(79)90013-0.
- USGS (2020). Landsat normalized difference vegetation index. US Geological Survey, available at: <https://www.usgs.gov/landsat-missions/landsat-normalized-difference-vegetation-index> (accessed: November 26, 2025) (in English).
- Huete, A., Didan, K., Miura, T., Rodriguez, E. P., Gao, X., Ferreira, L. G. (2002). Overview of the radiometric and biophysical performance of the MODIS vegetation indices. *Remote sensing of environment*, 83(1-2), 195-213. DOI: 10.1016/S0034-4257(02)00096-2.
- Pettorelli, N., Vik, J. O., Myrsetrud, 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. DOI: 10.1016/j.tree.2005.05.011.
- Copernicus Data Space Ecosystem (2025, November 26), Sentinel-2 mission overview (data collection), available at: <https://dataspace.copernicus.eu/data-collections/copernicus-sentinel-missions/sentinel-2> (in English).
- Copernicus Data Space Ecosystem (2025, November 27), About the Browser (platform documentation), available at: <https://documentation.dataspace.copernicus.eu/Applications/Browser.html> (in English).
- Copernicus Data Space Ecosystem (2025, November 28), Sentinel-2 L2A documentation / collection details (cloud cover metadata etc.), available at: <https://documentation.dataspace.copernicus.eu/APIs/SentinelHub/Data/S2L2A.html> (in English).
- Akimat of the city of Almaty (2025, December 17), Almaty administrative structure (8 districts), available at: <https://www.gov.kz/memleket/entities/almaty/about/structure/484/1?lang=en> (in English).
- Encyclopaedia Britannica (2026, February 3), Almaty, available at: <https://www.britannica.com/place/Almaty-Kazakhstan> (in English).
- Przewoźna, P., Ingłot, A., Mielewczyk, M., Maczka, K., & Matczak, P. (2024). Accessibility to urban green spaces: A critical review of WHO recommendations in the light of tree-covered areas assessment. *Ecological Indicators*, 166, 112548. DOI: 10.1016/j.ecolind.2024.112548.
- Bureau of National Statistics of Agency for Strategic Planning and Reforms of the Republic of Kazakhstan (2025, August 14), Population of the Republic of Kazakhstan by gender and type of locality (as of July 1, 2025), available at: <https://stat.gov.kz/en/industries/social-statistics/demography/publications/411844/> (in English).

Information about the authors:

Karlygash Zhuman (corresponding author) – PhD Student of Department of Geography, Land Management and Cadastre at al-Farabi KazNU (Almaty, Kazakhstan, e-mail: karlygash.zhuman1@gmail.com).

Zhanna Assipova – PhD, associate professor of Department of Geography, Land Management and Cadastre at al-Farabi KazNU (Almaty, Kazakhstan, e-mail: assipova.zhanna@gmail.com).

Aizhan Mussagaliyeva – PhD, associate professor of Department of Geography, Land Management and Cadastre at al-Farabi KazNU (Almaty, Kazakhstan, e-mail: aizhan.mussagaliyeva@kaznu.edu.kz).

Yerkin Kakymzhanov – PhD, associate professor of Department of Cartography and Geoinformatics at al-Farabi KazNU (Almaty, Kazakhstan, e-mail: erkyn.kakymzhanov@kaznu.edu).

Oketay Sagymbay – Candidate of Geographical Sciences, senior lecturer of Department of Geography, Land Management and Cadastre at al-Farabi KazNU (Almaty, Kazakhstan, e-mail: oketay.sagymbay@kaznu.kz).

Aigerim Orazkhan – Master's Student of Department of Geography, Land Management and Cadastre at al-Farabi KazNU (Almaty, Kazakhstan, e-mail: aigerim.bolatbekqyzy@mail.ru).

Авторлар туралы мәлімет:

Қарлығаш Жұман (жауапты автор) – әл-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университетінің география, жерге орналастыру және кадастр кафедрасының докторанты (Алматы, Қазақстан, e-mail: karlygash.zhuman1@gmail.com).

Жанна Асипова – PhD, әл-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университетінің география, жерге орналастыру және кадастр кафедрасының доценті (Алматы, Қазақстан, e-mail: assipova.zhanna@gmail.com).

Айжан Мусағалиева – PhD, әл-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университетінің география, жерге орналастыру және кадастр кафедрасының доценті (Алматы, Қазақстан, e-mail: aizhan.mussagaliyeva@kaznu.edu.kz).

Еркін Какымжанов – PhD, әл-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университетінің картография және геоинформатика кафедрасының доценті (Алматы, Қазақстан, e-mail: erkyn.kakymzhanov@kaznu.edu).

Өкетай Сағымбай – география ғылымдарының кандидаты, әл-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университетінің география, жерге орналастыру және кадастр кафедрасының аға оқытушысы (Алматы, Қазақстан, e-mail: oketay.sagymbay@kaznu.kz).

Айгерім Оразхан – әл-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университетінің география, жерге орналастыру және кадастр кафедрасының магистранты (Алматы, Қазақстан, e-mail: aigerim.bolatbekqyzy@mail.ru).

Сведения об авторах:

Карлыгаш Жұман (ответственный автор) – докторант кафедры географии, землеустройства и кадастра Казахского национального университета имени аль-Фараби (Алматы, Казахстан, e-mail: karlygash.zhuman1@gmail.com).

Жанна Асипова – PhD, доцент кафедры географии, землеустройства и кадастра Казахского национального университета имени аль-Фараби (Алматы, Казахстан, e-mail: assipova.zhanna@gmail.com).

Айжан Мусағалиева – PhD, доцент кафедры географии, землеустройства и кадастра Казахского национального университета имени аль-Фараби (Алматы, Казахстан, e-mail: aizhan.mussagaliyeva@kaznu.edu.kz).

Еркін Какымжанов – PhD, доцент-исследователь кафедры картографии и геоинформатики Казахского национального университета имени аль-Фараби (Алматы, Казахстан, e-mail: erkyn.kakymzhanov@kaznu.edu).

Өкетай Сағымбай – кандидат географических наук, старший преподаватель кафедры географии, землеустройства и кадастра Казахского национального университета имени аль-Фараби (Алматы, Казахстан, e-mail: oketay.sagymbay@kaznu.kz).

Айгерім Оразхан – магистрант кафедры географии, землеустройства и кадастра Казахского национального университета имени аль-Фараби (Алматы, Казахстан, e-mail: aigerim.bolatbekqyzy@mail.ru).

Received: January 29, 2026

Accepted: May 15, 2026

А.Б. Жолдасбек , Н.М. Орынбаев , Д.К. Молжигитова ,
Ш.К. Кадыр , А.А. Арыстанов* 

Казахский национальный аграрный исследовательский университет, Алматы, Казахстан

*e-mail: adilet_098.kz@mail.ru

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ МЕТОДОВ ОЦЕНКИ ТРАНСПОРТНОЙ ДОСТУПНОСТИ И РАЗРАБОТКА ИНТЕГРИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ ДЛЯ СЕВЕРО-КАЗАХСТАНСКОЙ ОБЛАСТИ

В данной статье мы адаптировали классические методы оценки транспортной доступности под специфику дорожной сети Северо-Казахстанской области, учитывая значительную удаленность населенных пунктов от магистральных путей. Мы полагаем, что стандартные показатели транспортной обеспеченности дают лишь поверхностное представление о ситуации в регионе. Для Северо-Казахстанской области критически важно дополнить эти методы оценкой реальной эксплуатационной надежности дорожных путей. В связи с этим проведен сравнительный анализ отечественных и зарубежных методик оценки транспортной доступности, включая гравитационные модели и метод накопленных возможностей. Мы установили, что существующие методики дают упрощенную картину, так как не учитывают специфические риски Северо-Казахстанской области – от весенней распутицы до разного уровня инфраструктурного потенциала малых и опорных сел.

В качестве решения предлагаем интегрированную систему оценки транспортной доступности, основанную на сочетании геоинформационных систем и инструментов гравитационного моделирования. В отличие от традиционных подходов, предложенная модель позволяет учитывать не только время перемещения, но и доступность различных видов услуг и экономических возможностей.

Полученные результаты могут быть использованы при планировании транспортной инфраструктуры региона, в том числе для обоснования приоритетов инвестирования и повышения связности территории. Предложенный подход направлен на снижение пространственных диспропорций и повышение эффективности регионального развития.

Ключевые слова: транспортная доступность, Северо-Казахстанская область, геоинформационные системы, интегрированная система, гравитационная модель.

A.B. Zholdasbek, N.M. Orynbayev, D.K. Molzhigitova,
Sh.K. Kadyr, A.A. Arystanov*

Kazakh National Agrarian Research University, Almaty, Kazakhstan

*e-mail: adilet_098.kz@mail.ru

Comparative analysis of transport accessibility assessment methods and development of an integrated system for the North Kazakhstan Region

This article adapts classical transport accessibility assessment methods to the specific characteristics of the road network in the North Kazakhstan Region, accounting for the significant remoteness of settlements from trunk routes. We contend that standard transport provision indicators offer only a superficial understanding of the regional situation. For the North Kazakhstan Region, it is critical to supplement these methods with an assessment of actual operational reliability. Consequently, a comparative analysis of domestic and international assessment methodologies was conducted, including gravity models and the cumulative opportunities method. Our findings indicate that existing frameworks provide an oversimplified picture, as they fail to account for region-specific risks—ranging from spring thaw to varying infrastructure potentials between small and support rural settlements.

As a solution, we propose an integrated transport accessibility assessment system based on the synergy of Geographic Information Systems and gravity modeling tools. Unlike traditional approaches, the proposed model accounts not only for travel time but also for the availability of various services and economic opportunities. The results can be applied to regional transport infrastructure planning, specifically to justify investment priorities and enhance territorial connectivity. The proposed approach is aimed at reducing spatial disparities and increasing the overall efficiency of regional development.

Keywords: transport accessibility, North Kazakhstan Region, Geographic Information Systems, integrated system, gravity model.

Ә.Б. Жолдасбек, Н.М. Орынбаев, Д.К. Молжигитова,
Ш.Қ. Қадыр, А.А. Арыстанов*

Қазақ ұлттық аграрлық зерттеу университеті, Алматы, Қазақстан

*e-mail: adilet_098.kz@mail.ru

Көліктік қолжетімділікті бағалау әдістерін салыстырмалы талдау және Солтүстік Қазақстан облысы үшін интеграцияланған жүйені әзірлеу

Бұл мақалада Солтүстік Қазақстан облысының жол желісінің ерекшеліктері мен елді мекендердің негізгі магистральдық жолдардан едәуір қашықтығын ескере отырып, көліктік қолжетімділікті бағалаудың классикалық әдістеріне бейімдедік. Көліктік қамтамасыз етілудің стандартты көрсеткіштері өңірдегі жағдай туралы толық түсінік бермейді деп есептейміз. Солтүстік Қазақстан облысы үшін бұл әдістерді жол бағыттары үшін нақты пайдалануды толықтырудың маңызы зор. Осыған орай көліктік қолжетімділікті бағалаудың отандық және шетелдік әдістемелеріне, соның ішінде гравитациялық модельдер мен жиналған мүмкіндіктер әдісіне салыстырмалы талдау жүргіздік. Қолданыстағы әдістердің толық көрініс бермейтінін анықтадық, өйткені олар Солтүстік Қазақстан облысына тән – көктемгі ерігеннен бастап шағын және тірек ауылдардың инфрақұрылымдық әлеуетінің әртүрлі деңгейіне дейін есепке алмайды.

Мәселені шешу ретінде геоақпараттық жүйелер мен гравитациялық модельдеу құралдарының үйлесіміне негізделген көліктік қолжетімділікті бағалаудың интеграцияланған жүйесі ұсынылады. Бұл жүйенің дәстүрлі тәсілдерден айырмашылығы, ұсынылған модель тек жол жүру уақытын ғана емес, сонымен қатар әртүрлі қызмет түрлері мен экономикалық мүмкіндіктердің қолжетімділігін де ескеруге мүмкіндік береді.

Алынған нәтижелер аймақтық көлік инфрақұрылымын жоспарлауда, соның ішінде инвестициялауды негіздеу және аймақтық байланысты жақсарту үшін пайдаланылуы мүмкін. Ұсынылған тәсіл кеңістіктік диспропорцияларды азайтуға және өңірлік дамудың тиімділігін арттыруға бағытталған.

Түйін сөздер: көліктік қолжетімділік, Солтүстік Қазақстан облысы, геоақпараттық жүйелер, интеграцияланған жүйе, гравитациялық модель.

Введение

Транспортная доступность это критический фактор которая определяет региональное развитие, экономические показатели и качество жизни населения. Когда транспортная система работает эффективно – растет производительность труда, расширяются границы рынков и повышается инвестиционный потенциал региона.

Интеграция регионов Казахстана нуждаются в новых открытиях, старые методы оценки устарели и нам нужна более современная база, адаптированная под регион. Северо-Казахстанская область имеет обширную территорию, низкую плотность населения и резко континентальный климат. Эти факторы влияют на состояние дорожной сети и надежность транспортных сообщений.

Для повышения потенциала СКО необходимо внедрить ряд стратегий развития, которые ориентированы на решение насколько быстро и удобно жители могут добраться до своих пунктов назначения.

Цель исследования – проведение сравнительного анализа методик оценки транспортной доступности Казахстана и мирового опыта оценки транспортной доступности, их применимость и

адаптивность под Северо-Казахстанскую область, разработка концепции интегрированной системы оценки транспортной доступности.

Материалы и методы исследования

Северо-Казахстанская область (СКО) занимает 98,0 тыс. кв. км (3,6% территории РК) с населением 522,2 тыс. человек на начало 2025 года. Специфика региона – высокая доля сельского населения (50,5%) и аграрная специализация – предъявляет особые требования к транспортной связности.

Автодорожная инфраструктура. Общая протяженность сети составляет 8883,4 км. Анализ показал критический дисбаланс в качестве дорог разного значения:

Республиканские дороги (1969,8 км): 87% находятся в нормативном состоянии.

Областные дороги (1983 км): В нормативном состоянии находятся 84%, однако 16% (325,4 км) требуют немедленного ремонта. При этом 31% дорог имеют гравийно-щебеночное покрытие, а 1,3% – грунтовое.

Районные дороги (4463,2 км): Самое слабое звено. Лишь 66,1% дорог находятся в нормативном состоянии. Почти четверть сети (24,1% или

1075,9 км) – это грунтовые дороги, что делает их практически непроходимыми в периоды межсезонья и паводков (Akimat of NKR, 2025).

Карта автомобильных дорог Северо-Казахстанской области приводится на рисунке 1.

Общественный транспорт и социальная доступность. Текущая система пассажирских перевозок характеризуется низкой плотностью охвата: Из 635 сельских населенных пунктов области регулярным автобусным сообщением охвачено лишь 337. Таким образом, 47% сёл (почти половина региона) не имеют стабильного транспортного доступа к районным и областным центрам. Наблюдается технический разрыв: средний возраст автобусов на внутрирайонных маршрутах составляет 15 лет, в то время как в Петропавловске – 7 лет. Это снижает надежность системы.

Железнодорожный и воздушный транспорт.

Петропавловск остается крупнейшим узлом на транзитном коридоре, однако данные 2024

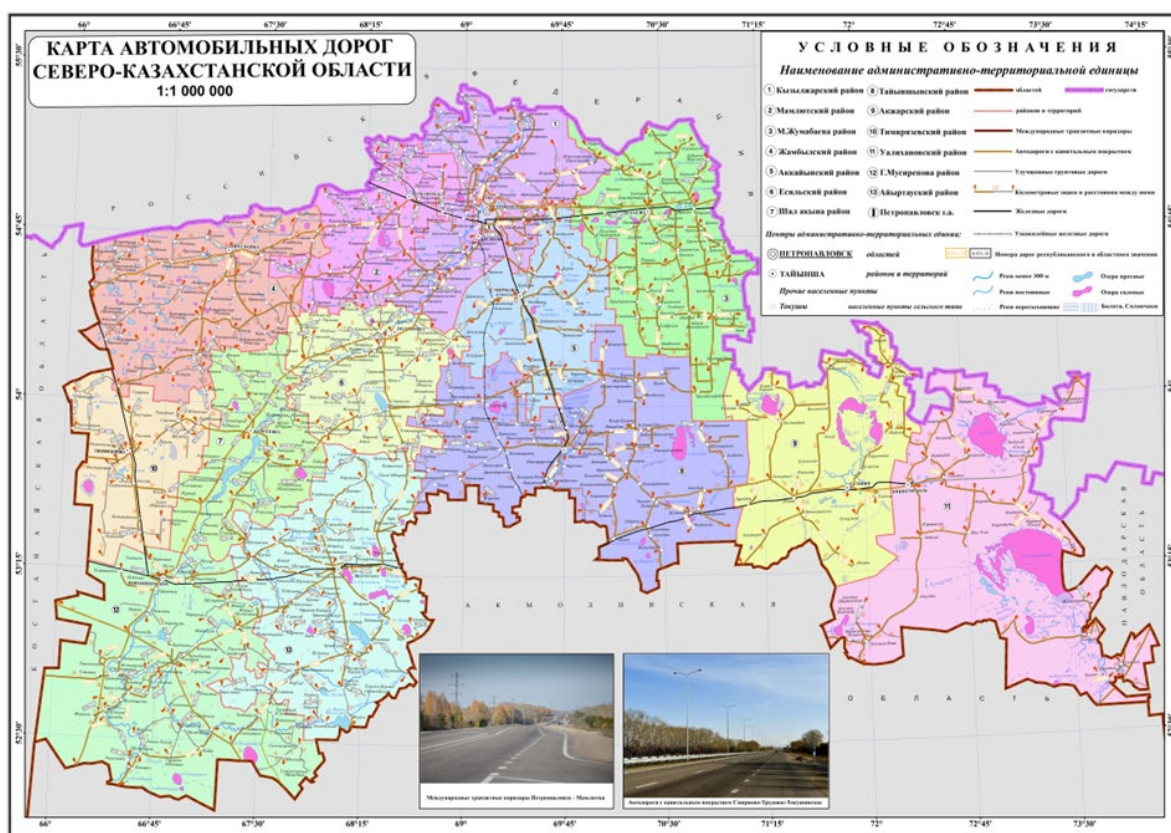
года показывают снижение индекса физического объема (ИФО) пассажирооборота по области до 87,1–91,3% к уровню прошлого года. Это может указывать на переток пассажиров на автомобильный транспорт, что еще больше увеличивает нагрузку на изношенную дорожную сеть (Kazakhstan Railways [KTZ], 2024).

В то же время, благодаря субсидированию, авиаперевозки показывают рост: пассажиропоток аэропорта г. Петропавловск увеличился с 18,4 тыс. (2018 г.) до 85 тыс. человек (2023 г.), обеспечивая связь региона с мегаполисами (Астана, Алматы, Шымкент) (Petropavlovsk International Airport, 2024).

Пропускная способность и интенсивность движения. Данные по пропускной способности и интенсивности движения для большинства дорог СКО ограничены. На участке трассы Р-58 (Булаево-Возвышенка) интенсивность движения на IV квартал 2024 года составляла 1342 автомобиля в сутки.

Рисунок 1

Карта автомобильных дорог Северо-Казахстанской области



Примечание: составлено авторами на основе постановлений акиматов районов Северо-Казахстанской области об утверждении перечней автомобильных дорог общего пользования районного значения.

Доступность населенных пунктов Северо-Казахстанской области зависит от состояния дорог. Хорошая доступность населенных пунктов обеспечена вдоль республиканских дорог. Но большая часть сельских населенных пунктов, зависящих от районных дорог и испытывают трудности с транспортным сообщением зимой из-за плохого состояния покрытия дорог. Географическая доступность ограничена для жителей почти половины сел.

Анализ практики оценки транспортной доступности в Республике Казахстан показывает отсутствие единой, стандартизированной методологии, закрепленной на уровне отдельного нормативного документа. Вместо этого, в различных сферах государственного управления и планирования применяется несколько различных подходов, каждый из которых ориентирован на решение специфических задач. К наиболее распространенным относятся: оценка географической доступности по времени и расстоянию, метод "радиуса охвата", расчет индекса транспортной обеспеченности и, в последнее время, использование геоинформационных систем для анализа.

Такое многообразие используемых методов, при отсутствии единого стандарта, свидетельствует о фрагментированном подходе к оценке доступности. Представляется, что существующие методики разрабатывались или адаптировались для ответа на узкие, специфические вопросы, актуальные для конкретного ведомства или программы (например, оценка соответствия нормативам радиуса обслуживания для социальных объектов или расчет простого показателя плотности дорог для отчетности акиматов). Это происходит в ущерб формированию целостного, комплексного видения транспортной доступности как системного фактора регионального развития. Различные государственные органы и программы могут измерять доступность по-разному, что потенциально ведет к нескоординированному планированию и распределению инвестиций из-за отсутствия общего понимания проблемы и единых метрик для сравнения эффективности различных инициатив.

Географическая доступность, по времени и расстоянию. Важность оценки транспортной и временной доступности подтверждается её закреплением в ряде стратегических документов Республики Казахстан. Данный подход является

одним из наиболее широко используемых в Казахстане, особенно в Концепции развития сельских территорий на 2023–2027 годы (проект "Ауыл – Ел бесігі") (Republic of Kazakhstan, 2023) и программа "Дорожная карта бизнеса-2025" (Republic of Kazakhstan, 2019) рассматривают физическую доступность инфраструктуры как базовое условие для повышения качества жизни и стимулирования деловой активности в регионах». Суть метода заключается в оценке доступа к важным объектам (административным центрам, объектам социальной инфраструктуры) на основе времени в пути или расстояния от населенного пункта.

В качестве ключевых параметров для расчета обычно используются среднее расстояние от населенного пункта до районного или областного центра, оценочное время в пути (иногда выраженное в часах, иногда – через километраж) и наличие дорог с твердым покрытием. Некоторые варианты методики также учитывают тип дорожного покрытия и сезонность проезда как факторы, влияющие на скорость передвижения. Часто оценка проводится на основе пороговых значений доступности – например, определяется доля населения, проживающего в пределах 30-минутной, часовой или двухчасовой доступности до определенного объекта.

Метод "радиуса охвата" (или радиуса транспортного обслуживания) используется для определения того, попадает ли населенный пункт в зону обслуживания социально значимого объекта, исходя из нормативно установленного максимального расстояния. Этот подход находит применение в территориальном планировании и нормативных документах, регулирующих размещение объектов образования, здравоохранения, социального обеспечения, пожарной охраны и т.п. Типичным примером является норматив допустимого радиуса до ближайшей больницы в 25 км.

Расчет обычно сводится к простому сравнению линейного по прямой или, реже, дорожного расстояния между населенным пунктом и объектом с установленным нормативом, часто с использованием спутниковых карт или топографических данных.

Индекс транспортной обеспеченности представляет собой количественный показатель, отражающий насыщенность территории дорожной инфраструктурой. Он рассчитывается как отношение общей протяженности дорог с

твердым покрытием (L тверд. покр) к площади территории (S):

$$I_t = \frac{L_{\text{тверд. покр}}}{S}$$

Часто этот показатель выражается в километрах дорог на 1000 квадратных километров территории.

Данный индекс используется в статистических сборниках, аналитических отчетах акиматов, Национальной палаты предпринимателей «Атамекен», Центра пространственного развития, а также для сравнительного анализа уровня развития дорожной сети между регионами или районами. Расчеты основываются на официальных данных о протяженности дорог и площади административно-территориальных единиц.

Развивающийся ГИС-анализ. В последние годы в Казахстане наблюдается активное применение геоинформационных систем и спутниковых карт (Google, ESRI ArcGIS) для анализа транспортной доступности, особенно в рамках новых разработок, научных исследований в том числе университетских и проектных работ. Этот подход позволяет проводить более глубокий пространственный анализ плотности и связности дорожной сети, моделировать транспортные потоки и маршруты, а также выявлять изолированные или труднодоступные населенные пункты (Houran et al., 2024).

Инструментарий ГИС (ArcGIS, QGIS и др.) в сочетании с данными спутниковых снимков, открытых источников или коммерческих позволяет выполнять такие задачи, как картографирование транспортных маршрутов, анализ зон обслуживания, моделирование логистики и подготовка цифровых двойников территорий.

Краткий обзор существующих передовых международных практик измерения транспортной доступности.

В странах с высоким уровнем урбанизации, развитой транспортной инфраструктурой и цифровизацией процессов планирования применяются более точные, комплексные и концептуально проработанные методы оценки транспортной доступности. Международная практика характеризуется смещением акцента с простого измерения наличия и плотности транспортной инфраструктуры к оценке того,

насколько эффективно эта инфраструктура позволяет людям достигать необходимых им возможностей (рабочих мест, услуг, социальных контактов) – подход, ориентированный на спрос и пользователя.

Эти методы, как правило, более требовательны к данным и аналитическим инструментам часто опираясь на ГИС и математическое моделирование, но предоставляют значительно более глубокое и реалистичное понимание взаимодействия между транспортной системой и землепользованием.

Метод накопленных возможностей является одним из наиболее распространенных и интуитивно понятных подходов к измерению доступности, ориентированной на возможности. Его суть заключается в подсчете количества объектов определенного типа (например, рабочих мест, школ, больниц, магазинов), которые доступны из заданной точки (например, места жительства) в пределах определенного порогового значения времени или расстояния поездки.

Формула для расчета доступности A_i в точке i обычно выглядит следующим образом (Geurs, K.T & van Wee, 2004):

$$A_i = \sum_j o_j \cdot f(c_{ij})$$

где:

O_j – количество возможностей (объектов) в пункте назначения j .

C_{ij} – "стоимость" поездки (время, расстояние или обобщенные затраты) между точками i и j .

$f(c_{ij})$ – функция отсечения (пороговая функция), которая обычно принимает значение 1, если стоимость поездки C_{ij} не превышает заданный порог T ($c_{ij} \leq T$), и 0 в противном случае.

Этот метод широко используется в транспортном и городском планировании в США, Великобритании, Канаде, Нидерландах, особенно для анализа равенства доступа к основным услугам и возможностям для различных территориальных единиц или социальных групп.

Гравитационные модели доступности являются одним из наиболее популярных и теоретически обоснованных подходов к оценке доступности, особенно в Европе и Канаде. Они основаны на аналогии с законом всемирного тяготения Ньютона: "привлекательность" или

доступность пункта назначения (j) для исходной точки (i) прямо пропорциональна "массе" (важности, размеру, количеству возможностей) пункта назначения и обратно пропорциональна некоторой степени расстояния или времени поездки между ними.

Общая форма гравитационной модели доступности A_i для точки i выглядит так (Geurs, K.T & van Wee, 2004):

$$A_i = \sum_j \frac{O_j}{C_{\{ij\}}^\beta}$$

где:

O_j – мера "массы" или привлекательности пункта назначения j (например, количество рабочих мест, площадь торгового центра, вместимость больницы, количество предлагаемых услуг).

C_{ij} – стоимость поездки (время, расстояние, денежные затраты) между i и j .

β (бета) – параметр сопротивления расстоянию (или времени), отражающий чувствительность людей к увеличению затрат на поездку. Обычно принимает значения от 1 до 2, но может калиброваться на основе эмпирических данных. Чем выше β , тем быстрее снижается доступность с ростом расстояния.

Пространственный синтаксис: Анализ структуры сети это набор теорий и методов для анализа пространственных конфигураций, в частности, уличных и дорожных сетей. В контексте транспортной доступности, он фокусируется не столько на расстоянии или времени до конкретных объектов, сколько на структурных свойствах самой сети и на том, как эти свойства влияют на потенциальные потоки движения и легкость навигации.

Метод представляет уличную сеть как граф, состоящий из осевых линий (самых длинных линий видимости) или сегментов улиц, и рассчитывает различные метрики, характеризующие положение каждого элемента в сети:

1) Интеграция: Показывает, насколько легко достижима данная улица или сегмент из всех остальных частей сети (топологически или метрически). Улицы с высокой интеграцией часто являются наиболее оживленными и доступными.

2) Связность: Простое количество улиц, напрямую пересекающихся с данной улицей.

3) Глубина: Минимальное количество шагов (поворотов) от одной улицы до другой.

Пространственный синтаксис предполагает, что эти структурные характеристики сети сильно коррелируют с реальными паттернами движения пешеходов и транспорта, а также с размещением коммерческой активности. Метод применяется в архитектурном и градостроительном проектировании, особенно в Великобритании, Японии, Южной Корее, для прогнозирования транспортных и пешеходных потоков, оптимизации планировки новых районов и оценки влияния изменений в сети.

Индексы мультимодальной доступности

Современные транспортные системы часто включают множество видов транспорта: личный автомобиль, общественный транспорт (автобусы, трамваи, метро, железная дорога), велосипед, пешеходное движение. Мультимодальные модели доступности стремятся оценить легкость достижения пунктов назначения с учетом возможности использования всех релевантных видов транспорта, а также пересадок между ними.

Эти модели обычно строятся на основе многослойных транспортных графов в ГИС, где каждый слой представляет отдельный вид транспорта со своими характеристиками (скорости, маршруты, расписания, остановочные пункты). Расчет доступности включает:

1) Моделирование маршрутов с использованием различных видов транспорта.

2) Учет времени на пересадки между видами транспорта.

3) Учет расписания движения и интервалов ожидания для общественного транспорта.

4) Использование сложных алгоритмов поиска кратчайшего пути например, Алгоритм Дейкстры (Dijkstra, 1959) или A^* 10 (Hart et al., 1968) по временным или стоимостным затратам в мультимодальной сети.

Такие модели позволяют получить наиболее полное и реалистичное представление о доступности, особенно в городских условиях с развитой системой общественного транспорта. Они широко используются в странах с высоким приоритетом устойчивого развития и общественного транспорта, таких как Нидерланды, Швеция, Южная Корея, для оценки транспортных решений с точки зрения эффективности, равенства и экологичности (Spilanis et al., 2011).

Результаты и их обсуждение

Для проведения объективной сравнительной оценки существующих казахстанских и передовых международных методик оценки транспортной доступности с точки зрения их применимости и полезности для Северо-Казахстанской области, необходимо определить набор релевантных критериев (Tiznado-Aitken et al., 2020). Основываясь на анализе специфики региона и целей транспортного планирования, предлагаются следующие критерии:

1) Способность методики предоставлять глубокое, точное и многоаспектное понимание реальной ситуации с транспортной доступностью, учитывая ключевые факторы (время, расстояние, качество инфраструктуры, наличие возможностей, надежность).

2) Объем, детализация и доступность данных, необходимых для применения методики в условиях СКО. Учитывается реалистичность сбора и поддержания таких данных.

3) Уровень необходимых специализированных знаний, программного обеспечения,

временных и финансовых затрат для внедрения и регулярного использования методики.

4) Насколько хорошо методика учитывает специфические особенности региона: большие расстояния, низкая плотность населения, важность сельского хозяйства, климатические условия, существующая структура транспортной сети и расселения.

5) Насколько результаты оценки полезны для информирования процессов планирования, принятия инвестиционных решений, разработки политики, мониторинга и оценки программ развития, а также для анализа вопросов социального равенства в доступе.

Эти критерии позволяют оценить не только теоретические достоинства и недостатки каждой методики, но и их практическую ценность и реализуемость в конкретных условиях Северо-Казахстанской области.

Качественное сравнение: Применимость, информативность, ограничения. Ниже представлена таблица, обобщающая качественную оценку различных методик по выбранным критериям применительно к СКО.

Таблица 1

Качественное сравнение методик оценки доступности для СКО

Методика	Информативность	Требования к данным	Техническая сложность/ Ресурсы	Релевантность для СКО	Политика и практическая применимость
Казахстанские методы					
1	2	3	4	5	6
Географическая (время/расстояние)	Низкая. Игнорирует качество, надежность, сезонность, реальные скорости.	Низкие Средние (расстояния, базовая карта дорог).	Низкая.	Высокая для базовой оценки в сельской местности, но дает упрощенную картину. Не учитывает сезонность	Высокая для текущих госпрограмм, но риски неоптимального распределения ресурсов из-за поверхностного анализа.
Радиус охвата	Очень низкая. Игнорирует сеть, барьеры, время в пути.	Низкие (координаты объектов и НП).	Очень низкая.	Применим для нормативного контроля, но не отражает реальный доступ, особенно в условиях СКО.	Используется в социальном планировании, но может вводить в заблуждение относительно фактического охвата услугами.
Индекс обеспеченности	Ограниченная. Только плотность дорог, без учета населения и конфигурации сети.	Низкие (длина дорог, площадь).	Низкая.	Ограниченная. Не показывает доступ для населения. Может быть полезна для межрегиональных сравнений.	Используется в отчетах, но малоинформативен. Для планирования конкретных мер по улучшению доступа.
ГИС-анализ	Высокая. Позволяет моделировать маршруты, зоны обслуживания, учитывать сеть.	Средние/ Высокие (цифровая карта сети, атрибуты).	Средняя и высокая (ПО, специализированные листы)	Очень высокая. Гибкий инструмент, подходит для анализа пространственных	Высокий потенциал для детального планирования, проектов, исследований, но требует внедрения в практику.

Продолжение таблицы

Методика	Информативность	Требования к данным	Техническая сложность/ Ресурсы	Релевантность для СКО	Политика и практическая применимость
				аспектов доступности в СКО.	
Международные методы					
Накопленные возможности	Средняя. Учитывает возможности, но не их качество важность; эффект «обрыва».	Средние (карта сети, время пути, данные об объектах).	Средняя (ГИС, базовое моделирование).	Высокая. Хорошо подходит для оценки доступа к базовым услугам (школы, медицина) и анализа равенства.	Полезна для выявления зон с дефицитом доступа и обоснования социальных программ.
Гравитационная модель	Высокая. Учитывает и расстояние время, и привлекательность масштаб объектов.	Высокие (сеть, время, данные о «массе» объектов).	Высокая (ГИС, моделирование, калибровка).	Очень высокая. Реалистично моделирует доступ, адаптируема к условиям СКО.	Идеальна для стратегического планирования, оценки крупных проектов, приоритизации инвестиций.
Пространственный синтаксис	Высокая (по структуре сети), низкая (по доступу к объектам).	Средние (детальная карта уличной сети).	Высокая (ПО, интерпретация).	Ограниченная. Полезна для анализа городской среды (Петропавловск), малоприменима в сельских районах СКО.	Может использоваться в градостроительном проектировании на локальном уровне.
Мульти-модальная модель	Очень высокая. Комплексный учет всех видов транспорта и их взаимодействия.	Очень высокие (сети всех мод, расписания и т.д.).	Очень высокая (сложные ГИС-модели).	Ограниченная. Актуальна для городов, сложна для сельских районов СКО из-за слабости ОТ.	Важна для перспективного планирования устойчивой транспортной системы, оценки развития ОТ.

Примечание: составлено автором на основе сравнительного анализа отечественных и зарубежных подходов к оценке транспортной доступности

Данная таблица наглядно демонстрирует компромиссы между простотой и применимостью существующих казахстанских методов и информативностью, но также и сложностью передовых международных подходов (Kallai, 2016). Она подчеркивает, что для эффективного планирования в СКО требуется переход к более содержательным методикам, способным учесть специфику региона.

Количественная сравнительная оценка методологий для Северо-Казахстанской области. Для получения более обобщенной картины сравнительной эффективности различных методологий можно использовать количественную оценку по ключевым параметрам. В предоставленных исходных материалах была предложена балльная оценка (от 1 до 5) по критериям Информативности (И), Гибкости (Г), Применимости в СКО (П) и Требованиям к ресурсам (Р). Представим эту оценку в табличном виде, инвертировав

шкалу для Требованиям к ресурсам (Р), чтобы более высокий балл означал меньшие требования (большую легкость внедрения). Балльная оценка методологий выполнена на основе экспертного сравнительного анализа по четырем ключевым критериям: информативность, гибкость, применимость в условиях Северо-Казахстанской области и требования к ресурсам. Оценивание проводилось по пятибалльной шкале, где 1 балл соответствует минимальному уровню соответствия критерию, а 5 баллов – максимальному. При определении значений учитывались возможности методики по отражению реальных условий транспортной доступности, адаптивность к различным пространственным условиям, соответствие особенностям Северо-Казахстанской области, а также объем необходимых данных, программного обеспечения и экспертных компетенций для практической реализации.

Таблица 2*Количественная оценка методологий доступности для СКО*

Методика	Информативность (И)	Гибкости (Г)	Применимость в СКО (П)	Требования к ресурсам (Р)	Общий балл (И+Г+П+Р)	Примечания
1	2	3	4	5	6	7
Географическая доступность (РК)	2	4	4	2	12	Прост в реализации, ориентирован на расстояние до объекта инфраструктуры
Радиус охвата (РК)	2	3	4	2	11	Локальная точечная оценка, подходит для сельских районов
Индекс обеспеченности (РК)	3	3	3	3	12	Используется для анализа количества объектов на душу населения
ГИС-анализ (РК)	5	5	5	5	20	Высокоинформативный, требует цифровых данных и навыков ГИС
Метод накопленных возможностей (Международный опыт)	3	4	4	4	15	Учитывает порог доступности к ключевым объектам, требует карту доступности
Гравитационная модель (США, ЕС)	5	5	5	5	20	Учитывает силу «притяжения» объекта и расстояние до него
Пространственный синтаксис (Великобритания)	4	3	3	4	14	Оценивает топологию уличной сети, применим в городах
Мульти-модальная модель (Канада, Нидерланды)	5	5	3	5	18	Учитывает все типы транспорта, сложна в сельских регионах

Примечание: составлено и рассчитано автором на основе экспертной оценки методологий по критериям информативности, гибкости, применимости в условиях Северо-Казахстанской области и требований к ресурсам

Казахстанские методы: общий средний балл – 13.75.

Международные методы: общий средний балл – 16.75.

Международные методы имеют более высокий средний балл и превосходят казахстанские методы транспортной доступности, подтверждая их способность давать более глубокий анализ. Гравитационная модель лидирует получая максимальные баллы по каждому направлению. Казахстанские методы в среднем оцениваются как чуть более применимые что отражает их простоту и адаптацию к текущим условиям и практикам. Однако ГИС-анализ также получают максимальный балл по каждому направлению, указывая на их высокий потенциал при наличии ресурсов.

Лидерами по общему потенциалу являются ГИС-анализ и Гравитационная модель, но они же и наиболее ресурсоемки.

Эта количественная оценка численно подтверждает ключевую дилемму: существует компромисс между информативностью и ресурсоемкостью. Простые методы легки в применении, но дают ограниченное понимание, тогда как продвинутое методы информативны, но требуют значительных вложений в данные и экспертизу.

Недостатки текущих методов для Северо-Казахстанской области. Сравнительный анализ, как качественный, так и количественный, выявляет существенные пробелы в текущей практике оценки транспортной доступности в Казахстане применительно к специфическим

условиям СКО. Доминирующие сейчас простые методы (географический, радиусный, индексный) не способны адекватно отразить сложную реальность обеспечения надежного и справедливого доступа на обширной территории с суровым климатом и неравномерным расселением (Resende & Collins, 2011).

Ключевые недостатки существующих подходов для СКО:

1) Методы не учитывают или слабо учитывают влияние погодных условий на состояние дорог и возможность проезда, что является критическим фактором для СКО. Оценка, основанная на среднем времени или простом наличии твердого покрытия, может быть нерелевантной в зимний или весенний периоды.

2) Простое наличие дороги не гарантирует возможности быстрого и безопасного передвижения. Текущие методы слабо отражают реальное состояние дорожного полотна.

3) Не оценивается ни количество, ни качество, ни привлекательность конечных пунктов назначения (услуг, рабочих мест), что не позволяет понять реальную выгоду от транспортной системы для населения и экономики.

4) Индекс обеспеченности оторван от реальных потребностей населения. Географический метод и метод радиуса не всегда адекватно отражают доступ для большинства жителей.

5) Существующие подходы не предоставляют удобных инструментов для систематической оценки и мониторинга различий в доступности между разными районами или социальными группами.

6) Взаимодействие различных видов транспорта (автомобильного, железнодорожного, автобусного) практически не учитывается.

Количественная оценка подчеркивает эту проблему: текущие методы воспринимаются как легко применимые, но их информативность низка. Продвинутое методы предлагают необходимые аналитические возможности, но их внедрение требует ресурсов и подготовки. Это указывает на необходимость разработки и внедрения стратегического, возможно гибридного, подхода, который бы сочетал аналитическую глубину с практической реализуемостью в условиях СКО. Простое сохранение статус-кво означает принятие решений на основе неполной информации, а слепое копирование самых сложных международных моделей может

оказаться нереалистичным в краткосрочной перспективе (Karimi & Motamed, 2012).

Методологические основы разработки интегрированной системы оценки транспортной доступности и обеспеченности территории Северо-Казахстанской области. Анализ сильных и слабых сторон существующих казахстанских и передовых международных методик оценки транспортной доступности ясно показывает, что ни простое продолжение использования текущих упрощенных подходов, ни немедленное полномасштабное внедрение наиболее сложных зарубежных моделей не является оптимальным решением для Северо-Казахстанской области. Первое оставляет планирование без необходимой информационной базы, второе может столкнуться с серьезными ограничениями по данным, ресурсам и кадрам (Lebendiger & Lerman, 2019).

Требуется разработка интегрированной (гибридной) системы оценки, которая была бы специально адаптирована к уникальному контексту СКО.

1) Сочетать сильные стороны различных подходов, использовать аналитическую мощь ГИС-платформ и реализм моделей, учитывающих возможности и расстояние таких как гравитационная модель или модифицированный метод накопленных возможностей.

2) Учитывать ключевые для СКО факторы, такие как сезонность, качество дорог, низкая плотность населения и важность доступа к сельскохозяйственным рынкам и социальным услугам.

3) Предоставлять значительно более глубокий анализ, чем текущие методы, но при этом быть реализуемой в рамках имеющихся или реалистично достижимых ресурсов и данных.

4) Генерировать понятные и практически полезные результаты для планирования инвестиций, разработки региональных программ и мониторинга их эффективности. Предлагаемый подход направлен на создание инструмента, который максимизирует глубину анализа и релевантность для политики в рамках практических ограничений СКО.

Предлагается разработать и внедрить комплексную систему оценки под рабочим названием «Интегрированная модель транспортной доступности и обеспеченности для СКО». Эта модель будет объединять несколько ключевых

измерений доступности и обеспеченности транспортной инфраструктурой и услугами.

Система будет основана на следующих принципах:

1) Оценка будет проводиться по нескольким взаимодополняющим направлениям для получения целостной картины.

2) Все расчеты и анализ будут выполняться в среде ГИС, что обеспечит визуализацию и возможность пространственного анализа.

3) В центре внимания – доступ населения к ключевым объектам и услугам.

4) Особое внимание уделяется качеству инфраструктуры, сезонным факторам и мультимодальным аспектам.

Предлагаемая структура модели включает четыре основных компонента:

Компонент 1: Пространственно-временной охват и доступ к возможностям. Оценка того, насколько легко (по времени или затратам) жители различных населенных пунктов могут достичь ключевых пунктов назначения, с учетом их важности.

Компонент 2: Индекс обеспеченности услугами. Оценка уровня обеспеченности территории транспортной инфраструктурой и связанными услугами в расчете на душу населения или на единицу площади.

Компонент 3: Качество и надежность инфраструктуры. Оценка состояния транспортной сети и ее способности обеспечивать стабильное сообщение в течение года.

Компонент 4: ГИС-платформа для анализа и визуализации. Интегрирующая среда для расчетов, картографирования, сценарного моделирования и поддержки принятия решений.

Такая многокомпонентная структура позволяет перейти от единого, часто упрощенного, показателя доступности к созданию своего рода «приборной панели», отражающей различные аспекты проблемы. Критически важным является явное включение Компонента 3 (Качество и надежность), который напрямую адресует один из главных недостатков существующих методов для условий СКО. Связь Компонента 2 (Обеспеченность) с численностью населения делает его более значимым показателем, чем простой индекс плотности дорог. Анализ всех компонентов в комплексе с использованием ГИС (Компонент 4) дает гораздо более богатое диагностическое представление о транспортной системе региона.

Компонент 1: Пространственно-временной охват на основе гравитационной модели

Для оценки основного аспекта доступности – легкости достижения возможностей – предлагается использовать модифицированную гравитационную модель, как наиболее гибкую и реалистичную из рассмотренных. Индекс доступности A_i для исходной точки i (например, населенного пункта) рассчитывается по формуле (Yang et al., 2019):

$$A_i = \sum_{j=1}^n \frac{O_j}{T_{ij}^\beta}$$

где: i – исходная точка (например, центроид населенного пункта СКО);

j – пункт назначения (ключевые объекты: школы, больницы, ЦОНЫ, рынки, административные центры, крупные предприятия, транспортные узлы – ж/д станции, автовокзалы); Индекс суммирования j пробегает все n релевантных пунктов назначения.

O_j – мера «массы» или привлекательности пункта назначения j ; этот параметр требует тщательного определения и сбора данных. Примеры: количество койко-мест в больнице, количество ученических мест в школе, количество рабочих мест на предприятии, пропускная способность вокзала или количество рейсов, площадь торговых объектов. На начальном этапе можно использовать упрощенные весовые коэффициенты по типам объектов.

T_{ij} – время в пути (в минутах) между точками i и j по реальной дорожной сети; Рассчитывается с помощью ГИС-инструментов на основе графа дорожной сети и средних скоростей движения, зависящих от типа и, по возможности, состояния дороги.

β (бета) – коэффициент чувствительности к времени в пути (сопротивления расстоянию). Отражает, насколько быстро снижается желание ехать к объекту с увеличением времени в пути. Требуется калибровка на основе местных данных или использования значений из литературы (обычно в диапазоне 1–2). Может различаться для разных типов поездок (например, поездка в больницу менее чувствительна к времени, чем поездка в магазин).

Результаты компонента будут в виде значения индекса доступности A_i для каждого населенного пункта СКО. Карты пространственного

распределения доступности (например, тепловые карты или карты с классификацией населенных пунктов по уровню доступности). Возможность расчета агрегированных показателей доступности для районов или области в целом (например, средневзвешенное значение A_i по населению).

Компонент 2: Индекс обеспеченности услугами (на душу населения)

Этот компонент дополняет оценку доступности (Компонент 1) показателями, характеризующими уровень насыщения территории объектами транспортной инфраструктуры и связанными услугами, но в привязке к населению, что делает его более информативным, чем простой индекс плотности дорог.

Оценка инфраструктурного потенциала районов СКО проводится на основе индекса обеспеченности, который рассчитывается по формуле (Ma et al., 2017):

$$I = \frac{N_o}{P} \times 1000$$

где: I – индекс обеспеченности конкретным видом социально-экономических услуг или объектов инфраструктуры;

N_o – суммарное количество объектов (например, автобусных остановок, почтовых отделений или пунктов обслуживания) в границах исследуемого административного района;

P – общая численность населения данной территориальной единицы;

Индекс обеспеченности по районам для различных видов инфраструктуры/услуг (например, количество автобусных остановок на 1000 жителей). Карты и диаграммы, показывающие различия в уровне обеспеченности между районами. Совместный анализ Компонента 1 и Компонента 2 дает глубокое понимание ситуации. Район может иметь низкую обеспеченность автобусными остановками на 1000 жителей, но при этом хорошую доступность к ключевым объектам с использованием личного транспорта. Так же и наоборот район может иметь высокую обеспеченность автобусными остановками, но низкую доступность из-за неправильного размещения объектов или плохих дорог. В будущем это нам поможет правильно диагностировать проблему.

Компонент 3: Качественные характеристики и эксплуатационная надежность инфраструктуры

Компонент 3 – это критический фильтр, который позволяет накладывать теоретические расчеты доступности на реальную эксплуатационную почву Северо-Казахстанской области. Данный компонент служит для контекстуализации и динамической корректировки данных Компонента 1.

К ключевым индикаторам относятся – удельный вес дорог с твердым покрытием по республиканскими, областными и районными дорогами чтобы выявить их на локальном уровне, где износ дорог наиболее критичен. Состояния дорожного покрытия по международному индексу ровности IRI. Карта дорог подверженные к сезонным ограничениям с указанием их продолжительности. Частота и регулярность движения общественного транспорта.

К результатам компонента относятся: тематические карты, показывающие распределение качества дорог и проблемных участков и статистические данные по районам. Возможность корректировки времени в пути (T_{ij}) в Компоненте 1: Например, можно моделировать доступность в зимний период, увеличивая время проезда по дорогам низких категорий или исключая сезонно закрытые участки. Этот компонент позволяет перейти от оценки доступности в «идеальных» условиях к более реалистичной картине, учитывающей фактическое состояние инфраструктуры и климатические риски.

Компонент 4: ГИС-платформа для анализа и визуализации

Геоинформационная система (ГИС) является ядром предлагаемой интегрированной модели, выполняя функции сбора, хранения, обработки данных, выполнения расчетов и визуализации результатов.

Основные возможности ГИС-платформы:

1) Расчет времени в пути (T_{ij}) по дорожной сети: использование сетевого анализа для нахождения кратчайших маршрутов по времени с учетом скоростных режимов для разных типов дорог.

2) Расчет индексов доступности (A_i) и обеспеченности (I).

3) Генерация карт доступности: создание карт изохрон (линий равного времени доступа),

тепловых карт или карт классифицированных зон доступности.

4) Визуализация обеспеченности и качества: картографическое представление индексов обеспеченности и индикаторов качества/надежности инфраструктуры.

5) Интеграция с другими данными: возможность наложения карт доступности/обеспеченности на карты плотности населения, уровня бедности, размещения сельскохозяйственных угодий и т.д. для проведения комплексного пространственного анализа и оценки равенства доступа.

6) Сценарный анализ: моделирование влияния предлагаемых изменений в транспортной сети (строительство новой дороги, реконструкция существующей, запуск нового автобусного маршрута) или в размещении объектов (открытие новой школы или больницы) на показатели доступности A_i . Это мощный инструмент для оценки эффективности планируемых инвестиций. ГИС-платформа превращает модель из набора формул и показателей в динамический инструмент анализа и поддержки принятия решений. Внедрение предлагаемой интегрированной модели потребует сбора и систематизации значительного объема пространственных и атрибутивных данных.

Предлагаемая модель обладает значительно более высокой информативностью и политической релевантностью по сравнению с текущими казахстанскими методиками. Она способна предоставить детальную диагностику проблемных зон, оценить различия в доступности для разных районов и групп населения, а также количественно обосновать приоритеты инвестиций в транспортную инфраструктуру и социальные объекты.

Предложенная концептуальная модель интегрированной оценки транспортной доступности разработана для преодоления фундаментальных недостатков существующих методик, традиционно применявшихся в Республике Казахстан, и для прямого решения специфических проблем Северо-Казахстанской области. Ключевое отличие нашей модели заключается в отказе от простой оценки наличия дорог в пользу оценки фактического доступа к возможностям для населения.

Основная проблема существующих подходов в Казахстане состоит в том, что они рассматривают дорогу как статичный объект,

игнорируя ее фактическое качество и сезонную надежность. Данные годового отчета по СКО подтверждают критическую важность этого фактора: в ряде районов, например в Жамбылском, значительная доля дорог местного значения остается гравийной или грунтовой. Использование этих дорог в период распутицы или сильных снегопадов приводит к резкому увеличению времени в пути, а иногда и к полной изоляции населенных пунктов.

Заключение

В ходе работы мы сопоставили традиционные казахстанские методики с передовыми мировыми моделями. Главный вывод: стандартные подходы, основанные на простых радиусах и нормативах, для СКО больше не работают. Мы доказали, что упрощенные расчеты создают ложную картину благополучия. В реальности, при низкой плотности населения и суровом климате Севера, транспортная доступность – это не просто километры дорог, а их фактическая проходимость. Наша гипотеза подтвердилась: без учета сезонных факторов и качества покрытия невозможно получить объективную оценку связности региона.

Количественная оценка показала значительный разрыв в информативности между применяемыми методиками и международными стандартами. Выявлено, что текущие методы оценки в СКО игнорируют критические факторы: сезонность (паводки, зимний период), фактическое состояние дорожного полотна и реальную социально-экономическую привлекательность пунктов назначения. Почти половина сельских населенных пунктов области (47%) не имеет стабильного регулярного автобусного сообщения, что создает пространственное неравенство.

Лидирующими по потенциалу применимости для региона признаны ГИС-анализ и гравитационное моделирование, набравшие максимальные баллы по критериям гибкости и информативности.

Работа вносит вклад в развитие методологии экономической и социальной географии, предлагая переход от оценки физического наличия инфраструктуры к оценке фактического доступа к возможностям. Обоснована необходимость использования гибридных (интегрированных) моделей, сочетающих аналитическую мощь ГИС с реализмом гравитационных расчетов.

Дальнейшее развитие темы связано с детальной калибровкой параметров гравитационной модели на основе эмпирических данных о транспортных потоках СКО и интеграцией в систему динамических данных о сезонном состоянии дорожной сети

Финансирования

Настоящие исследования проведены в рамках реализации научно-технической программы ИРН BR24993222 «Построение системы поддержки принятия решений для природно-хозяйственного обустройства территории

Северо-Казахстанской области в контексте устойчивого развития» финансируемой Комитетом науки Министерства науки и высшего образования Республики Казахстан в рамках программно-целевого финансирования

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии каких-либо финансовых или личных отношений, которые могли бы быть восприняты как влияющие на результаты исследования, представленные в данной работе.

Литература

- Акимат СКО. (2025). *Социально-экономический паспорт Северо-Казахстанской области на 2024–2025 г.* Петропавловск
- Казахстанская железная дорога (КТЖ). 2024. <https://rail-news.kz/ru/passenger-transportation/19600-otken-zyly-qtz-poizdarymen-136-million-zolausy-tasymaldandy.html>
- Международный аэропорт Петропавловск. (2024, 23 января). <https://mtrk.kz/ru/2024/01/23/85-tysyach-passazhirov-obsluzhil-ayeroport-p/>
- Постановление Правительства Республики Казахстан от 28 марта 2023 года № 270. *Об утверждении Концепции развития транспортно-логистического потенциала Республики Казахстан до 2030 года.* <https://adilet.zan.kz/rus/docs/P2300000270>
- Постановление Правительства Республики Казахстан от 31 декабря 2019 года № 968. *Об утверждении Государственной программы жилищно-коммунального развития «Нұрлы жер» на 2020–2025 годы.* <https://adilet.zan.kz/rus/docs/P1900000968/links>
- Dijkstra, E. W. (1959). A note on two problems in connexion with graphs. *Numerische Mathematik*, 1(1), 269–271. <https://doi.org/10.1007/BF01386390>
- Geurs, K. T., & van Wee, B. (2004). Accessibility evaluation of land-use and transport strategies: review and policy directions. *Journal of Transport Geography*, 12(2), 127–140. <https://doi.org/10.1016/j.jtrangeo.2003.10.005>
- Hart, P. E., Nilsson, N. J., & Raphael, B. (1968). A formal basis for the heuristic determination of minimum cost paths. *IEEE Transactions on Systems Science and Cybernetics*, 4(2), 100–107. <https://doi.org/10.1109/TSSC.1968.300136>
- Houran, N., Achraf, O., Rochd, A., Mohamed, B., Maimouni, S., & Amine, A. (2024). *GIS-based methodology for assessing public transport accessibility: A case study of Marrakech, Morocco*. ResearchGate.
- Kallai, T. (2016). *Choosing the resistance factor for gravity models* (MPRA Paper No. 73952).
- Karimi, K.; Motamed, N. *City Planning Using Integrated Urban Modelling*. Space Syntax Limited, 2012.
- Lebendiger, Y.; Lerman, Y. Applying Space Syntax for Surface Rapid Transit Planning. *Transportation Research Part A: Policy and Practice* 2019, 128, 59–72.
- Ma, L., Rahman, M., Idris, A. O. (2017). *Impacts of transit fare policy on accessibility: A case study of Halifax, Canada*. Proceedings of the 52nd Annual Conference of the Canadian Transportation Research Forum (CTRF).
- Resende, C. G., & Collins, P. J. J. W. (2011). *Gravity model calibration with genetic algorithms for freight distribution modeling* (VMASC Publications). Digital Commons @ ODU.
- Spilanis, I., Kizos, T., et al. (2011). Developing a methodology for the determination of the intra-regional accessibility of islands: The case of the Aegean Sea islands, Greece. *Island Studies Journal*, 6(2).
- Tiznado-Aitken, I., Muñoz, J. C., & Hurtubia, R. (2020). Public transport accessibility accounting for level of service and competition for urban opportunities: An equity analysis for education in Santiago de Chile. *Journal of Transport Geography*, 82, 102595.
- Yang, R., Liu, Y., Liu, Y., Liu, H., & Gan, W. (2019). Comprehensive public transport service accessibility index—A new approach based on degree centrality and gravity model. *Sustainability*, 11(20), 5634. <https://doi.org/10.3390/su11205634>

References

- Akimat of NKR. (2025). *Social'no-ekonomicheskij passport Severo-Kazakhstanskoy oblasti na 2024–2025 g.* [Socio-economic passport of North Kazakhstan Region for 2024–2025]. Petropavlovsk.
- Dijkstra, E. W. (1959). A note on two problems in connexion with graphs. *Numerische Mathematik*, 1(1), 269–271. <https://doi.org/10.1007/BF01386390>

- Geurs, K. T., & van Wee, B. (2004). Accessibility evaluation of land-use and transport strategies: review and policy directions. *Journal of Transport Geography*, 12(2), 127-140. <https://doi.org/10.1016/j.jtrangeo.2003.10.005>
- Hart, P. E., Nilsson, N. J., & Raphael, B. (1968). A formal basis for the heuristic determination of minimum cost paths. *IEEE Transactions on Systems Science and Cybernetics*, 4(2), 100–107. <https://doi.org/10.1109/TSSC.1968.300136>
- Houran, N., Achraf, O., Rochd, A., Mohamed, B., Maimouni, S., & Amine, A. (2024). *GIS-based methodology for assessing public transport accessibility: A case study of Marrakech, Morocco*. ResearchGate.
- Kallai, T. (2016). *Choosing the resistance factor for gravity models* (MPRA Paper No. 73952).
- Karimi, K., Motamed, N. *City Planning Using Integrated Urban Modelling*. Space Syntax Limited, 2012.
- Kazakhstan Railways (KTZ) 2024. <https://rail-news.kz/ru/passenger-transportation/19600-otken-zyly-qtz-poiyzdarymen-136-million-zolausy-tasymaldandy.html>
- Lebendiger, Y.; Lerman, Y. Applying Space Syntax for Surface Rapid Transit Planning. *Transportation Research Part A: Policy and Practice* 2019, 128, 59–72.
- Ma, L, Rahman, M, Idris, A. O. (2017). *Impacts of transit fare policy on accessibility: A case study of Halifax, Canada*. Proceedings of the 52nd Annual Conference of the Canadian Transportation Research Forum (CTRF).
- Petropavlovsk International Airport. (2024, January 23). <https://mtrk.kz/ru/2024/01/23/85-tysyach-passazhirov-obslyuzhil-ayeroport-p/>
- Republic of Kazakhstan. (2019). *Ob utverzhdenii Gosudarstvennoj programmy zhilishchno-kommunal'nogo razvitiya "Nurly Zher" na 2020-2025 gody* [On approval of the State program of housing and communal development "Nurly Zher" for 2020-2025] (Decree No. 968). <https://adilet.zan.kz/rus/docs/P1900000968/links>
- Republic of Kazakhstan. (2023). *Ob utverzhdenii Konceptii razvitiya transportno-logisticheskogo potentsiala Respubliki Kazahstan do 2030 goda* [On approval of the Concept for the development of the transport and logistics potential of the Republic of Kazakhstan until 2030] (Decree No. 270). <https://adilet.zan.kz/rus/docs/P23000000270>
- Resende, C. G., & Collins, P. J. J. W. (2011). *Gravity model calibration with genetic algorithms for freight distribution modeling* (VMASC Publications). Digital Commons @ ODU.
- Spilanis, I., Kizos, T., et al. (2011). Developing a methodology for the determination of the intra-regional accessibility of islands: The case of the Aegean Sea islands, Greece. *Island Studies Journal*, 6(2).
- Tiznado-Aitken, I., Muñoz, J. C., & Hurtubia, R. (2020). Public transport accessibility accounting for level of service and competition for urban opportunities: An equity analysis for education in Santiago de Chile. *Journal of Transport Geography*, 82, 102595.
- Yang, R., Liu, Y., Liu, Y., Liu, H., & Gan, W. (2019). Comprehensive public transport service accessibility index—A new approach based on degree centrality and gravity model. *Sustainability*, 11(20), 5634. <https://doi.org/10.3390/su11205634>

Сведения об авторах:

- Жолдасбек Адилет Бакытжанұлы – PhD докторант кафедры «Земельные ресурсы и кадастр» Казахского Национального Аграрного Исследовательского Университета (Алматы, Казахстан, e-mail: adilet_098.kz@mail.ru).
- Орынбаев Нурсултан Маратович – PhD докторант кафедры «Аграрная техника и машиностроение» Казахского Национального Аграрного Исследовательского Университета (Алматы, Казахстан, e-mail: nmaratovich999@gmail.com).
- Молжигитова Динара Кумарбековна – руководитель программы ПЦФ ИРН BR 24993222 «Построение системы поддержки принятия решений для природно-хозяйственного обустройства территории Северо-Казахстанской области в контексте устойчивого развития» Казахского Национального Аграрного Исследовательского Университета (Алматы, Казахстан, e-mail: dikosh.m@mail.ru).
- Кадыр Шырын Кадырбайқызы – PhD докторант кафедры «Земельные ресурсы и кадастр» Казахского Национального Аграрного Исследовательского Университета (Алматы, Казахстан, e-mail: shyryn.kadyr@kaznaru.edu.kz).
- Арыстанов Асет Мамырханович – руководитель группы ДЗЗ и картографии программы ПЦФ ИРН BR 24993222 «Построение системы поддержки принятия решений для природно-хозяйственного обустройства территории Северо-Казахстанской области в контексте устойчивого развития» Казахского Национального Аграрного Исследовательского Университета (Алматы, Казахстан, e-mail: asetarystanov87@gmail.com).

Information about the authors:

- Zholdasbek Adilet Bakytzhanuly – PhD student at the Department of Land Resources and Cadastre, Kazakh National Agrarian Research University (Almaty, Kazakhstan, e-mail: adilet_098.kz@mail.ru).
- Orynbayev Nursultan Maratovich – PhD student at the Department of «Agricultural machinery and mechanical engineering», Kazakh National Agrarian Research University (Almaty, Kazakhstan, e-mail: nmaratovich999@gmail.com).
- Molzhygitova Dinara Kumarbekovna – Head of the Program-Targeted Financing (PTF) Project, IRN BR24993222 "Building a decision support system for the natural and economic structure of the North Kazakhstan region in the context of sustainable development" Kazakh National Agrarian Research University (Almaty, Kazakhstan, e-mail: dikosh.m@mail.ru).
- Kadyr Shyryn – PhD student at the Department of Land Resources and Cadastre, Kazakh National Agrarian Research University (Almaty, Kazakhstan, e-mail: shyryn.kadyr@kaznaru.edu.kz).
- Arystanov Asset – Head of the Remote Sensing and Mapping Group of the Program-Targeted Financing (PTF) Project, IRN BR24993222 "Building a decision support system for the natural and economic structure of the North Kazakhstan region in the context of sustainable development" Kazakh National Agrarian Research University (Almaty, Kazakhstan, e-mail: asetarystanov87@gmail.com).

Авторлар туралы мәлімет:

Жолдасбек Әділет Бақытжанұлы – «Жер ресурстары және кадастр» кафедрасының PhD докторанты, «Қазақ Ұлттық Аграрлық Зерттеу Университеті» (Алматы, Қазақстан, e-mail: adilet_098.kz@mail.ru).

Орынбаев Нұрсұлтан Маратұлы – «Аграрлық техника және машина жасау» кафедрасының PhD докторанты, «Қазақ Ұлттық Аграрлық Зерттеу Университеті» (Алматы, Қазақстан, e-mail: nmaratovich999@gmail.com).

Молжигитова Динара Кумарбековна – ЖРН BR24993222 «Тұрақты даму жағдайында Солтүстік Қазақстан облысы аумағының табиғи-экономикалық дамуының шешімдерін қамтамасыз ету жүйесін құру» бағдарламасының жетекшісі «Қазақ Ұлттық Аграрлық Зерттеу Университеті» (Алматы, Қазақстан, e-mail: dikosh.m@mail.ru.).

Қадыр Шырын Қадырбайқызы – «Жер ресурстары және кадастр» кафедрасының PhD докторанты, «Қазақ Ұлттық Аграрлық Зерттеу Университеті» (Алматы, Қазақстан, e-mail: shyryn.kadyr@kaznaru.edu.kz).

Арыстанов Асет Амирханович – ЖРН BR24993222 «Тұрақты даму жағдайында Солтүстік Қазақстан облысы аумағының табиғи-экономикалық дамуының шешімдерін қамтамасыз ету жүйесін құру» бағдарламасының ЖҚЗ және картография тобының жетекшісі «Қазақ Ұлттық Аграрлық Зерттеу Университеті» (Алматы, Қазақстан, e-mail: asetarystanov87@gmail.com).

Поступила: 15 марта 2026 года

Принята: 10 июня 2026 года

IRSTI 87.26.02, 87.03.17

<https://doi.org/10.26577/JGEM81220267>**S.B. Bissenbayeva^{1,2*}**, **D.K. Shokparova^{1,2}**,**M. Abudurexiti²**, **K.M. Akhmedenov³**¹China-Kazakhstan Joint Laboratory for Remote Sensing Technology and Application, Almaty, Kazakhstan²Al-Farabi Kazakh National University, Almaty, Kazakhstan³M.Utemisov West Kazakhstan University, Uralsk, Kazakhstan

*e-mail: bysenbaeva.sanyml@kaznu.kz

DECADAL CHANGES IN NET PRIMARY PRODUCTIVITY (NPP) IN THE WEST KAZAKHSTAN REGION BASED ON MODIS SATELLITE MONITORING DATA

The article assesses the spatiotemporal dynamics of net primary productivity (NPP) in the West Kazakhstan region for the period 2010–2022 based on MODIS satellite data. Data processing and calculation of indicators were performed using the Google Earth Engine cloud platform. Spatial patterns and trends in NPP changes were determined based on linear regression of time series for each pixel. The study results revealed pronounced spatial heterogeneity of NPP due to the natural and climatic conditions of the region. Higher productivity consistently tends to appear in the north and river valleys, while the south and southwest is less productive. The interannual dynamics of NPP are characterized by significant variability, with a sharp decline in 2015 and a subsequent recovery in 2016–2017. Trend analysis showed a predominance of positive, but spatially uneven, changes in NPP during the study period. Correlation analysis revealed that vegetation productivity in the West Kazakhstan region is primarily controlled by precipitation variability, while the influence of temperature is regionally heterogeneous and intensifies under conditions of moisture deficiency. The results highlight the high sensitivity of the region's ecosystems to climate variability and confirm the usefulness of the NPP indicator for monitoring vegetation status and assessing the resilience of arid and semi-arid landscapes.

Keywords: Net Primary Productivity (NPP), Remote Sensing, MODIS, West Kazakhstan Region.

С.Б. Бисенбаева^{1,2*}, **Д.К. Шокпарова^{1,2}**,
М. Абыдурешит², **К.М. Ахмеденов³**¹Қазақстан-Қытай бірлескен Қашықтықтан зондау технологиялары
және оларды қолдану зертханасы, Алматы, Қазақстан²«Әл-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университеті» ҚЕАҚ, Алматы, Қазақстан³«Махамбет Өтемісов атындағы Батыс Қазақстан университеті» ҚЕАҚ, Орал, Қазақстан

*e-mail: bysenbaeva.sanyml@kaznu.kz

MODIS спутниктік мониторинг деректері бойынша Батыс Қазақстан облысы аумағындағы таза бастапқы өнімділіктің (NPP) онжылдық өзгерістері

Бұл мақалада MODIS спутниктік деректері негізінде 2010–2022 жылдар аралығында Батыс Қазақстан облысы аумағындағы таза бастапқы өнімділіктің (NPP) кеңістіктік-уақыттық динамикасына бағалау жүргізілді. Деректерді өңдеу және көрсеткіштерді есептеу Google Earth Engine бұлттық есептеу платформасында жүзеге асырылды. NPP-нің кеңістіктік заңдылықтары мен ұзақ мерзімді трендтері жылдық уақыттық қатарлар бойынша әрбір пиксель үшін сызықтық регрессия әдісі арқылы анықталды. Зерттеу нәтижелері аймақтың табиғи-климаттық ерекшеліктеріне байланысты NPP-нің айқын кеңістіктік біркелкі еместігін көрсетті. Өнімділіктің жоғары мәндері солтүстік аудандарда және өзен аңғарларында тұрақты түрде байқалса, облыстың оңтүстік және оңтүстік-батыс бөліктері төмен өнімділікпен сипатталады. NPP-нің жылдар бойынша өзгергіштігі жоғары болып, 2015 жылы айқын төмендеу, ал 2016–2017 жылдары қалпына келу үрдісі байқалды. Трендтік талдау зерттелген кезеңде NPP оң бағытты, бірақ кеңістіктік тұрғыдан әркелкі өзгерістерінің басым екенін көрсетті. Корреляциялық талдау Батыс Қазақстан облысындағы өсімдік жамылғысының өнімділігі негізінен атмосфералық жауын-шашынның өзгергіштігімен анықталатынын, ал температураның әсері ылғал тапшылығы жағдайында күшейетін аймақтық әркелкі сипатқа ие екенін көрсетті. Алынған нәтижелер өңір экожүйелерінің климаттық өзгергіштікке жоғары сезімталдығын айқындап, аридті және семиаридті ландшафттарда өсімдік жамылғысын мониторингілеу мен экожүйе тұрақтылығын бағалау үшін NPP көрсеткішінің маңыздылығын растайды.

Түйін сөздер: таза бастапқы өнімділік (NPP), қашықтықтан зондау, MODIS, Батыс Қазақстан

С.Б. Бисенбаева^{1,2*}, Д.К. Шокпарова^{1,2},
М. Абыдурешыт², К.М. Ахмеденов³

¹Казахстанско-Китайская совместная лаборатория Технологии дистанционного зондирования и их применения, Алматы, Казахстан

²НАО «Казахский национальный университет имени аль-Фараби», Алматы, Казахстан

³НАО «Западно-Казахстанский Университет имени Махамбета Утемисова», Уральск, Казахстан

*e-mail: bysenbaeva.sanym1@kaznu.kz

Десятилетние изменения чистой первичной продуктивности (NPP) на территории Западно-Казахстанской области по данным спутникового мониторинга MODIS

В статье проведена оценка пространственно-временной динамики чистой первичной продуктивности (NPP) на территории Западно-Казахстанской области за период 2010–2022 гг. на основе спутниковых данных MODIS. Обработка данных и расчёт показателей выполнены с использованием облачной платформы Google Earth Engine. Пространственные закономерности и тренды изменения NPP определялись на основе линейной регрессии временных рядов по каждому пикселю. Результаты исследования выявили выраженную пространственную неоднородность NPP, обусловленную природно-климатическими условиями региона. Более высокие значения продуктивности устойчиво наблюдаются в северных районах и долинах рек, тогда как южные и юго-западные части области характеризуются пониженной продуктивностью. Межгодовая динамика NPP отличается значительной изменчивостью с резким снижением в 2015 году и последующим восстановлением в 2016–2017 гг. Анализ трендов показал преобладание положительных, но пространственно неравномерных изменений NPP в течение исследуемого периода. Корреляционный анализ показал, что продуктивность растительного покрова в Западно-Казахстанской области в наибольшей степени контролируется изменчивостью атмосферных осадков, тогда как влияние температуры носит регионально неоднородный характер и усиливается в условиях дефицита влаги. Полученные результаты подчёркивают высокую чувствительность экосистем региона к климатической изменчивости и подтверждают информативность показателя NPP для мониторинга состояния растительного покрова и оценки устойчивости аридных и семиаридных ландшафтов.

Ключевые слова: чистая первичная продуктивность (NPP), дистанционное зондирование, MODIS, Западно-Казахстанская область.

Introduction

Changes in ecosystem productivity represent one of the key topics in modern ecological science and sustainable land management. Net primary productivity (NPP) reflects the amount of carbon fixed by plant biomass after subtracting autotrophic respiration and serves as an important indicator of ecosystem functioning, carbon sequestration capacity, and resilience to environmental change. At the global scale, recent studies indicate an overall increase in terrestrial NPP of approximately 1.52 g C/m²/yr⁻¹ during the period 2003–2020 (Hu et al., 2024), although substantial regional differences persist due to climate variability, land-use change, and anthropogenic impacts.

NPP is widely applied to analyze terrestrial ecosystem responses to climate variability and climate change. Because vegetation productivity is closely linked to precipitation, temperature, and evapotranspiration, spatial and temporal variations in NPP allow the identification of dry and wet periods, assessment of ecosystem responses to extreme

climatic events (such as droughts and anomalously warm years), and evaluation of ecosystem sensitivity to climatic drivers. Consequently, NPP serves as a valuable proxy for assessing climate impacts on biospheric processes.

Global climate change, manifested through rising temperatures, altered precipitation regimes, and an increasing frequency of extreme weather events, exerts a significant and spatially heterogeneous influence on terrestrial ecosystem productivity worldwide (IPCC, 2021). Satellite-based monitoring, particularly data from the Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer (MODIS), has become a widely recognized standard for assessing long-term NPP dynamics at regional and global scales, providing continuous data records since the early 2000s (Running & Zhao, 2015).

Central Asia, which is largely dominated by arid and semi-arid ecosystems such as steppes, semi-deserts, and deserts, is recognized as one of the regions most vulnerable to climate change (Li et al., 2017). Temperature increases in this region exceed global averages, and combined with increasing variability

in precipitation, pose serious threats to vegetation stability. Ecosystem productivity in Central Asia is strongly constrained by limited water availability, making vegetation particularly sensitive to droughts and anthropogenic pressures such as overgrazing and unsustainable agricultural practices (Zhang et al., 2021). Previous MODIS-based studies have revealed pronounced spatial heterogeneity in NPP trends across the region, with areas of both vegetation degradation and greening occurring under ongoing climate change (Xu et al., 2016).

Kazakhstan, characterized by vast areas of natural vegetation, plays a critical role in the carbon balance and ecological stability of Central Asia. In recent decades, pronounced climatic trends, including warming and shifts in moisture availability, have been observed across the country (Karatayev et al., 2022). These changes directly affect pasturelands and agricultural systems that underpin regional food security and socio-economic well-being. While several studies have examined vegetation dynamics across Kazakhstan at national or continental scales (Eisfelder et al., 2017, Liu et al., 2022) detailed sub-regional assessments of long-term NPP dynamics remain limited.

The relevance of the study is determined by the high sensitivity of arid and semi-arid ecosystems of the West Kazakhstan region to climate variability and climate change. Under conditions of rising air temperatures and unstable precipitation patterns, as-

sessing the spatiotemporal dynamics of net primary productivity (NPP) is an important task for monitoring the state of vegetation cover, identifying trends in ecosystem productivity, and justifying sustainable natural resource management. The use of MODIS satellite data enables long-term and objective monitoring of vegetation productivity at the regional level.

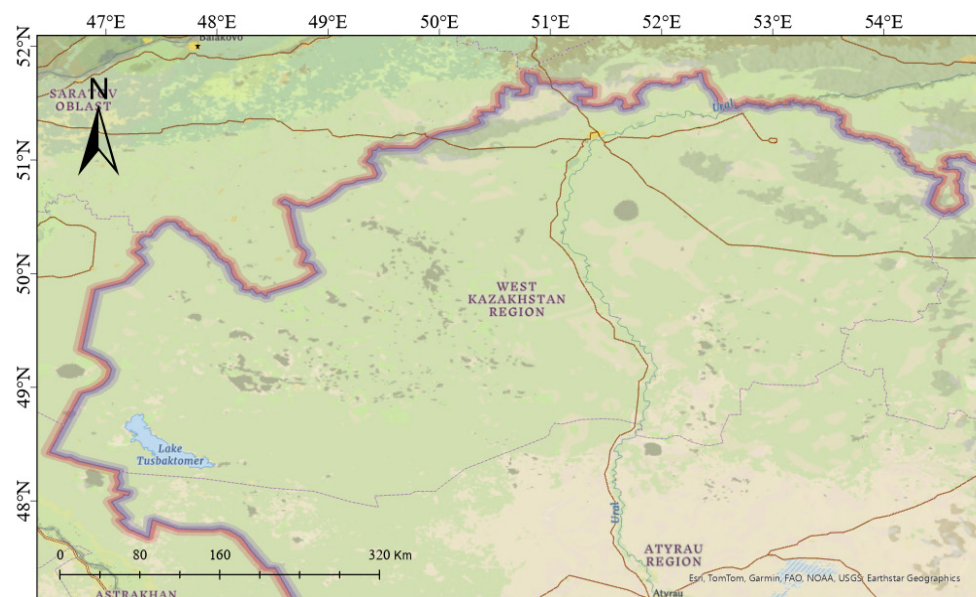
The West Kazakhstan Region represents a suitable case study for such a detailed analysis. The region encompasses a transition from dry steppe to semi-desert landscapes, includes major transboundary river systems such as the Zhaiyk (Ural) River, and experiences substantial anthropogenic pressure related to livestock grazing and the oil and gas industry (Alimbaev et al., 2020). Climatic changes in this region may therefore have distinct impacts on ecosystem productivity. This study aims to assess the spatial and temporal dynamics of NPP in the West Kazakhstan Region over a decadal period using satellite data and modern geospatial analysis techniques, and to analyze the direction and potential drivers of observed changes.

Data and methods

Study Area

The West Kazakhstan Region is located in the northwestern part of the Republic of Kazakhstan and covers an area of approximately 151.3 thousand km² (Figure 1).

Figure 1
The West Kazakhstan Region



Note: Compiled by the authors.

The region borders the Russian Federation to the north and west and adjoins Atyrau Region to the south, Aktope Region to the east, and North Kazakhstan Region to the northeast. Geographically, the territory extends between 47°50' and 51°40' N latitude and 48°00' and 56°00' E longitude.

The regional relief is dominated by flat features, including vast plains and lowlands that represent a part of the East European Plain. The highest elevations (200–250 m) are located in the eastern part of the region. The Zhaiyk (Ural) River and its tributaries are the area's most important hydrological features, playing a pivotal role in shaping local ecosystems and water supply systems. In terms of landscape, the region is characterised by the presence of three distinct natural zones: steppe, dry steppe and semi-desert. The region's high level of vegetation diversity reflects its ecological diversity.

The West Kazakhstan Region has a continental climate with pronounced aridity. The winter months are characterized by low temperatures and minimal snowfall. The summer period is characterized by high temperatures and aridity. Meteorological observations show that the average temperature in January ranges from −14 °C to −16 °C, and the average temperature in July ranges from +22 °C to +24 °C.

Land use in the region is predominantly agricultural, with a strong emphasis on pastoral livestock farming. Intensive grazing is a key anthropogenic factor affecting vegetation productivity. In addition, grain farming is developed mainly in the northern parts of the region. The combination of climatic gradients and land use intensity makes the West Kazakhstan region a representative area for studying the dynamics of net primary productivity in a changing environment.

Data and Data Processing

To estimate net primary productivity (NPP), satellite data from the MODIS MOD17A3HGF product, version 6.1, were used. This product provides annual NPP values with a spatial resolution of 500 m for the period 2010–2022. This product is formed on the basis of the LUE (Light Use Efficiency) model, which uses data on photosynthetically active radiation and climatic parameters (temperature, air humidity, radiation balance).

Preprocessing steps included temporal filtering of the dataset to the study period and selection of the

NPP band. Pixel values were scaled using the conversion factor of 0.0001 as specified in the MODIS technical documentation (Running & Zhao, 2019).

Climatic variables were derived from the ERA5-Land Daily Aggregated dataset, including 2-m air temperature and total precipitation (<https://cds.climate.copernicus.eu/datasets/reanalysis-era5-land?tab=overview>). Daily values were aggregated into annual means (temperature) and annual sums (precipitation) and resampled to match MODIS resolution.

The calculation of the spatio-temporal dynamics of NPP and other calculations were carried out using geospatial analysis methods in the Google Earth Engine cloud platform (Gorelick et al., 2017). Long-term trends in NPP were identified using linear regression applied to annual time series on a pixel-by-pixel basis:

$$\text{NPP} = \beta_0 + \beta_1 \times \text{year} + \varepsilon$$

where β_1 represents the linear trend coefficient ($\text{g C/m}^2/\text{yr}^{-1}$) describing the direction and magnitude of change.

Statistical analysis included the calculation of annual mean NPP values for the entire region, which were visualized as time series. Annual image collections were harmonised by calendar year and spatially clipped to the official administrative boundary of the West Kazakhstan Region. Pixel-wise correlation analysis between NPP and climate drivers was performed using Pearson's correlation coefficient across all grid cells.

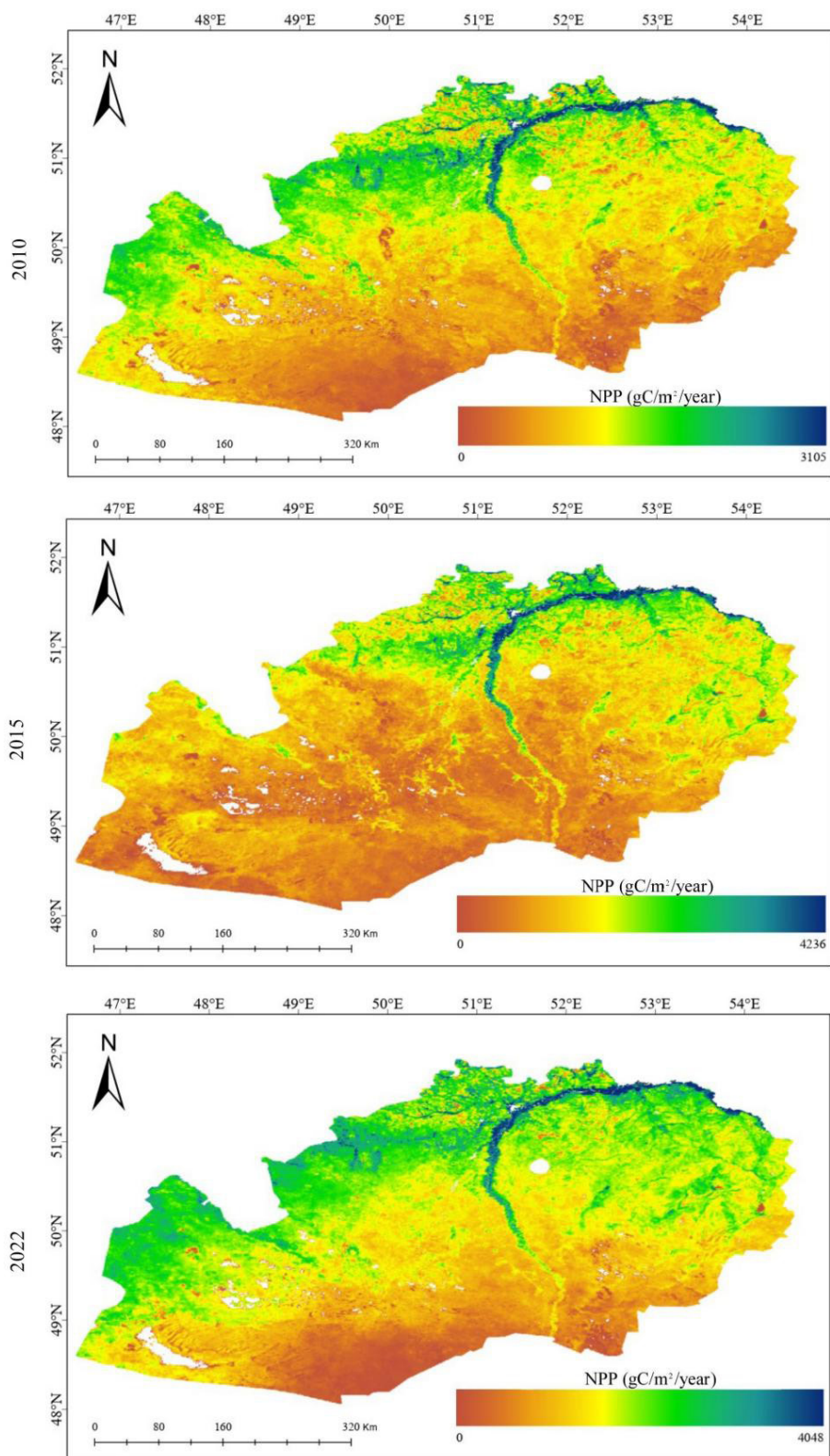
Results and discussion

Net primary productivity is directly related to photosynthetic activity and biological productivity and is therefore widely used as an indicator of ecosystem condition. Declines in NPP may indicate vegetation degradation, increasing aridity, anthropogenic pressure, or unfavorable climatic conditions, whereas stable or increasing trends suggest maintained or improved ecosystem functioning.

In arid and semi-arid regions such as the West Kazakhstan Region, NPP is particularly sensitive to changes in moisture availability and temperature regimes, making it a valuable indicator of landscape ecological stability (Figure 2).

Figure 2

Spatial distribution of net primary productivity (NPP) in West Kazakhstan Region in 2010, 2015, and 2022



Note: Compiled by the authors.

Spatial patterns of NPP across the West Kazakhstan Region exhibit pronounced and persistent heterogeneity throughout the study period (2010–2022). Higher NPP values are consistently observed in the northern and northeastern parts of the region and along major river valleys, particularly the Zhaiyk River, reaching approximately $2500\text{--}3000\text{ gC/m}^2/\text{yr}^{-1}$. In contrast, southern and southwestern areas are characterized by persistently low NPP values of approximately $200\text{--}350\text{ gC/m}^2/\text{yr}^{-1}$.

Substantial changes in ecosystem productivity occurred during the study period. From 2010 to 2015, NPP increased sharply by approximately 36.4%, rising from 3105 to $4236\text{ gC/m}^2/\text{yr}^{-1}$. By 2022, the NPP had declined slightly to $4048\text{ gC/m}^2/\text{yr}^{-1}$, which nevertheless represent-

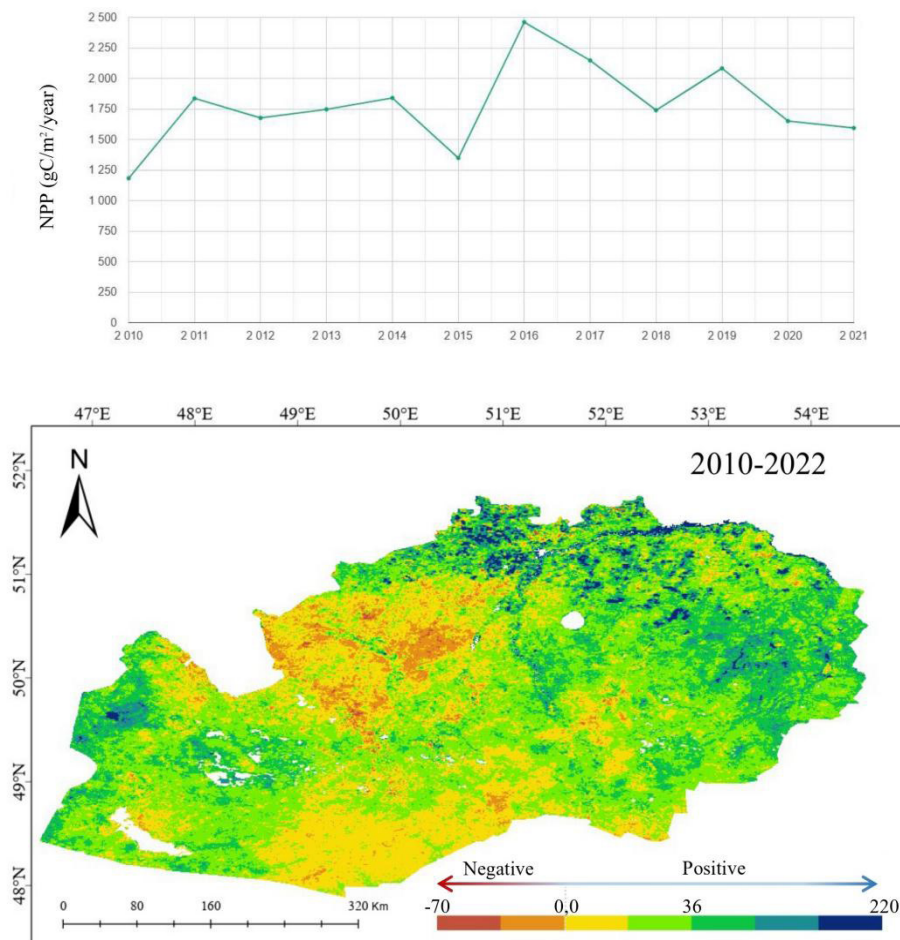
ed a 30.4% increase relative to the baseline year of 2010.

This spatial gradient is indicative of the transition from relatively humid steppe ecosystems in the north to more arid and semi-arid landscapes in the south. The persistence of this pattern over time indicates that large-scale climatic and physiographic factors dominate the spatial organisation of vegetation productivity in the region.

Interannual variability in NPP is pronounced. The year 2015 is characterised by a notable regional decline in NPP, evident in both spatial maps and regional mean time series. In contrast, 2016 exhibits the highest regional mean NPP value (approximately $2440\text{ gC m}^{-2}\text{ yr}^{-1}$) during the study period, followed by alternating years of moderate increases and decreases (Figure 3).

Figure 3

Interannual variability of mean(top) and Spatial trend (bottom) of net primary productivity (NPP) in West Kazakhstan region for the period 2010–2022



Note: Compiled by the authors.

Despite strong interannual fluctuations, no monotonic long-term decline in NPP is observed. Average NPP values in the late 2010s (2019–2022) are comparable to or slightly higher than those in the early 2010s, indicating the absence of large-scale degradation of vegetation productivity at the regional scale.

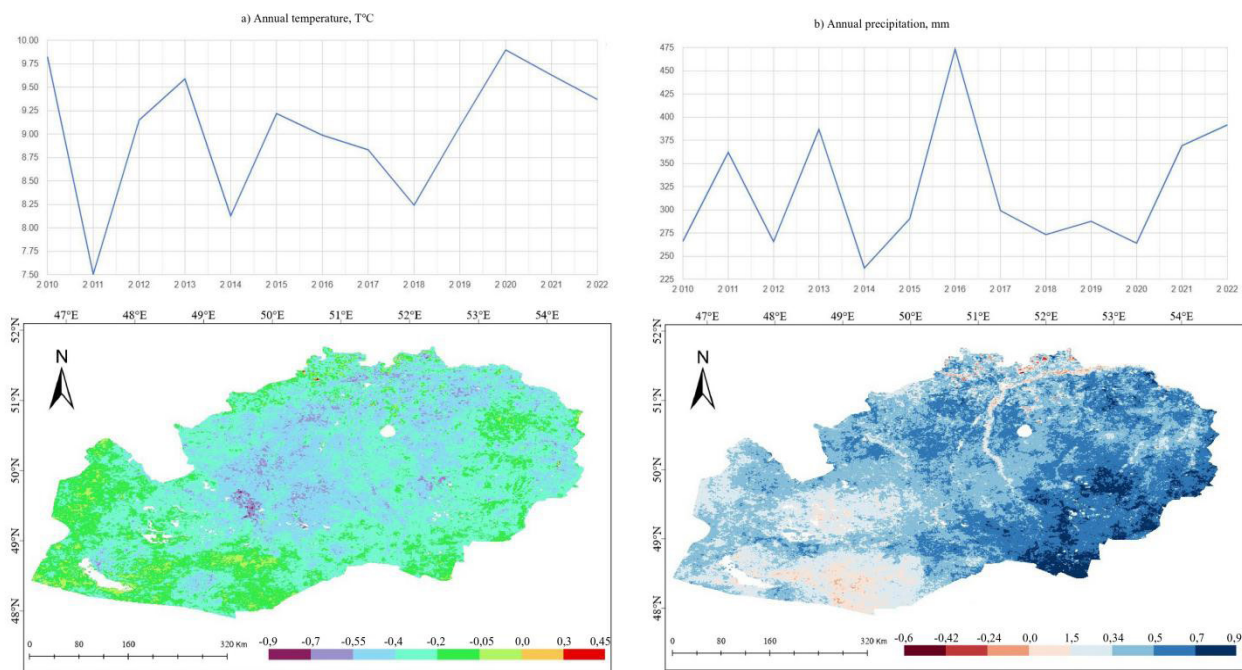
Trend analysis reveals a spatially heterogeneous pattern of NPP changes (Figure 3). Positive trends predominate over large areas of the northern and central regions of West Kazakhstan Region, particularly in riverine zones and regions with relatively higher moisture availability. Negative trends are locally observed in the northeastern and southern parts of the region. Overall, the predominance of positive

trends indicates a weak but spatially uneven increase in vegetation productivity over the study period. However, the mosaic nature of the trend suggests that local environmental conditions influence regional climate impacts.

The average long-term dynamics of climatic conditions in the West Kazakhstan region demonstrates pronounced interannual variability in both air temperature and precipitation (Figure 4). Time series analysis reveals that the temperature regime is characterized by moderate increases in some years, while precipitation is highly variable, with alternating wet and dry periods. This climatic instability is typical of arid and semi-arid regions and shapes the key conditions for vegetation growth.

Figure 4

Mean annual air temperature (left) and total annual precipitation (right) and Spatial patterns of Pearson correlation coefficients between NPP (bottom) in West Kazakhstan region



Note: Compiled by the authors.

Spatial analysis of the correlation between NPP, temperature, and precipitation revealed distinct regional differences. The correlation between NPP and precipitation is predominantly positive over most of the region, particularly in the central ($r \approx 0.46$, $p > 0.05$), northern ($r \approx 0.51$, $p > 0.05$) part of the region. And the strongest positive relationship between precipitation and NPP was revealed in the southeastern part of the study area ($r \approx 0.64$; $p < 0.05$). This indicates the dominant role of moisture

availability as a limiting factor in vegetation productivity. In the southern and southwestern parts of the region, the correlations are weaker, which may be due to extremely dry conditions, in which additional precipitation does not always lead to a significant increase in productivity.

The correlation between NPP and temperature is characterised by greater spatial heterogeneity. In the northern and north-eastern regions, predominantly weak positive or near-zero correlations are

observed, suggesting a potentially favourable effect of moderate warming on plant processes in the presence of sufficient moisture. Concurrently, areas exhibiting negative correlation have been identified in the southern ($r \approx -0.44$, $p > 0.05$) and central regions ($r \approx -0.53$, $p > 0.05$), suggesting an escalation in water stress experienced by vegetation in response to rising temperatures and enhanced evaporation. A statistically significant correlation was revealed only in certain local areas of the study territory and does not form large spatially connected zones.

In both arid and semi-arid ecosystems, water availability is the main factor affecting NPP, with temperature was a secondary variable. The notable decline in NPP observed in 2015 is consistent with the response of arid vegetation to drought, which typically leads to reduced photosynthetic activity and a shorter growing season. On the contrary, the maximum NPP in 2016 was a result of a favorable wetness environment coupled with high temperatures.

Region temperature has an indirect effect on NPP by regulating the length of the growing season and the process of evapotranspiration. Productivity has been shown to increase in northern steppe zones when there is moderate warming and sufficient moisture. Conversely, growing temperatures with less precipitation have been shown to exacerbate moisture deficits, leading to a decline in NPP. This phenomenon can be observed in the spatially heterogeneous trends observed in the southern and north-eastern regions. This dual control explains why trends in net primary productivity are not spatially homogeneous and why positive trends are mainly limited to areas with better hydrological conditions.

The results obtained indicate that NPP serves as a sensitive indicator of climate variability in the western region, especially with regard to precipitation. However, strong spatial heterogeneity and nonlinear responses highlight the limitations of interpreting NPP changes based solely on regional averages. Therefore, combining spatially explicit NPP analysis with climate variables (precipitation and temperature) is important for understanding ecosystem responses to climate variability and change in arid regions.

The results of our analysis of the spatiotemporal dynamics of NPP have both scientific and practical significance and can be used in a wide range of research and practical applications. Spatially detailed NPP estimates and identified trends allow us to objectively characterise vegetation productivity and its interannual variability, which is an important basis

for assessing the status and sustainability of ecosystems in arid and semi-arid regions.

From a scientific perspective, the results of this study contribute to our understanding of the interaction between climate and the biosphere, as well as how vegetation responds to climate variability. The spatial heterogeneity of NPP and the absence of monotonic long-term trends underscore the necessity of incorporating local environmental conditions and nonlinear ecosystem response mechanisms. The data obtained can be used to test and refine ecosystem and climate models, as well as for comparable regional studies.

In practical terms, the results can inform environmental monitoring, the assessment of productive potential in different territories and the substantiation of decisions relating to the rational management of natural resources and territorial planning. NPP analysis enables the identification of areas where vegetation cover is particularly vulnerable and where there is potential for degradation, which is highly relevant in the context of increasing climate variability.

Further research should include a more detailed quantitative analysis of the relationship between net primary productivity (NPP) and climatic factors such as precipitation and temperature, as well as their seasonal and lagged effects. Extending the observation time interval and integrating satellite data with ground-based climate and environmental measurements will refine the identified patterns and increase the reliability of the conclusions drawn. Another focus will be analysing the impact of land use and anthropogenic factors to separate the climate signal from economic impacts. Taken together, such studies will contribute to a deeper understanding of the mechanisms of changes in ecosystem productivity, thereby expanding the potential for the practical application of the NPP indicator in the monitoring and sustainable management of natural resources.

Uncertainties and limitations

Despite the wide applicability of net primary productivity (NPP) as an integrated indicator of ecosystem functioning, the interpretation of the obtained results is subject to several uncertainties and limitations that should be considered.

Satellite-based NPP products depend on model assumptions and input variables such as absorbed photosynthetically active radiation, temperature, and moisture stress. Different NPP models may produce varying absolute values, particularly in arid

and semi-arid regions where vegetation productivity is strongly constrained by water availability. Consequently, uncertainties related to model parameterization and biome-specific coefficients may affect the magnitude of estimated NPP values (Zhao & Running, 2010). The spatial resolution of satellite-derived NPP products may not fully capture fine-scale landscape heterogeneity typical of steppe and semi-arid environments. Degradation or recovery processes at the local level, particularly those influenced by land use, may therefore be underestimated or smoothed at the pixel scale. This limitation is particularly relevant in regions characterised by mosaic land cover patterns (Zhang & Ye, 2022).

The accuracy of climate data was a key factor in our analysis. Interpreting changes in vegetation productivity directly depends on the quality of precipitation and temperature information. In this paper, we relied on modeled and interpolated data. Their inherent uncertainties can introduce additional bias, affecting the assessment of interannual variability and complicating the determination of which climate factor—drought, heat, or a combination of both—was the primary driver of NPP changes. Another complication is the nonlinear nature of ecosystem responses. Particularly under water-stressed conditions, vegetation often responds to climate change abruptly and disproportionately. A small decrease in precipitation or an increase in temperature may have little effect on productivity until a critical threshold is crossed. After that, we observe a “crash”—a significant drop in NPP. Such threshold effects complicate straightforward interpretation.

Vegetation productivity this year isn't always an immediate response to current weather. It can depend on soil moisture reserves accumulated in the previous season, the state of the vegetation cover, or phenological cycles. Therefore, the observed decline in NPP may be a delayed effect of a drought that occurred a year or even two years ago (Zhang et al., 2025).

When analyzing vegetation productivity using satellite data, it's important to keep the overall picture in mind. The resulting NPP values are a composite result, intertwining the influence of both climate and human activity. Land use changes, grazing intensity, and various management practices can significantly influence plant growth. However, without additional field studies, separating these human contributions from purely climate variability is extremely difficult. This creates certain difficulties in unambiguously attributing all observed shifts in NPP solely to climate change.

Also, our analysis covers a relatively short period (2010–2022). This may be insufficient for identifying long-term climate trends, especially in arid regions with strong year-to-year fluctuations. Over such a short period, we are more likely to detect short-term anomalies than a stable long-term trend. Therefore, the identified patterns should be viewed primarily as reflecting medium- and short-term dynamics.

The above does not invalidate the findings, but it does indicate the need for a cautious and balanced interpretation. They also clearly indicate directions for future, more in-depth research.

Conclusion

This study examined the impact of the environment and time on plant growth in the West Kazakhstan region from 2010 to 2022 using MODIS data. The results obtained from the analysis showed the existence of a distinct and persistent spatial heterogeneity in NPP, with values being higher in the northern parts and the river valley areas, and lower in the southern parts, which signifies lower climatic conditions in the southern region.

The results also showed high interannual variability in NPP, with a significant decline in 2015 and partial recovery afterward. The trend analysis showed predominantly positive, though highly spatially variable changes in NPP, implying that there was no widespread long-term degradation in vegetation productivity, although there is considerable and scattered decline in productivity. The patterns thus highlighted the high sensitivity of vegetation in the region to climate variability, particularly to anomalies in moisture conditions.

These results confirm the value of NPP as an indicator variable of ecosystem function and response to climate impacts in arid and semi-arid regions. To interpret the obtained data, there is a need to consider uncertainties. First, they relate to the application of satellite products. They also relate to the quality of data on climate. Furthermore, they relate to nonlinear and delayed ecosystem responses.

This study provides a scientific basis for further work on ecosystem monitoring and the analysis of climate-biosphere interactions, as well as justifying sustainable nature management in the region. The results of this study provide spatially disaggregated information on net primary productivity (NPP) dynamics, which can be used by a wide range of scientific, governmental, and applied stakeholders working on ecosystem functioning, climate impacts, and

sustainable land management. The identified spatial patterns and temporal trends in NPP provide an objective basis for assessing vegetation productivity and its variability in the study region.

The authors declare no conflict of interest.

Author Contributions

Conceptualization, Bissenbayeva S. and Shokparova D.; Methodology, Bissenbayeva S.; Software, Abudurexiti M.; Validation, Akhmedenov K. and Abudurexiti M.; Formal Analysis, Bissenbayeva S.; Investigation, Akhmedenov K.; Resources, Abudurexiti M.; Data Curation, Shokparova D.; Writ-

ing – Original Draft Preparation, Bissenbayeva S. and Shokparova D.; Writing – Review & Editing, Shokparova D.; Visualization, Abudurexiti M.; Supervision, Bissenbayeva S.; Project Administration, Shokparova D.

Funding

This research was funded by the Ministry of Science and Higher Education of the Republic of Kazakhstan (Grant No. BR28712767 Study of ecological, socio-demographic, economic-geographical, and paleobiogeographical aspects of the Urals and assessment of its natural resource potential).

References

- Alimbaev, T., Mazhitova, Z., Omarova, B., Yermagambetova, K., Atanakova, K., & Zhumanova, A. (2020). Ecology of the Western region in Kazakhstan: State and main directions of improvement. *In E3S Web of Conferences, Vol. 217*, p. 04006. EDP Sciences.
- Eisfelder, C., Klein, I., Bekkuliyeve, A., Kuenzer, C., Buchroithner, M. F., & Dech, S. (2017). Above-ground biomass estimation based on NPP time-series— A novel approach for biomass estimation in semi-arid Kazakhstan. *Ecological Indicators, 72*, 13-22. DOI: 10.1016/j.ecolind.2016.07.042
- 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.
- Hu, X., Feng, H., Tang, Y., Wang, S., Wang, S., Wang, W., & Huang, J. (2024). Detection of the contribution of vegetation change to global net primary productivity: A satellite perspective. *Remote Sensing, 16*(24), 4692.
- IPCC (2021) Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Masson-Delmotte, V., et al. (eds.)]. Cambridge University Press. DOI: 10.1017/9781009157896
- Karatayev, M., Clarke, M., Salnikov, V., Bekseitova, R., & Nizamova, M. (2022). Monitoring climate change, drought conditions and wheat production in Eurasia: the case study of Kazakhstan. *Heliyon, 8*(1). DOI:10.1016/j.heliyon.2021.e08660
- Li, Z., Chen, Y., Fang, G., & Li, Y. (2017). Multivariate assessment and attribution of droughts in Central Asia. *Scientific reports, 7*(1), 1316. DOI:10.1038/s41598-017-01473-1
- Liu, L., Guan, J., Han, W., Ju, X., Mu, C., Zheng, J. (2022). Quantitative Assessment of the relative contributions of climate and human factors to Net Primary Productivity in the Ili River Basin of China and Kazakhstan. *Chinese Geographical Science, 32*(6), 1069-1082.
- Running, S. W. & Zhao, M. (2015). Daily GPP and annual NPP (MOD17A2/A3) products NASA Earth Observing System MODIS land algorithm. *MOD17 User's Guide, 2015*, 1-28.
- Running, S. & Zhao, M. (2019). MOD17A3HGF MODIS/Terra Net Primary Production Gap-Filled Yearly L4 Global 500 m SIN Grid V006 [Data set]. NASA Land Processes Distributed Active Archive Center. DOI:10.5067/MODIS/MOD17A3HGF.006 (Date Accessed: 2026-01-14).
- Xu, H. J., Wang, X. P., & Zhang, X. X. (2016). Decreased vegetation growth in response to summer drought in Central Asia from 2000 to 2012. *International journal of applied earth observation and geoinformation, 52*, 390-402.
- Zhang, H., Lv, X., Ni, Y., Zhang, Q., Wang, J., & Ma, L. (2025). Time-lag effects of NEP and NPP to meteorological factors in the source regions of the Yangtze and Yellow Rivers. *Frontiers in Plant Science, 15*, 1502384.
- Zhang, J., Hao, X., Hao, H., Fan, X., & Li, Y. (2021). Climate change decreased net ecosystem productivity in the arid region of central Asia. *Remote Sensing, 13*(21), 4449. DOI: 10.3390/rs13214449
- Zhang, Y. & Ye, A. (2022). Uncertainty analysis of multiple terrestrial gross primary productivity products. *Global Ecology and Biogeography, 31*(11), 2204-2218. DOI: 10.1111/geb.13578
- Zhao, M. & Running, S. W. (2010). Drought-induced reduction in global terrestrial net primary production from 2000 through 2009. *Science, 329*(5994), 940-943. DOI: 10.1126/science.1192666

Information about the authors:

Bissenbayeva Sanim – Ph.D., Senior Researcher of the China-Kazakhstan Joint Laboratory for Remote Sensing Technology and Application, Al-Farabi Kazakh National University (Almaty, Kazakhstan, e-mail: bysenbaeva.sanym1@kaznu.kz).

Shokparova Dana – Ph.D., Director of the China-Kazakhstan Joint Laboratory for Remote Sensing Technology and Application, Al-Farabi Kazakh National University (Almaty, Kazakhstan, e-mail: shokparova.dana@kaznu.kz).

Abudurexiti Meriguli – Doctoral student of the Al-Farabi Kazakh National University (Almaty, Kazakhstan, e-mail: 1270904756@qq.com).

Akhmedenov Kazhmurat Maksutovich – Candidate of Geographical Sciences, Professor, Professor of educational programs for teacher training in biology, geography, chemistry at Makhambet Utemisov West Kazakhstan University (Uralsk, Kazakhstan, e-mail: kazhmurat78@mail.ru).

Авторлар туралы мәлімет:

Бисенбаева Саним Бегимовна – Ph.D., әл-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университеті, Қазақстан-Қытай бірлескен Қашықтықтан зондау технологиялары және оларды қолдану зертханасының аға ғылыми қызметкері (Алматы, Қазақстан, e-mail: bysenbaeva.sanym1@kaznu.kz).

Шокпарова Дана Канатхановна – Ph.D., әл-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университеті, Қазақстан-Қытай бірлескен Қашықтықтан зондау технологиялары және оларды қолдану зертханасының директоры (Алматы, Қазақстан, e-mail: shokparova.dana@kaznu.kz).

Абыдурешит Мейіргүл – әл-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университетінің докторанты (Алматы, Қазақстан, e-mail: 1270904756@qq.com).

Ахмеденов Кажмурат Максұтович – география ғылымдарының кандидаты, профессор, Махамбет Өтемісов атындағы Батыс Қазақстан университетінің биология, география, химия мұғалімдерін дайындау білім беру бағдарламаларының профессоры (Орал, Қазақстан, e-mail: kazhmurat78@mail.ru).

Сведения об авторах:

Бисенбаева Саним Бегимовна – Ph.D., Старший научный сотрудник Казахстанско-Китайской совместной лаборатории Технологии дистанционного зондирования и их применения, НАО «Казахский национальный университет имени аль-Фараби» (г. Алматы, Казахстан, e-mail: bysenbaeva.sanym1@kaznu.kz).

Шокпарова Дана Канатхановна – Ph.D., Директор Казахстанско-Китайской совместной лаборатории Технологии дистанционного зондирования и их применения, НАО «Казахский национальный университет имени аль-Фараби» (Алматы, Казахстан, e-mail: shokparova.dana@kaznu.kz).

Абыдурешит Мейіргүл – докторант, НАО «Казахский национальный университет имени аль-Фараби» (Алматы, Казахстан, e-mail: 1270904756@qq.com).

Ахмеденов Кажмурат Максұтович – кандидат географических наук, профессор, профессор образовательных программ по подготовке учителей биологии, географии, химии Западно-Казахстанского университета имени Махамбета Утемисова (Уральск, Казахстана, e-mail: kazhmurat78@mail.ru).

Received: January 16, 2026

Accepted: May 17, 2026

I. Akbar^{1*}, G. Kubessova², E. Morrison¹,
M. Mamadiyarov³, M. Galimov⁴

¹Continuing and Professional Education, University of California, Davis, CA, USA

²Department of Geography and Tourism, K. Zhubanov Aktobe Regional University, Aktobe, Kazakhstan

³Peoples' Friendship University named after Academician A. Kuatbekov, Shymkent, Kazakhstan

⁴Makhambet Utemisov West Kazakhstan University, Uralsk, Kazakhstan

*e-mail: iakbar@ucdavis.edu

SPATIAL AND INFRASTRUCTURAL DETERMINANTS OF ROAD TRAFFIC MORTALITY IN KAZAKHSTAN: A VISION ZERO PERSPECTIVE TOWARD SDG INDICATOR 3.6.1

Purpose: This study aims to provide a comprehensive analysis of recent trends in road traffic accidents (RTAs) and road traffic mortality in Kazakhstan from demographic, spatial, and infrastructural perspectives. The research is grounded in the methodological frameworks of Sustainable Development Goal (SDG) indicator 3.6.1, the Safe System approach, and the Vision Zero concept.

Research methodology: A mixed-methods research design was utilized. The analysis draws on official national statistics for the period 2018–2022, reports from international organizations (WHO, OECD/ITF), and infrastructure safety assessment data from the International Road Assessment Programme (iRAP).

Findings: The findings indicate that despite a relative decline in the number of RTAs in Kazakhstan, the level of road traffic mortality has not decreased and has even increased in certain years. This pattern suggests that measures primarily aimed at reducing crash frequency have been insufficient in mitigating the severity of their consequences. A disproportionately high share of fatalities occurs within built-up areas, particularly among pedestrians and minors, highlighting fundamental shortcomings in the safety-oriented design of urban road infrastructure. iRAP assessments reveal that the majority of the road network is rated at 1–3 stars, underscoring the decisive role of infrastructural factors in road traffic mortality.

Originality: The study concludes that Kazakhstan's current road safety policies are inadequate to achieve the targets of SDG indicator 3.6.1 and emphasizes the need for systemic, prevention-oriented strategies based on Vision Zero principles. The results provide a scientific basis for improving road safety through the integration of spatial planning and infrastructure-focused policy interventions.

Keywords: Road traffic safety, road traffic accidents, mortality, Vision Zero, Safe System, iRAP, Sustainable Development Goals.

И. Акбар^{1*}, Г.Т. Кубесова², Э.А. Моррисон¹,
М.Д. Мамадияров³, М.А. Галимов⁴

¹Калифорния университеті, Үздіксіз және кәсіби білім беру орталығы, Дэвис, Калифорния штаты, АҚШ

²Қ. Жұбанов атындағы Ақтөбе өңірлік университеті, Ақтөбе, Қазақстан

³Академик А. Қуатбеков атындағы Халықтар достығы университеті, Шымкент, Қазақстан

⁴М. Өтемісов атындағы Батыс Қазақстан университеті, Орал, Қазақстан

*e-mail: iakbar@ucdavis.edu

Қазақстандағы жол-көлік өлім-жітімінің кеңістіктік және инфрақұрылымдық детерминанттары: Vision Zero және ТДМ 3.6.1 тұрғысынан талдау

Бұл зерттеу Қазақстандағы жол-көлік оқиғалары (ЖКО) мен олардан болатын өлім-жітімнің соңғы жылдардағы динамикасын демографиялық, кеңістіктік және инфрақұрылымдық тұрғыдан кешенді түрде талдауға бағытталған. Зерттеу Тұрақты даму мақсаты 3.6.1, Safe System және Vision Zero тұжырымдамаларының әдіснамалық негізінде жүзеге асырылды. Талдау 2018–2022 жылдар аралығындағы ресми ұлттық статистикаға, халықаралық ұйымдардың (WHO, OECD/ITF) есептеріне және iRAP инфрақұрылымдық қауіпсіздік бағалау деректеріне сүйенеді. Зерттеу нәтижелері Қазақстанда ЖКО санының салыстырмалы түрде төмендеуіне қарамастан, жол-көлік апаттарынан болатын өлім-жітім деңгейінің азаймай отырғанын және кейбір жылдары артқанын көрсетеді. Бұл құбылыс апаттардың жиілігін қысқартуға бағытталған шаралардың олардың салдарының ауырлығын төмендетуге жеткіліксіз екенін айқындайды. Өлім-жітімнің жоғары үлесі

елді мекендер ішінде, әсіресе жаяу жүргіншілер мен кәмелетке толмағандар арасында тіркелуі қалалық жол инфрақұрылымының қауіпсіздік тұрғысынан әлсіз жобаланғанын көрсетеді. iRAP бағалауы жол желісінің басым бөлігінің 1-3 жұлдызды қауіпсіздік деңгейіне ие екенін анықтап, инфрақұрылымдық факторлардың шешуші рөлін дәлелдейді. Зерттеу Қазақстанның жол қауіпсіздігі саласындағы қазіргі саясаты ТДМ 3.6.1 мақсаттарына жету үшін жеткіліксіз екенін және Vision Zero қағидаттарына негізделген жүйелік, алдын алуға бағытталған стратегияларды енгізу қажеттігін көрсетеді. Алынған нәтижелер жол қауіпсіздігін кеңістіктік жоспарлау мен инфрақұрылымдық саясатты қайта қарау арқылы жақсартуға ғылыми негіз ұсынады.

Түйін сөздер: жол-көлік қауіпсіздігі, жол-көлік оқиғалары, өлім-жітім, Vision Zero, Safe System, iRAP, Тұрақты даму мақсаттары.

И. Акбар^{1*}, Г.Т. Кубесова², Э.Л. Моррисон¹,
М.Д. Мамадияров³, М.А. Галимов⁴

¹Центр непрерывного и профессионального образования

Калифорнийского университета в Дэвисе, штат Калифорния, США

²Актюбинский региональный университет имени К. Жубанова, Актюбе, Казахстан

³Университет дружбы народов имени академика А. Куатбекова, Шымкент, Казахстан

⁴Западно-Казахстанский университет имени М. Утемисова, Уральск, Казахстан

*e-mail: iakbar@ucdavis.edu

Пространственные и инфраструктурные детерминанты смертности в результате дорожно-транспортных происшествий в Казахстане: анализ с позиций Vision Zero и индикатора 3.6.1 ЦУР

Целью данного исследования является комплексный анализ динамики дорожно-транспортных происшествий (ДТП) и смертности в результате ДТП в Казахстане за последние годы с демографической, пространственной и инфраструктурной точек зрения. Методологической основой исследования послужили индикатор 3.6.1 Цели устойчивого развития, концепция Safe System и философия Vision Zero. Анализ основан на официальной национальной статистике за 2018–2022 гг., отчетах международных организаций (ВОЗ, OECD/ITF), а также данных оценки безопасности дорожной инфраструктуры программы International Road Assessment Programme (iRAP). Результаты исследования показывают, что, несмотря на относительное сокращение числа ДТП в Казахстане, уровень смертности в результате дорожно-транспортных происшествий не снижается и в отдельные годы демонстрирует рост. Это свидетельствует о том, что меры, ориентированные преимущественно на сокращение частоты аварий, оказались недостаточными для снижения тяжести их последствий. Высокая доля погибших в пределах населенных пунктов, особенно среди пешеходов и несовершеннолетних, указывает на существенные недостатки в безопасности городского улично-дорожного пространства. Оценки iRAP показывают, что большая часть дорожной сети относится к 1-3 звездочному уровню безопасности, что подтверждает ключевую роль инфраструктурных факторов в формировании смертности на дорогах. В заключение подчеркивается, что текущая политика в сфере дорожной безопасности в Казахстане является недостаточной для достижения целевых показателей индикатора 3.6.1 ЦУР и требует внедрения системных, профилактически ориентированных стратегий, основанных на принципах Vision Zero. Полученные результаты формируют научную основу для повышения безопасности дорожного движения за счет пересмотра пространственного планирования и инфраструктурной политики.

Ключевые слова: безопасность дорожного движения, дорожно-транспортные происшествия, смертность, Vision Zero, Safe System, iRAP, Цели устойчивого развития.

Introduction

Road traffic accidents (RTAs) are one of the most pressing public health and sustainable development issues globally. According to the World Health Organization, road traffic accidents kill an estimated 1.2–1.3 million people and injure tens of millions more each year (WHO, 2018). Research over the past decade has clearly shown that this problem is not limited to transport safety alone, but is shaped by the interaction of spatial planning, infrastructure

quality, management systems, and human behavior (Yang et al., 2020; Zhang, 2023).

Road Safety and the Sustainable Development Goals: The Sustainable Development Goals (SDGs) adopted by the United Nations in 2015, target 3.6.1, aim to reduce road traffic fatalities by at least half by 2030. However, recent reviews show that many countries are not on track to achieve this goal, particularly in middle- and high-income countries with weak infrastructure (OECD&ITF, 2018; WHO, 2023).

The Vision Zero philosophy is widely discussed in the scientific literature as one of the most effective strategic approaches to road safety. According to studies by He et al. (2022) and Mofolasayo (2024), countries that have implemented Vision Zero have seen a significant reduction in road fatalities. This concept recognizes the potential for road user error and considers the design of road systems to be such that those errors do not lead to fatalities.

The relationship between human factors and infrastructure: The current scientific consensus on the causes of road accidents indicates that the human factor is involved in 90–95% of accidents. However, research over the past decade has shown that explaining the human factor in terms of individual responsibility alone is not enough Khan and Das (2024) and Elvik (2020) show that dangerous driver behavior is largely predetermined by the spatial configuration and engineering design of the road.

In this context, studies based on the iRAP (International Road Assessment Program) methodology are of particular importance. (iRAP, 2019) and Welle et al. (2018) have shown that the risk of death on 4–5-star safety roads is several times lower than on 1–2-star roads. This indicates that infrastructure safety is a key factor in reducing the severity of road accidents.

Urbanization and Socio-Spatial Inequality: Recent urban studies have shown that a significant proportion of road traffic fatalities occur within settlements, especially among pedestrians and children (Adanu et al., 2023; Islam et al., 2022). This phenomenon suggests that transport-oriented urban planning models are at odds with the principles of social justice.

The presence of pedestrians and children as a vulnerable group is considered in the scientific literature as an important indicator for assessing the quality of road infrastructure. Such studies have identified “forgiving road design”, speed limits in school zones and safe crossings as the most effective tools for reducing fatalities (Elvik et al., 2019; Lie et al., 2024).

Research gap in the context of Kazakhstan: Road safety research for Central Asian countries is limited and is often limited to descriptive statistics. Although the high level of road traffic fatalities in Kazakhstan is noted in published works, its spatial and infrastructural causes are rarely analyzed in a comprehensive manner (WB, 2020). This situation does not allow for a full understanding of the main obstacles to achieving the SDG 3.6.1 target. Therefore, the main goal of this research is to analyze the

dynamics of road accidents and fatalities in Kazakhstan in recent years from a demographic, spatial and infrastructure perspective, and to interpret the results obtained in the context of the SDG objective 3.6.1 and the principles of Vision Zero.

Literature review

Global Paradigms for Road Safety – Safe System and Vision Zero: The scientific research over the past decade has identified the Safe System and Vision Zero paradigms as key concepts for ensuring road safety. These approaches consider the structural weaknesses of the road system, rather than individual error, as the primary cause of road accidents. The scientific consensus is that human error will always occur, and therefore the transport system should be designed to prevent these errors from leading to death or serious injury (Elvik et al., 2019; Kharoufah et al., 2018).

Numerous country and comparative studies have shown that countries that have comprehensively implemented Vision Zero principles have reduced road traffic fatalities by 40–60% (Ecola et al., 2018; OECD&ITF, 2018). This reduction is achieved not only through legal controls, but also through infrastructure redesign, speed management, and data-driven policies. In this context, the World Health Organization considers Vision Zero and Safe System as key tools for achieving MDG target 3.6.1 (WHO, 2018, 2023).

The crucial role of infrastructure safety and road design: One of the main factors determining the severity of road accidents is the level of road safety infrastructure. Studies over the past decade have shown that most accidents occur in favorable weather and road conditions, but their fatality is directly related to the geometry and engineering design of the road (Elvik, 2020; Welle et al., 2018). Studies based on the iRAP methodology have shown that the risk of death on 4–5-star roads is several times lower than on 1–2 star roads (iRAP, 2019). These scientific results indicate that preventive engineering design is more important than post-accident measures in improving road safety. Especially in urban areas, “forgiving road design” has been shown to significantly reduce the consequences of accidents (Wegman et al., 2015).

Human factors, speed and risky behaviour: The international scientific literature confirms that human factors are involved in 90–95% of road accidents, but this factor is not considered solely in the context of individual responsibility (Elvik, 2020;

WHO, 2018). Many studies show that risky driver behaviour (speeding, non-compliance with traffic rules, alcohol use) is largely dependent on the nature of the road space.

Speed management is recognized as one of the most effective tools for reducing road fatalities. Systematic reviews show that limiting urban speed limits to 30–50 km/h significantly reduces pedestrian fatalities (Lubbe et al., 2022; OECD&ITF, 2018). In addition, many national studies have proven that integrated policies (punishment, inspection, technological control) are effective in reducing accidents involving drunk drivers (Elvik et al., 2019; Lym & Chen, 2020).

Urbanization, spatial inequality and vulnerable groups: Recent literature shows that a significant proportion of road traffic fatalities occur within settlements, especially among pedestrians and children (WHO, 2018, 2023). This situation demonstrates that transport-oriented urban planning is not in line with the principles of social justice.

Inadequate infrastructure for children and pedestrians (safe crossings, school zones, traffic calming elements) aggravates the consequences of accidents (Elvik, 2020; Katoch et al., 2025). In scientific works, road safety is considered not only as a technical issue, but also as a component of spatial planning and social policy.

Research gap in the context of Kazakhstan and similar countries: Research for middle-income and large-scale countries shows that the pace of road traffic fatality reduction is slow and that the main reasons are poor infrastructure safety, weak data systems and reactive policies (OECD&ITF, 2018; WB, 2020). While published works on Kazakhstan highlight the high level of road traffic fatalities, few studies have comprehensively analyzed their spatial and systemic causes.

Given this research gap, assessing road traffic safety in the context of Kazakhstan within the framework of Vision Zero, iRAP and SDG 3.6.1 is relevant. This study aims to reveal the structural problems in the field of road safety in Kazakhstan and to justify effective policies, based on international scientific evidence.

Methodology

Research design and methodological approach: This study aims to comprehensively analyze the spatial, demographic, and infrastructural characteristics of road traffic accidents (RTAs) and their associated deaths in Kazakhstan. The study is based

on a descriptive-analytical design and uses a mixed methodological approach that combines elements of quantitative statistical analysis and qualitative interpretation.

The formation of the research work was directly influenced by the participation of the 1st author in a research assignment implemented within the framework of the “Sustainable Development Goals” discipline taught at the University of California, Davis (UC Davis). Within the framework of this project, the researchers were tasked with selecting a country with which they had extensive knowledge and analyzing the level of implementation of the Sustainable Development Goals using the example of that country.

In this context, Goal 3 of the Sustainable Development Goals – ensuring healthy lifestyles and promoting well-being for people of all ages – was taken as the main guideline in determining the topic of the study. When choosing the topic, the author of the study was concerned that the level of deaths and injuries due to road accidents in Kazakhstan remains high and is not steadily decreasing. This situation necessitated an in-depth analysis of Kazakhstan within the framework of SDG target indicators 3.6.1, which focuses on reducing the global rate of death caused by road traffic accidents.

The Safe System and Vision Zero concepts, as well as indicators of Sustainable Development Goal 3.6.1, were adopted as the methodological basis. The Vision Zero Network is a collaborative campaign to help communities eliminate traffic deaths and serious injuries while promoting safe, equitable mobility. The study allows assessing road safety not only in terms of the number of accidents, but also in terms of the severity of their consequences, spatial distribution and social impact.

Sources and Databases: The data used in the study were collected from several official and international sources, including:

- Official statistical data on road accidents, fatalities and injuries (2018–2022) published by the authorized state bodies of the Republic of Kazakhstan;
- Reports and databases of international organizations on road safety;
- Data obtained within the framework of international programs for assessing the safety level of road infrastructure;
- International scientific literature and secondary sources for comparative analysis.

All data were checked for time consistency, comparability and compliance with international standards.

Analysis methods: The following analysis methods were used in the study:

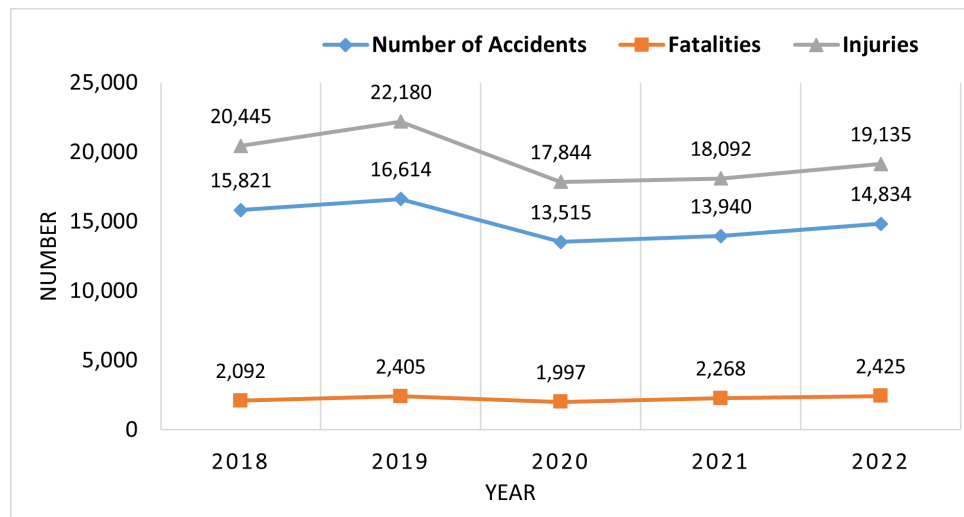
- Descriptive statistical analysis – to determine the time dynamics of the number of road accidents, fatalities and injuries;
- Comparative analysis – to compare Kazakhstan's indicators with international practice and SDG 3.6.1 target indicators;
- Structural-demographic analysis – to assess the structure of road accidents by gender, age and road user categories;
- Spatial-interpretive analysis – to explain the distribution of road accidents within and between settlements, as well as their relationship with the level of infrastructure safety;
- Infrastructure safety assessment – the level of road network safety was analyzed based on star ratings.

The study results were interpreted in terms of the principles of Vision Zero and the Safe System approach and served as the basis for drawing policy and practical conclusions aimed at improving road safety in Kazakhstan.

Results and discussion

Dynamics and consequences of road accidents in Kazakhstan: The dynamics of road accidents (RAs) in Kazakhstan over the period 2018–2022 shows a relatively decreasing trend in terms of numbers, but their severity has increased. As shown in Figure 1, the number of RAs decreased in 2018–2019, stabilized in 2020–2021, and decreased again in 2022. This trend is explained by the strengthening of traffic regulation measures and restrictions on mobility during the COVID-19 pandemic.

Figure 1
General dynamics of road accidents in Kazakhstan (2018–2022)



Note: compiled by the author based on Bureau of National Statistics of the Republic of Kazakhstan

However, the data presented in Table 1 show that despite an average decrease in the number of road accidents by -6.2% , the number of fatalities increased by $+15.9\%$. This paradoxical situation means that although road accidents are rare, the likelihood of them causing fatalities has increased.

That is, the problem is shifting not only to the number of accidents, but also to the severity of incidents. This trend may be due to low safety standards of road infrastructure, high speed, and insufficient use of safety equipment (seat belts, child seats, motorcycle protection).

Table 1

Average values and rates of change of road accident indicators in Kazakhstan

Indicator	Average value (2018–2022)	Change, %
Number of road accidents	14 945	–6.2
Number of fatalities	2 237	+15.9
Number of injuries	19 539	–6.4

Note: compiled by the author based on data from Bureau of National Statistics of the Republic of Kazakhstan

Mortality structure and demographic characteristics: The level of road traffic fatalities in Kazakhstan is high by international standards. According to Table 2, the fatality rate per 100,000 people is between 11.5 and 12.2, and approximately 2,000 people die in road accidents each year. These figures clearly demonstrate the socio-economic importance of the road safety issue.

Table 2
Key indicators of road traffic fatalities in Kazakhstan (2021)

Indicator	Value (People)
Mortality (per 100,000 people)	11.5–12.2
Annual deaths	≈2 000
Deaths per 100,000 vehicles	53
every 56 minutes	1 person dies

Note: compiled by the author based on data from World Health Organization (2023) and Bureau of National Statistics of the Republic of Kazakhstan

The demographic structure of fatalities is characterized by a clear gender imbalance. As shown in Table 3, 73% of fatalities are men, while the share of women is 27%. This difference is explained by the predominance of risky behavior, high speed driving, and the share of professional drivers among men. In addition, the high share of pedestrian fatalities (27%) indicates the inadequacy of urban pedestrian infrastructure (crosswalks, lighting, islands).

Table 3
Demographic structure of road traffic deaths

Indicator	Share (%)
Women	27
Men	73
Pedestrians	27
Other road users	73

Note: compiled by the author based on data from Bureau of National Statistics of the Republic of Kazakhstan and World Health Organization (2018)

Results of Regression Analysis: The high proportion of juvenile deaths (approximately 10.6%) is of particular concern and demonstrates the weak-

ness of spatial planning and speed limit measures for child safety in Kazakhstan.

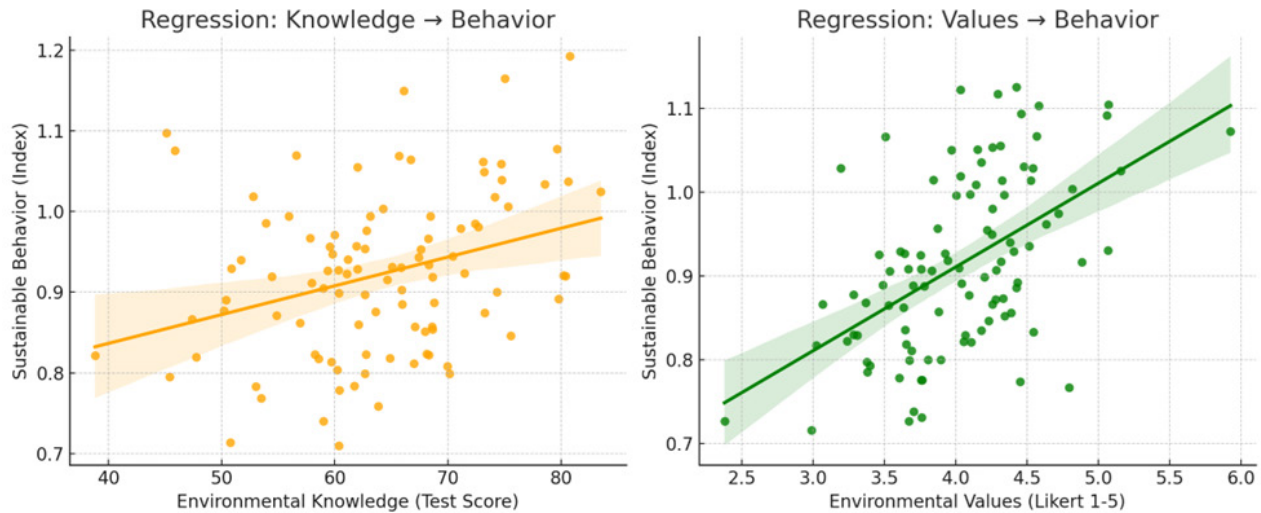
Spatial and infrastructure factors: The geographical distribution of road accidents shows clear inter-regional differences. Almaty city has the highest rate, accounting for about 25 % of all road accidents, which is associated with high traffic density and urbanization. Almaty region has the highest mortality rate, which is explained by the lack of long-distance roads, high-speed mode and low availability of emergency medical care. Analysis of the functional significance of roads shows that about 75% of road accidents occur within settlements (KINA, 2023). This data indicates a poor design of the city's street-road network from a safety perspective and ineffective traffic management.

Figure 2 shows a clear disparity in the level of safety for different groups of road users. The highest share of roads rated 3 stars and above according to the iRAP methodology is observed for cyclists (35%) and light vehicle passengers (33%). This indicates that the infrastructure elements (road width, traffic mode, engineering solutions) for these groups are relatively better developed.

The share of safe roads for pedestrians (22%) and especially motorcyclists (14%) is significantly lower. This indicates a lack of pedestrian crossings, weak speed limit measures, and shortcomings in the infrastructure aimed at protecting vulnerable road users.

The low level of infrastructure safety is clearly demonstrated by the iRAP assessment presented in Figure 2: the majority of Kazakhstan's road network has a safety level of 1–3 stars, and the proportion of safe sections with 4–5 stars is very small. This indicates that road design is not aimed at preventing accidents, but only at limiting their consequences.

Time and Environmental Factors: The time structure of road accidents (RAs) is closely related to the intensity of road traffic and social rhythms in society. Official statistical data for Kazakhstan show that the highest proportion of road accidents during weekdays falls on Mondays and Saturdays. This phenomenon is explained, on the one hand, by a sharp increase in traffic flow associated with the beginning of the working week, and on the other hand, by an increase in personal and recreational trips on weekends.

Figure 2*Road Infrastructure Safety Assessment (iRAP) in Kazakhstan*

Note: compiled by the authors based on the statistics from International Road Assessment Program (iRAP) and Vaccines for Roads Database

Analysis by time of day reveals that the majority of road accidents occur during the daytime. According to official data, about 68% of all RAs are registered during the day, while twilight and nighttime account for 19% and 12%, respectively (KR, 2022). These indicators indicate that the busiest period of road traffic corresponds to the daytime, and as a result, the risk of accidents increases. The study data shows that the share of daytime accidents is determined at 61.3%, which is consistent with national statistics (ATO, 2025).

The analysis of road conditions also confirms that road accidents are more closely related to the human factor than to natural and climatic factors. The majority of road accidents registered in Kazakhstan, namely 77.1%, occurred on dry road surfaces (ATO, 2025). According to official data, 7,864 accidents were recorded on dry roads, 674 on wet roads, 309 on snowy roads, and 115 on icy roads (KR, 2022).

These data prove that human factors, such as driver speeding, traffic violations, and distraction, play a decisive role in increasing road safety, rather than adverse weather conditions or road surface conditions. Thus, the structure of road accidents by time and road conditions clearly demonstrates the

importance of behavioral and management measures in improving road safety.

Interpretation of road safety trends in Kazakhstan in the context of SDG 3.6.1: The results of the study showed that the number of road traffic accidents (RTAs) in Kazakhstan has decreased relatively in recent years, but the mortality rate has continued to increase. In the international literature, this situation is described as the “severity paradox”, that is, although the frequency of accidents has decreased, the severity of their consequences has increased (Elvik et al., 2019). This phenomenon indicates that road safety policies remain predominantly reactive and are focused on combating the consequences of accidents rather than preventing their root causes.

According to reports published by the World Health Organization and OECD/ITF, reducing the number of road traffic accidents is not enough to achieve Sustainable Development Goal 3.6.1; the main priority should be to prevent deaths and serious injuries, i.e. to improve the safety of the road system (OECD&ITF, 2018; WHO, 2018). Current indicators in Kazakhstan indicate that these requirements are not being fully met and that the country is at risk of falling short of its 2030 commitments.

Table 4*Kazakhstan's compliance with the 2030 goals and international comparison*

Indicator	Share (%)
Women	27
Men	73
Pedestrians	27
Other road users	73

Note: compiled by the author based on (OECD&ITF, 2018; WB, 2020; WHO, 2018, 2023)

In order to better understand the results in the context of SDG 3.6.1, Kazakhstan's road safety performance was assessed in comparison with international practice and the targets set for 2030 (Table 4). As shown in Table 4, the actual annual mortality reduction rate in Kazakhstan (approximately 4.3%) is significantly lower than the target rate (7.4%). This difference indicates the inadequacy of existing measures and the need for fundamental changes in policy.

In addition, the international comparison presented in Table 4 reveals that Kazakhstan's position in the field of road safety is intermediate: on the one hand, the country lags significantly behind the countries that have implemented the advanced Vision Zero strategy (Sweden, Norway), and on the other hand, it is slightly higher than countries in a state of infrastructural and institutional crisis. For example, in Sweden and Norway, a steady reduction in fatalities has been ensured by safe road design, strict speed management, legal control, and the systematic formation of a traffic culture.

In the case of Kazakhstan, on the other hand, as shown in Table 4, the road safety strategy remains fragmented: the level of infrastructure safety is low, the data and monitoring system is incomplete, and prevention measures are not systematically integrated. As a result, the reduction in the number of road accidents has not been accompanied by a decrease in fatalities, but rather the risk of their severe consequences remains. This situation highlights the need to shift the policy from a reactive approach to a proactive, systematic and evidence-based approach if Kazakhstan is to achieve the SDG 3.6.1 objective.

A comprehensive discussion of infrastructure, human factors and social risks from the perspective of Vision Zero and Safe System: The results of the study clearly demonstrate the structural weakness of the road safety system in Kazakhstan compared to

the main principles of the Vision Zero and Safe System concepts. The Vision Zero philosophy assumes that human error is a natural phenomenon and that the road system should be adapted so that it does not lead to death or serious injury (Tingvall & Haworth, 1999). However, the empirical results obtained, in particular the low level of infrastructure safety and the widespread use of high-speed modes, indicate that these principles have not been systematically and comprehensively implemented in Kazakhstan.

The study found that the majority of road accidents occur in populated areas, which is a relatively high indicator compared to international practice. The high level of fatalities in urban areas indicates that the road infrastructure is oriented not to safety, but to vehicle capacity. In the scientific literature, such a planning approach is described as a "mobility-oriented planning trap", that is, speeding up traffic becomes a priority, while safety is relegated to second place (Wegman et al., 2022).

International studies based on the iRAP methodology prove that there is a direct relationship between the star safety level of roads and the risk of death: on roads with a star rating of 1–2, the risk of death is several times higher than on roads with a star rating of 4–5 (iRAP, 2019; Welle et al., 2018). The fact that a significant part of the road network in Kazakhstan has a low and medium safety level explains the high proportion of deaths identified in the study from a spatial perspective.

In addition, the results of the study showed that the majority of road accidents occur in favorable road and weather conditions. This is consistent with the widely proven conclusion in the international literature: the main cause of road accidents is not external factors, but the speed regime and risky behavior of drivers (Elvik, 2020). WHO and OECD/ITF studies show that urban speed management measures (30–50 km/h) significantly reduce deaths among pedestrians and children (OECD/ITF, 2020; WHO, 2017). The fact that speed management in Kazakhstan is mainly implemented through enforcement and penalties, and that there are limited mechanisms for reducing speed through road design, is fully consistent with the findings of the study.

Demographically, the identification of men aged 30–39 as the highest risk group is consistent with international studies. The high proportion of deaths in this group increases the economic and social costs associated with the loss of the working-age population (Rosen et al., 2022). In addition, the significant proportion of deaths among children and pedestrians highlights the social justice dimension of road

safety. The scientific literature has repeatedly demonstrated that the consequences of road accidents are more severe if spatial safety measures aimed at children (school zones, low speed zones, safe crossings) are not implemented (Elvik, 2020; Tingvall & Haworth, 1999).

Policy and strategic implications and coherence with international experience: The analysis conducted highlights the need for institutional and strategic reorientation in the field of road safety in Kazakhstan. OECD/ITF and World Bank studies highlight the fragmentation of governance, weak data systems, and insufficient level of infrastructure safety as the main obstacles to reducing road traffic fatalities in middle-income countries (OECD&ITF, 2018; WB, 2020). These factors are also clearly visible in the case of Kazakhstan.

International experience shows that countries that have comprehensively implemented the principles of Vision Zero (Sweden, Norway, the Netherlands) have reduced road traffic fatalities by 40–60% (Elvik et al., 2019; Wegman et al., 2015). The dynamics of road traffic fatalities in Kazakhstan prove that to achieve such results, systemic and fundamental changes are needed, rather than individual measures.

In this context, the national adaptation of Vision Zero principles, infrastructure modernization based on the iRAP methodology, and the introduction of a data-driven management system are the most likely and scientifically sound directions for reducing road fatalities for Kazakhstan. Such an approach allows us to consider road safety not only as the responsibility of individual drivers, but as an integral component of state policy and spatial planning.

Conclusion

This study, through a comprehensive analysis of the road safety situation in Kazakhstan, made it possible to draw a number of important scientific and applied conclusions. The results of the study showed that despite the relative decrease in the number of road accidents in recent years, the mortality rate has remained or increased. This situation indicates that the measures taken in the field of road safety are aimed not at preventing the consequences of accidents, but rather at reducing their frequency.

The data obtained indicate the structural nature of the road safety problem in Kazakhstan: the high

level of mortality is closely related to low infrastructure safety, high speed, traffic-oriented planning of urban space, and insufficient attention to vulnerable road users (pedestrians, children). The iRAP assessment shows that the majority of the road network has a safety level of 1–3 stars, explaining the risk of accidents with serious consequences in a spatial context.

The study found that Kazakhstan is at risk of deviation from its commitments under Sustainable Development Goal 3.6.1. The actual rate of fatality reduction is significantly lower than the target indicators, which indicates the need for a fundamental review of road safety policies. Comparison with international experience proves that the achieved results will be limited if the principles of Vision Zero and Safe System are not systematically implemented.

From a scientific point of view, this study demonstrates the importance of interpreting road safety in the context of Kazakhstan through spatial planning, infrastructure design and social justice dimensions. From a practical point of view, the study results can serve as a basis for reorienting the national road safety strategy, accelerating infrastructure modernization based on iRAP, and introducing a data-driven management system.

In conclusion, reducing road traffic fatalities in Kazakhstan should not be limited to legal controls or behavioral interventions alone. To achieve effective results, a systematic, prevention-oriented and evidence-based road safety policy in accordance with the principles of Vision Zero is needed.

The study has a number of limitations, including the following. First, the analysis is based mainly on aggregated national and regional data, which limits analysis at the micro-level (individual road sections, specific accident scenarios). Second, some indicators of road traffic accident data (injury severity, behavioral factors) are not fully standardized. However, the methodological approaches used minimize these limitations and allow for systematic conclusions.

Funding

No external funding was applicable.

Conflicts of Interest

The authors declare no conflict of interest.

Author Contributions

“Conceptualization, A.K. and A.Z.; Methodology, A.K.; Software, A.K.; Validation, A.K., A.Z., E.A., A.M. and Z.K.; Formal Analysis, A.K., A.Z., E.A., A.M. and Z.K.; Investigation, A.K., A.Z., E.A., A.M. and Z.K.; Resources, A.K.; Data

Curation, A.K., A.Z., E.A., A.M. and Z.K.; Writing – Original Draft Preparation, A.K., A.Z., E.A., A.M. and Z.K.; Writing – Review & Editing, A.K.; Visualization, A.K., A.Z., E.A., A.M. and Z.K.; Supervision, A.Z.; Project Administration, A.K.; Funding Acquisition, A.K., A.Z., E.A., A.M. and Z.K.”

References

- Adanu, E. K., Dzinyela, R., & Agyemang, W. (2023). A comprehensive study of child pedestrian crash outcomes in Ghana. *Accident Analysis & Prevention*, 189, 107146. <https://doi.org/10.1016/j.aap.2023.107146>
- ATO. (2025). Kazakhstan Road Safety Profile 2025. Asian Transport Observatory. <https://asiantransportobservatory.org/analytical-outputs/roadsafetyprofiles/kazakhstan-road-safety-profile-2025>
- Ecola, L., Popper, S. W., Silbergliitt, R., & Fraade-Blanar, L. (2018). The road to zero: A vision for achieving zero roadway deaths by 2050. *Rand health quarterly*, 8(2), 11. <https://doi.org/30323994>
- Elvik, R. (2020). The demand for automated vehicles: A synthesis of willingness-to-pay surveys. *Economics of Transportation*, 23, 100179. <https://doi.org/10.1016/j.ecotra.2020.100179>
- Elvik, R., Vadeby, A., Hels, T., & Van Schagen, I. (2019). Updated estimates of the relationship between speed and road safety at the aggregate and individual levels. *Accident Analysis & Prevention*, 123, 114-122. <https://doi.org/10.1016/j.aap.2018.11.014>
- He, Y., Fan, Y., Yan, L., Peng, J., & Li, Z. (2022). Visualization and analysis of global Vision Zero studies and policy orientation in China. *International journal of environmental research and public health*, 19(22), 14841. <https://doi.org/10.3390/ijerph192214841>
- iRAP. (2019). iRAP annual report 2019. International Road Assessment Programme. <https://irap.org/2020/04/2019-irap-annual-report-released>
- Islam, A., Mekker, M., & Singleton, P. A. (2022). Examining pedestrian crash frequency, severity, and safety in numbers using pedestrian exposure from Utah traffic signal data. *Journal of transportation engineering, Part A: Systems*, 148(10), 04022084. <https://doi.org/10.1061/JTEPBS.0000737>
- Katoch, B., Ghosh, I., & Chandra, S. (2025). Safety of children in school zones— A systematic review. *Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour*, 113, 554-569. <https://doi.org/10.1016/j.trf.2025.05.020>
- Khan, M. N., & Das, S. (2024). Advancing traffic safety through the safe system approach: A systematic review. *Accident Analysis & Prevention*, 199, 107518. <https://doi.org/10.1016/j.aap.2024.107518>
- Kharoufah, H., Murray, J., Baxter, G., & Wild, G. (2018). A review of human factors causations in commercial air transport accidents and incidents: From 2000–2016. *Progress in Aerospace Sciences*, 99, 1-13. <https://doi.org/10.1016/j.paerosci.2018.03.002>
- KINA. (2023). Almaty city sees highest number of road accidents. Kazinform International News Agency. (Retrieved on 2023, August 31). https://qazinform.com/news/almaty-city-sees-highest-number-of-road-accidents_a4106791
- KR. (2022). Statistics on road accidents by days of the week, daytime and road conditions. Kazakh Radio. (Retrieved on 2022, October 19). <https://qazradio.fm/kz/news/24653>
- Lie, A., Tingvall, C., Michael, J. P., Fell, J. C., & Dinh-Zarr, T. B. (2024). Vision Zero and impaired driving: near and longer-term opportunities for preventing death and injuries. *Accident Analysis & Prevention*, 194, 107344. <https://doi.org/10.1016/j.aap.2023.107344>
- Lubbe, N., Wu, Y., & Jeppsson, H. (2022). Safe speeds: fatality and injury risks of pedestrians, cyclists, motorcyclists, and car drivers impacting the front of another passenger car as a function of closing speed and age. *Traffic safety research*, 2, 000006-000006. <https://doi.org/10.55329/vfma7555>
- Lym, Y., & Chen, Z. (2020). Does space influence on the frequency and severity of the distraction-affected vehicle crashes? An empirical evidence from the Central Ohio. *Accident Analysis & Prevention*, 144, 105606. <https://doi.org/10.1016/j.aap.2020.105606>
- Mofolasayo, A. (2024). Towards ‘Vision-Zero’ in road traffic fatalities: the need for reasonable degrees of automation to complement human efforts in driving operation. *Systems*, 12(2), 40. <https://doi.org/10.3390/systems12020040>
- OECD&ITF. (2018). Road safety annual report 2018. Organisation for Economic Co-operation and Development & International Transport Forum. <https://www.itf-oecd.org/road-safety-annual-report-2018>
- OECD/ITF. (2020). Road Safety Annual Report 2020. Organisation for Economic Co-operation and Development / International Transport Forum. <https://www.itf-oecd.org/road-safety-annual-report-2020>
- Rosen, H. E., Bari, I., Paichadze, N., Peden, M., Khayesi, M., Monclús, J., & Hyder, A. A. (2022). Global road safety 2010–18: an analysis of global status reports. *Injury*. <https://doi.org/10.1016/j.injury.2022.07.030>
- Tingvall, C., & Haworth, N. (1999). Vision Zero—An ethical approach to safety and mobility. 6th ITE international conference road safety & traffic enforcement: Beyond 2000. <https://www.monash.edu/muarc/archive/our-publications/papers/visionzero>
- WB. (2020). Road safety management capacity review: Guidelines and country experiences. World Bank. <https://openknowledge.worldbank.org/handle/10986/34388>
- Wegman, F., Aarts, L., & van der Knaap, P. (2022). Sustainable safety: a short history of a Safe System approach in the Netherlands. In *The Vision Zero Handbook: Theory, Technology and Management for a Zero Casualty Policy* (pp. 1-30). Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-030-23176-7_12-1

- Wegman, F., Berg, H.-Y., Cameron, I., Thompson, C., Siegrist, S., & Weijermars, W. (2015). Evidence-based and data-driven road safety management. *IATSS research*, 39(1), 19-25. <https://doi.org/10.1016/j.iatssr.2015.04.001>
- Welle, B., Sharpin, A. B., Adriaola-Steil, C., Bhatt, A., Alveano, S., Obelheiro, M., Imamoglu, C. T., Job, S., Shotten, M., & Bose, D. (2018). Sustainable and safe: A vision and guidance for zero road deaths. <https://www.wri.org/research/sustainable-and-safe-vision-and-guidance-zero-road-deaths>
- WHO. (2017). Managing speed. World Health Organization. World Health Organization. https://www.who.int/violence_injury_prevention/publications/road_traffic/managing-speed/en/
- WHO. (2018). Global status report on road safety 2018. World Health Organization. <https://iris.who.int/handle/10665/276462>
- WHO. (2023). Global status report on road safety 2023. World Health Organization. <https://www.who.int/teams/social-determinants-of-health/safety-and-mobility/global-status-report-on-road-safety-2023>
- Yang, L., van Dam, K. H., & Zhang, L. (2020). Developing goals and indicators for the design of sustainable and integrated transport infrastructure and urban spaces. *Sustainability*, 12(22), 9677. <https://doi.org/10.3390/su12229677>
- Zhang, R. (2023). Spatial Analysis of Transportation Networks for Urban Planning. *Int. J. New Dev. Eng. Soc*, 7, 1-5. <https://doi.org/10.25236/IJNDES.2023.070801>

Information about the authors:

- Imanally Akbar – PhD, Associate Professor, Continuing and Professional Education, University of California (Davis, CA, USA, e-mail: iakbar@ucdavis.edu).*
- Gulnar Kubessova (corresponding author) – Candidate of Geographical Sciences, Associate Professor, K. Zhubanov Aktobe Regional University (Aktobe, Republic of Kazakhstan, e-mail: kubessova.gulnar@gmail.com).*
- Elizabeth Morrison – Professor, Continuing and Professional Education, University of California, Davis (CA, USA, e-mail: elmorrison@ucdavis.edu).*
- Marat Mamadiyarov – Candidate of Geographical Sciences, Associate Professor, Academician A. Kuatbekov University of Friendship of Peoples (Shymkent, Republic of Kazakhstan, e-mail: mmd_64@mail.ru).*
- Miras Galimov – Candidate of Geographical Sciences, Associate Professor, Makhambet Utemisov West Kazakhstan University (Uralsk, Republic of Kazakhstan, e-mail: heritage_mir@mail.ru).*

Авторлар туралы мәлімет:

- Иманалы Акбар – PhD докторы, доцент, Калифорния университеті, Үздіксіз және кәсіби білім беру орталығы (Дэвис, Калифорния штаты, АҚШ, e-mail: iakbar@ucdavis.edu).*
- Кубессова Гулнар Тынышбаевна (корреспонденттік автор) – доцент, география ғылымдарының кандидаты., Қ. Жұбанов ат. Ақтөбе өңірлік университеті (Ақтөбе, Қазақстан, e-mail: kubessova.gulnar@gmail.com).*
- Элизабет Л. Моррисон – профессор., Калифорния университеті, Дэвис, Үздіксіз және кәсіби білім беру орталығы (АҚШ, Калифорния штаты, e-mail: elmorrison@ucdavis.edu).*
- Мамадияров Марат Дүйсенович – доцент, география ғылымдарының кандидаты, Академик А.Қуатбеков атындағы Халықтар достығы Университеті (Шымкент, Қазақстан, e-mail: mmd_64@mail.ru).*
- Мирас Галимов Амангельдиевич – доцент, география ғылымдарының кандидаты, М. Өтемисов атындағы Батыс Қазақстан университеті (Орал, Қазақстан, e-mail: heritage_mir@mail.ru).*

Сведения об авторах:

- Иманалы Акбар – PhD, доцент, Центр непрерывного и профессионального образования Калифорнийского университета в Дэвисе (штат Калифорния, США, e-mail: iakbar@ucdavis.edu).*
- Кубессова Гулнар Тынышбаевна (корреспондирующий автор) – кандидат географических наук, доцент, Актюбинский региональный университет имени К. Жубанова (Актобе, Республика Казахстан, e-mail: kubessova.gulnar@gmail.com).*
- Элизабет Л. Моррисон – профессор, Центр непрерывного и профессионального образования Калифорнийского университета в Дэвисе (штат Калифорния, США, e-mail: elmorrison@ucdavis.edu).*
- Мамадияров Марат Дүйсенович – кандидат географических наук, доцент, Университет дружбы народов имени академика А. Куатбекова (Шымкент, Республика Казахстан, e-mail: mmd_64@mail.ru).*
- Мирас Галимов Амангельдиевич – кандидат географических наук, доцент, Западно-Казахстанский университет имени М. Утемисова (Уральск, Республика Казахстан, e-mail: heritage_mir@mail.ru).*

Received: January 15, 2025

Accepted: June 21, 2026

З.А. Толеков¹, А.Т. Мылкайдаров¹, А.Б. Сансызбаева^{2*}

И.Д. Джумабекова¹, Г.Ш. Оспанова²

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

²Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті, Астана, Қазақстан

*e-mail: sansyzbayeva.ab@mail.ru

ҚАЗАҚСТАНДАҒЫ ТЕМІРЖОЛ ИНФРАҚҰРЫЛЫМЫН JAҢҒЫРТУ ЖӘНЕ АЙМАҚТЫҚ НАРЫҚТАРҒА ҚОЛЖЕТІМДІЛІК: КЕҢІСТІКТІК ЭКОНОМИКАЛЫҚ-ГЕОГРАФИЯЛЫҚ БАҒАЛАУ

Қазақстан сияқты кең-байтақ, теңізге шыға алатын жолы жоқ ел үшін теміржол инфрақұрылымы ұлттық және аймақтық нарықтарға қолжетімділіктің негізгі діңгегі болып табылады. Соңғы жылдары «Нұрлы жол» мемлекеттік бағдарламасы мен халықаралық бастамалар (CAREC, «Орта дәліз») аясында теміржол желісін жаңғыртуға және өткізу қабілетін арттыруға бағытталған ірі жобалар қолға алынды. Дегенмен, теміржол желісінің шамамен 16 мың км болатын ұзындығының едәуір бөлігі тозған (инфрақұрылымның 50-60%-ы моральдық және физикалық жағынан ескірген), ал электрлендірілген жолдар үлесі 40% шамасында қалып отыр.

Мақаланың мақсаты – Қазақстандағы теміржол инфрақұрылымын жаңғырту үрдістерін кеңістіктік экономикалық-географиялық тұрғыдан бағалау және осы жаңғыртудың аймақтық және сыртқы нарықтарға қолжетімділікке ықпалын талдау. Зерттеу материалдары ретінде Қазақстан темір жолының (ҚТЖ) ашық статистикалық деректері, Дүниежүзілік банктің теміржол жүк айналымы бойынша мәліметтері, CAREC және АДБ-ның теміржол секторы жөніндегі бағалау есептері, сондай-ақ «Нұрлы жол» бағдарламасының құжаттары мен соңғы жылдардағы инфрақұрылымдық жобалар туралы ақпараттық және ғылыми жарияланымдар пайдаланылды.

Әдіснамалық негіз ретінде кеңістіктік қолжетімділік теориясы, экономикалық-географиялық ықтималдық индекстері, теміржол-транзиттік дәліздер бойындағы жүк ағындарының құрылымын талдау, аймақтарды нарықтарға қолжетімділігі бойынша типологиялау, сондай-ақ картографиялық және салыстырмалы-статистикалық әдістер қолданылды. Халықаралық және ішкі нарықтарға (Астана, Алматы, ірі өнеркәсіп орталықтары, Қытай шекара өткелдері, теңіз порттары) дейінгі уақыт пен шығынға негізделген интегралдық қолжетімділік индексі есептеліп, облыстар мен теміржол тораптарының кеңістіктік айырмашылықтары бағаланды.

Зерттеу қорытындысы теміржол инфрақұрылымын жаңғырту бойынша басымдықтарды айқындауға, тар орындарды жоюға, логистикалық хабтармен және сандық технологиялармен (сандық теміржол, болжамды қызмет көрсету, смарт-логистика) кешенді үйлестірудің маңызын нақтылауға бағытталған ұсынымдар ұсынады.

Түйін сөздер: теміржол инфрақұрылымы, кеңістіктік қолжетімділік, аймақтық нарық, транзиттік дәліздер, «Нұрлы жол» бағдарламасы.

Z.A. Tolekov¹, A.T. Mylkaidarov¹, A.B. Sansyzbayeva^{2*},

I.D. Dzhumabekova¹, G.S. Ospanova²

¹Al-Farabi Kazakh National University, Almaty, Kazakhstan

²L. N. Gumilyov Eurasian National University, Astana, Kazakhstan

*e-mail: sansyzbayeva.ab@mail.ru

Modernization of railway infrastructure in Kazakhstan and access to regional markets: spatial economic and geographical assessment

For such a vast landlocked country as Kazakhstan, railway infrastructure is the main pillar of access to national and regional markets. In recent years, within the framework of the Nurly Zhol state program and international initiatives (CAREC, Middle Corridor), major projects aimed at modernizing the railway network and increasing its capacity have been implemented. However, a significant part of the length of the railway network, which is about 16 thousand km, is worn out (50-60% of the infrastructure is morally and physically outdated), and the share of electrified roads remains about 40%.

The purpose of the article is to assess the trends in the modernization of railway infrastructure in Kazakhstan from a spatial economic and geographical point of view and analyze the impact of this mod-

ernization on access to regional and foreign markets. As materials of the study, open statistical data of the Kazakhstan railway (KTZ), data on railway cargo turnover of the World Bank, assessment reports of CAREC and ADB on the railway sector, as well as information and scientific publications on the documents of the Nurly Zhol program and infrastructure projects of recent years were used.

The theory of spatial accessibility, economic and geographical probability indices, analysis of the structure of cargo flows along railway and transit corridors, typologization of regions by access to markets, as well as cartographic and comparative-statistical methods were used as a methodological basis. The integral accessibility index based on time and cost to international and domestic markets (Astana, Almaty, large industrial centers, Chinese border crossings, seaports) was calculated, and spatial differences between regions and railway junctions were assessed.

The results of the study provide recommendations aimed at identifying priorities for the modernization of railway infrastructure, eliminating bottlenecks, clarifying the importance of integrated coordination with logistics hubs and digital technologies (digital Railways, Predictive Services, Smart Logistics).

Keywords: railway infrastructure, spatial accessibility, regional market, transit corridors, Nurly Zhol program.

З.А. Толеков¹, А.Т. Мылқайдаров¹, А. Б. Сансызбаева^{2*}
И.Д. Джумабекова¹, Г. Ш. Оспанова²

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

²Евразийский национальный университет имени Л.Н. Гумилёва, Астана, Казахстан

*e-mail: sansyzybayeva.ab@mail.ru

Модернизация железнодорожной инфраструктуры и доступ к региональным рынкам в Казахстане: пространственная экономико-географическая оценка

Для такой огромной страны, как Казахстан, у которой нет выхода к морю, железнодорожная инфраструктура является основным ядром доступа к национальным и региональным рынкам. В последние годы в рамках государственной программы «Нұрлы жол» и международных инициатив (CAREC, «Средний коридор») реализованы крупные проекты, направленные на модернизацию железнодорожной сети и увеличение пропускной способности. Однако значительная часть протяженности железнодорожной сети, которая составляет около 16 тыс. км, изношена (50–60% инфраструктуры морально и физически устарело), а доля электрифицированных дорог остается около 40%.

Цель статьи – пространственная экономико-географическая оценка тенденций модернизации железнодорожной инфраструктуры в Казахстане и анализ влияния этой модернизации на доступ к региональным и внешним рынкам. В качестве материалов исследования использованы открытые статистические данные Казахстанской железной дороги (КТЖ), данные Всемирного банка по железнодорожному грузообороту, оценочные отчеты CAREC и АБР по железнодорожному сектору, а также информационные и научные публикации о документах программы «Нұрлы жол» и инфраструктурных проектах последних лет.

В качестве методологической основы были использованы теория пространственной доступности, экономико-географические индексы вероятности, анализ структуры грузопотоков по железнодорожно-транзитным коридорам, типологизация регионов по доступу на рынки, а также картографические и сравнительно-статистические методы. Рассчитан индекс интегральной доступности на основе времени и затрат до международных и внутренних рынков (Астана, Алматы, крупные промышленные центры, китайские пограничные переходы, морские порты), оценены пространственные различия между областями и железнодорожными узлами.

Результаты показали ключевую роль железнодорожной системы Казахстана в Организации экономического пространства и то, что главные магистрали восточно-западного направления (Достык-Мойынты, Бахты-Аягоз, Актогай-Мойынты), выходы на север-юг и порты (Актау, Курык, Актобе-Атырау-Мангистау) являются основным «пространственным каркасом», определяющим доступ к региональным рынкам. В заключении исследования представлены рекомендации, направленные на определение приоритетов по модернизации железнодорожной инфраструктуры, устранение узких мест, уточнение важности комплексной координации с логистическими хабами и цифровыми технологиями (Цифровая железная дорога, прогнозное обслуживание, смарт-логистика).

Ключевые слова: железнодорожная инфраструктура, пространственная доступность, региональный рынок, транзитные коридоры, программа «Нұрлы жол».

Кіріспе

Өтпелі және дамушы елдердегі көлік инфрақұрылымы экономикалық даму, сауда және тұрақты өсу үшін өте маңызды (Jiawen, 2013: 2105-2114). Қазақстан Республикасының Еуразия құрлығының орталығында, Еуропа мен Азия тоғысындағы, Қытай мен Ресей сияқты ірі экономикалар мен Орталық Азияның тұтыну нарықтарының арасында орналасуы елдің транзиттік әлеуетін күшейтіп, Еуразиялық көлік дәліздерін қалыптастыруға Қазақстанның көлік желісін тартудың нақты алғышарттарын жасайды (Timur, et all., 2019: 430-435).

Қазақстан Республикасы – ашық теңізге шыға алмайтын, есесіне ең ірі Еуразия құрлығында көліктік қозғалыс басымдығына ие ең ірі мемлекеттердің бірі, оның аумағы 2,7 млн км², ал шаруашылық құрылымында шикізаттық емес экспорт пен транзиттік қызметтердің үлесі біртіндеп артып келеді. Кеңістіктің мұндай ауқымы жағдайында көлік жүйесі, әсіресе теміржол кешені, экономикалық кеңістікті «түйістіретін» базалық инфрақұрылым ретінде ерекше маңызға ие. CAREC және АДБ бағалаулары бойынша, Қазақстан теміржолдары ел ішіндегі жүк айналымының басым бөлігін қамтамасыз етеді, ал ұлттық теміржол операторы мен оның еншілес компаниялары теміржол арқылы тасымалданатын жүктің 90%-дан астамын және жолаушы ағынының шамамен 70%-ын орындайды (MIGA Backs, 2023). Көлік қызметтеріне болашақ сұранысты болжау тарифтік саясатты, қуаттылықты жоспарлауды және тәуекелдерді басқаруды оңтайландыру арқылы көлік компаниясының табыстылығына тікелей ықпал етеді (Madiyar, et all., 2024: 1-9).

Сонымен қатар, Қазақстан Еуразия құрлығының шығыс-батыс және солтүстік-оңтүстік бағытта өтетін негізгі құрлықаралық дәліздерінің қиылысында орналасқан. «Нұрлы жол» инфрақұрылымды дамытудың мемлекеттік бағдарламасы мен Қытайдың «Бір белдеу – бір жол» бастамасы, CAREC көлік стратегиясы мен Орта дәліз (Trans-Caspian International Transport Route, TITR) жобалары елдің транзиттік әлеуетін күшейтуге бағытталды (Asian Development, 2021).

Дегенмен, соңғы жылдары жүргізілген бағалаулар теміржол инфрақұрылымының айтарлықтай тозғанын, желі конфигурациясының тарихи себептермен Ресей бағытына бағдарланғанын және «тар орындардың» (шекара

өткелдеріндегі өткізу қабілетінің шектеулілігі, бір жолды учаскелер, порттарға шығатын бағыттардың жеткіліксіз өткізу қабілеті) бар екенін көрсетеді. CAREC-тің Қазақстан бойынша теміржол секторының бағалауында Темір жол инфрақұрылымының тозу деңгейі жоғары, жылжымалы құрамның орташа жасы үлкен, ал логистикалық қызметтер спектрі шектеулі екені атап өтіледі (Asian Development, 2021).

Times of Central Asia дерегі бойынша, Көлік министрлігінің мәліметінде теміржол инфрақұрылымының шамамен 57%-ы тозған деп көрсетіледі (The Times of, 2025).

Теміржол инфрақұрылымын жаңғырту тек транзиттік кірістерді ұлғайту тұрғысынан ғана емес, сонымен қатар Қазақстан өңірлерінің ұлттық және өңірлік нарықтарға қолжетімділігін теңестіру үшін де маңызды. Зерттеу аясында «жаңғырту» ұғымы теміржол инфрақұрылымын техникалық, технологиялық және ұйымдастырушылық тұрғыдан қазіргі стандарттарға сәйкестендіру, яғни модернизациялау мағынасында қолданылады. Сондықтан зерттеу барысында бұл термин жолдарды жаңарту, электрлендіру, екі жолды учаскелер үлесін арттыру, өткізу қабілетін күшейту және цифрлық басқару жүйелерін енгізу сияқты инфрақұрылымдық өзгерістерді қамтиды. Аймақтық экономикалық-географиялық зерттеулерде кеңістіктік қолжетімділік белгілі бір аумақтың нарықтар мен ресурстарға «қашықтығын» сипаттайтын, уақыт пен шығынға негізделген көрсеткіш ретінде қарастырылады (Hansen, 1959: 73-76; Vickerman, 1995: 237-254). Қолжетімділік индексі жақсарған сайын жаңа инвестициялар тарту, өндіріс құрылымын әртараптандыру және халықтың әлеуметтік-экономикалық мүмкіндіктері кеңейеді.

Қазақстан жағдайында теміржол желісінің ұзындығы шамамен 16 мың км, оның тек 40%-ы ғана электрлендірілген; 2020–2025 жж. бағдарламалық құжаттарда 1000 км-ден астам жаңа учаскелерді электрлендіру міндеті қойылған. Сонымен бірге, 2023–2027 жж. аралығында 800 км-ден астам жаңа теміржол жолдарын салу жоспары жарияланды (The Jamestown Foundation, 2025). 2025 жылғы Достық-Мойынты учаскесін екі жолға дейін кеңейту жобасының аяқталуы шығыс-батыс транзиттік дәлізінің өткізу қабілетін бес есеге арттыруға мүмкіндік беретіні атап өтілді (International Railway, 2025). Осының барлығы теміржол инфрақұрылымын жаңғырту мәселесін кеңістіктік экономикалық-

географиялық бағалау тұрғысынан қарастыру қажеттігін айқындайды. Бұл зерттеуде теміржол желісінің қазіргі жағдайы, ірі жаңғырту жобалары олардың аймақтық және сыртқы нарықтарға қолжетімділікке ықпалы кешенді талданады.

Зерттеудің ғылыми міндеттері:

1. Қазақстан теміржол инфрақұрылымының қазіргі кеңістіктік құрылымын аймақтық нарықтарға қолжетімділік тұрғысынан сипаттау және негізгі тораптық-дәліздік ерекшеліктерін анықтау.

2. Достық-Мойынты, Бақты-Аягөз, порттарға шығатын теміржол тармақтары және өзге де жаңғырту жобаларының ұлттық және халықаралық нарықтарға қолжетімділікке ықпалын бағалау.

3. Теміржол қолжетімділігі мен өңірлік экономикалық көрсеткіштер арасындағы ықтимал байланысты анықтап, инфрақұрылымдық жаңғыртудың аймақтық даму теңсіздіктерін қысқартудағы рөлін негіздеу.

Мақаланың ғылыми жаңалығы – теміржол инфрақұрылымын жаңғырту жобаларын кеңістіктік қолжетімділік индексі арқылы бағалау және Қазақстан өңірлерін аймақтық және сыртқы нарықтарға қолжетімділік деңгейі бойынша типологиялау; сондай-ақ «Орта дәліз» контекстінде теміржол желісінің геоэкономикалық рөлін аймақтық кескінде көрсету.

Әдебиетке шолу

Зерттеудің теориялық-әдіснамалық негізі кеңістіктік экономикалық географиядағы көлік жүйесінің (әсіресе теміржолдың) аумақтық ұйымдасуын, тірек тораптар мен экономикалық байланыстардың кеңістіктік құрылымын түсіндіретін кеңестік мектеп өкілдерінің теориялық ұстанымдары маңызды: экономикалық-географиялық талдау логикасы (Баранский, 1980: 96-127) аумақтық-өндірістік кешендер мен тірек құрылым идеясы (Колосовский, 1969: 336) шаруашылықтың аумақтық ұйымдасуы (Саушкин, 1970: 338). Нарықтарға қолжетімділік пен орналасудың экономикалық мәнін ашатын классиктер: (Weber, 1929: 230) – көлік шығыны мен орналасу таңдауы (Christaller, 1966: 230; Lösch, 1954: 520) – қызмет көрсету орталықтары, нарық аймақтарының кеңістіктік иерархиясы.

Әдіснамалық тұрғыдан «қолжетімділік» ұғымын өлшеу үшін ең тікелей автор – (Hansen, 1959: 73-76) кейінгі өлшеу тәсілдерін жүйе-

лейтін Ингрэм (Ingram, 1971: 101-107) және кең тараған концептуалдық шолу ұсынған (Geurs, 2004: 127-140). Теміржол жаңғыртуының кеңістіктік экономикалық әсерін (агломерация, нарыққа қолжетімділік, «ядро–периферия») негіздеуде (Krugman, 1991: 483-499; Fujita, et all., 1999: 54) жаңа экономикалық география шеңберінде жиі қолданылады. Кеңістіктік деректермен дәлелдеу үшін кеңістіктік эконометр (Anselin, 1988: 7) ал ГАЗ-талдаудың ғылыми негізінде (Goodchild, 1992: 31-45) және «жақындық әсерін» түсіндіретін (Tobler, 1970: 234-240) маңызды. Инфрақұрылымның өнімділікке ықпалын бағалауда классикалық эмпирикалық негізін (Aschauer, 1989: 177-200), ал теміржолдың нарық интеграциясына әсерін нақты дәлелдейтін күшті үлгі (Donaldson, 2018: 899-934).

Зерттеуде қолданылған негізгі қысқартулар төмендегідей түсіндіріледі: CAREC – Орталық Азия өңірлік экономикалық ынтымақтастық бағдарламасы (Central Asia Regional Economic Cooperation); АДБ/ADB – Азия даму банкі (Asian Development Bank); TITR – Транскаспий халықаралық көлік бағдары (Trans-Caspian International Transport Route); MIGA – Инвестицияларға кепілдік беру жөніндегі көпжақты агенттік (Multilateral Investment Guarantee Agency); AIFC – Астана халықаралық қаржы орталығы (Astana International Financial Centre); TEU – жиырма футтық контейнер эквиваленті (Twenty-foot Equivalent Unit); ГАЗ – геоақпараттық жүйелер. Зерттеу келесі негізгі дереккөздерге сүйенеді: Қазақстан темір жолы ҰК АҚ-ның (ҚТЖ) жылдық есептері және ашық статистикалық деректері (жүк айналымы, жолаушы айналымы, желі ұзындығы, электрлендіру, екі жолды учаскелер үлесі және т.б.). Дүниежүзілік банктің теміржол арқылы тасымалданған жүк (тонна-км) бойынша ұлттық деңгейдегі деректері. CAREC пен АДБ-ның Қазақстан теміржол секторы туралы бағалау есебі және CAREC көлік стратегиясы 2030. «Нұрлы жол» инфрақұрылымды дамытудың 2015-2019 және 2020-2025 жж. арналған мемлекеттік бағдарламалары және оларды іске асыру жөніндегі талдамалық материалдар. Орта дәліз және Транскаспий халықаралық көлік бағдары туралы Дүниежүзілік банк пен АХҚО-ның (AIFC) шолулары. MIGA және халықаралық БАҚ (The Astana Times, International Railway Journal, RailFreight, Times of Central Asia, Jamestown, Trend) жарияланымдары нақты жобалардың (Достық-Мойынты, Бақты-

Аягөз, порттарға шығатын байланыстар) техникалық сипаттамасы мен іске асыру барысы жөніндегі ақпаратты нақтылау үшін пайдаланылды.

Қазақстанның халықаралық транзиті мен негізгі теміржол дәліздерін сипаттайтын зерттеулерде (Мухтар, 2016: 153-157) кеңінен қолданылады. Аймақтық қолжетімділік пен өңірлік әлеует байланысын эмпирикалық айнымалылармен (теміржол ұзындығы сияқты инфрақұрылым көрсеткіштері арқылы) талдауда (Kenzhegulova, 2023: 160-173) еңбегі тікелей қатысты, ал логистика инфрақұрылымын кеңістіктік-желілік тәсілмен (қолжетімділік) бағалау бағытын Қазақстан қалалары үлгісінде дамытатын жұмыстар қатарына (Syzykbaeva, 2025: 2486) зерттеуін енгізуге болады. Статистикалық қатарлар ресми деректер жеткіліктілігіне қарай негізінен 2010–2024 ж. аралығын қамтиды.

Әдістеме

Теміржол инфрақұрылымының жай-күйін сипаттау үшін теміржол желісінің жалпы ұзындығы және оның аймақтар бойынша үлесі, екі жолды учаскелер ұзындығы және үлесі, электрлендірілген жолдар ұзындығы және үлесі, инфрақұрылымның тозу деңгейі, жүк және жолаушы айналымы, теміржол арқылы экспорттық тасымал үлесі, транзиттік жүк ағындарының көлемі мен динамикасы сияқты көрсеткіштер пайдаланылды.

Аймақтық нарықтарға қолжетімділік үшін облыс орталығынан ең жақын теміржол торабынан Астана, Алматы, Шымкент, Ақтау, Құрық, Достық, Қорғас және негізгі шекара өткелдеріне дейінгі тасымалдау уақыты мен қашықтығы, өңірлік жалпы өнім (ӨЖӨ), өнеркәсіп және аграрлық өнім көлемі, сыртқы сауда айналымы сияқты көрсеткіштер қарастырылды.

Кеңістіктік қолжетімділік (Hansen, 1959: 73-76) ұсынған әлеует индексі қағидасына негізделіп бағаланды. Әр облыстың басты нарықтарға «тартымдылығы» (экономикалық салмағы) және оған жетудің «құны» (уақыт, қашықтық) ескеріледі. Әлеуетті индекс арқылы әр өңірдің ішкі және сыртқы нарықтарға қолжетімділігінің салыстырмалы деңгейі анықталып, олар бірнеше топқа бөлінді. Қолжетімділік индексінің мәндері 0 мен 1 аралығында нормаланды: 1-ге жақын мәндер өңірдің негізгі нарықтарға жақын, теміржол тораптарына және транзиттік дәліздерге қолжетімділігі жоғары

екенін, ал 0-ге жақын мәндер көліктік шеткерілік пен инфрақұрылымдық шектеулердің басым екенін білдіреді. Осы шкала негізінде өңірлер жоғары, орташадан жоғары, орташа, орташадан төмен және төмен қолжетімділік топтарына жіктелді. Модель көлік географиясы мен трансевропалық желілердің аймақтық әсерін бағалау тәсілдерімен үйлестірілді.

Кеңістіктік қолжетімділік индексі. Кеңістіктік қолжетімділік ұсынған (Hansen, 1959: 73-76) әлеует индексі қағидасына негізделіп бағаланды, яғни әр облыстың басты нарықтарға «тартымдылығы» (экономикалық салмағы) және оған жетудің «құны» (уақыт, қашықтық) ескеріледі:

$$A_i = \sum_j \frac{M_j}{c_{ij}^\beta}$$

мұнда:

A_i – i -облыстың қолжетімділік индексі;

M_j – j -нарықтың экономикалық салмағы (халық саны, ЖӨӨ немесе өнеркәсіп көлемі);

c_{ij} – i және j нүктелері арасындағы теміржолмен тасымалдау уақыты немесе шартты шығын;

β – қашықтыққа сезімталдық параметрі (зерттеуде 1 және 2 мәндері қолданылып, сезімталдық талдау жүргізілді).

Модель (Rodrigue, 2020: 24–25; Vickerman, 1995: 237-254) ұсынған көлік географиясы мен трансевропалық желілердің аймақтық әсерін бағалау тәсілдерімен үйлестірілді.

Геоақпараттық талдау үшін теміржол желісінің сандық векторлық карталары, облыстық шекаралар, халық пен өңірлік жалпы өнімнің кеңістіктік үлестірілуі, теміржол торабына дейінгі 2–4, 6–8 сағаттық изохрондар пайдаланылды. Картографиялық әдістер аймақтардың теміржолға «жақын» немесе «қашық» екендігін көрнекі түрде көрсетіп, теміржол желісінің кеңістіктік құрылымын бағалауға мүмкіндік берді.

Алынған қолжетімділік индекстері өңірлік экономикалық көрсеткіштермен салыстырылып, корреляциялық талдау жүргізілді. Қолжетімділік индексі мен өңірлік жалпы өнім жан басына шаққандағы мәні, өндеу өнеркәсібі өнімінің көлемі, транзиттік және экспорттық тасымал көлемі арасындағы байланыс бағаланды. Бұл тәсіл теміржол инфрақұрылымын жаңғыртудың экономикалық әсерін жанама түрде бағалауға мүмкіндік берді.

Нәтижелер мен талқылау

1. Қазақстан теміржол инфрақұрылымының қазіргі кеңістіктік құрылымы

Қазақстан теміржол желісі тарихи тұрғыдан Ресей бағытындағы шикізат экспортына бағдарланған. Желінің көп бөлігі солтүстік-оңтүстік бағытта қалыптасқан, ал шығыс-батыс бағытындағы дәліздер кейінгі онжылдықтарда күшейтілді. Желі құрылымына теміржол магистралдарының ірі өнеркәсіп орталықтары мен шикізаттық аудандарды байланыстырған осьтер ретінде қалыптасуы тән.

Қазіргі уақытта теміржол желісінің жалпы ұзындығы шамамен 16 мың км. Электрлендірілген учаскелердің үлесі 40% шамасында, ал екі жолды учаскелер көбіне тарихи негізгі магистралдарда (Астана-Қарағанды-Алматы, Петропавл-Қостанай-Тобыл және т.б.) шоғырланған. Бірқатар учаскелерде (порттарға шығатын тармақтар, шекараға шығатын жолдар) өткізу қабілеті шектеулі. Осыған байланысты Қазақстан теміржол инфрақұрылымының ұлттық және аймақтық деңгейдегі негізгі индикаторлары 1-кестеде көрсетілген.

1-кесте

Қазақстан теміржол инфрақұрылымының ұлттық және аймақтық деңгейдегі негізгі индикаторлары

Көрсеткіш атауы	Өлшем бірлігі	Дереккөз мен ұйымдар
Теміржол желісінің жалпы ұзындығы (ұлттық деңгей)	15733,4 км	«Қазақстан темір жолы» ҰК» АҚ жылдық есептері, ҚР Көлік министрлігі ресми мәліметтері
Электрлендірілген теміржол желісінің ұзындығы	4 216 км, шамамен 26%2024	ҚТЖ жылдық есептері; ҚР Үкіметінің инфрақұрылым туралы есептері
Екі жолды (қос жолды) теміржол учаскелерінің ұзындығы	4 900 км шамамен 30%2024	ҚТЖ, Көлік саласы бойынша ұлттық талдамалық шолулар
Теміржол инфрақұрылымының тозу деңгейі	57% (магистральдық желі тозуы)	ҚР Көлік министрлігі, халықаралық шолулар (ADB, CAREC, MIGA, Times of Central Asia)
Жүк айналымы (теміржол көлігі)	332 062 млн тонна-км (2024 ж.)	Дүниежүзілік банк (World Development Indicators), ҚТЖ статистикасы
Жолаушы айналымы (теміржол көлігі)	16 445,6 млн жолаушы-км (2024 ж.)	ҚТЖ жылдық есептері, ҚР Стратегиялық жоспарлау және реформалар агенттігі Статистика бюросы
Транзиттік жүк көлемі (Орта дәліз және басқа бағыттар)	34,6 млн тонна (оның ішінде 27,5 млн тонна теміржолмен, 2024 ж.)	ҚТЖ деректері, Astana International Financial Centre (AIFC) шолулары, халықаралық БАҚ (RailFreight, IRJ, Jamestown)
Теміржол арқылы экспортталған жүк үлесі	34,5 % (2024 ж. – экспорттың теміржол арқылы тасымалданатын үлесі)	Trend News Agency, ҚР Көлік, Сауда министрлігі талдамалық материалдары
Орта дәліз бойынша жүк ағыны (Trans-Caspian International Transport Route)	4,5 млн тонна және ≈50 500 TEU (2024 ж.; өткізу қабілеті – 6 млн тонна және 100 000 TEU)	Дүниежүзілік банк «Middle Corridor» есебі, AIFC, CAREC шолулары
Аймақтық деңгейдегі теміржол желісінің ұзындығы (облыстар бойынша)	100–1 500 км (облыс бойынша; жалпы – 15 733,4 км)	ҚТЖ теміржол картасы, ҚР Көлік министрлігі деректері, авторлық ГАЗ-есептеу
Негізгі теміржол тораптарына дейінгі қашықтық (облыс орталықтарынан)	100–1 000 км (облыс орталықтарынан ірі теміржол тораптарына дейінгі ең қысқа қашықтық)	ҚТЖ теміржол картасы, жол желісі деректері (теміржол), авторлық ГАЗ-есептеу
Негізгі нарықтарға дейінгі шартты уақыт (Астана, Алматы, порттар, шекаралар)	6–72 сағат (облыс орталықтарынан Астана, Алматы, порттар мен шекаралық тораптарға дейінгі теміржолмен шартты уақыт)	Авторлық модель: теміржол арақашықтығы, пойыздың орташа коммерциялық жылдамдығы және станциялық өңдеу уақыты негізінде

Ескерту: бастапқы деректер негізінде авторлар құрастырылған (Көлік министрлігі, 2024; Интегрированный годовой отчет, 2024; Economic Cooperation (CAREC), 2020; Times of Central Asia, 2025; World Development Indicators (WDI), 2025; Анализ рынка железнодорожных грузоперевозок, 2024; Аналитический исследовательский центр, 2024; ҚР Ұлттық статистика бюросы, 2024)

Зерттеудің дереккөздік базасы мен қолданылған көрсеткіштер жүйесі 1-кестеде жинақталған. Онда Қазақстан теміржол желісі инфрақұрылымының ұлттық және аймақтық деңгейдегі негізгі индикаторлары көрсетілген. Кесте үш деңгейде талданды:

1. Ұлттық деңгейдегі инфрақұрылымның жай-күйі және пайдалану (1–6-көрсеткіштер). Кестеде келтірілген деректер Қазақстан теміржол жүйесінің ұлттық деңгейдегі қазіргі жай-күйін айқын көрсетеді. Жалпы ұзындығы 15 733,4 км болатын желі ел аумағын тұтас қамтитын, магистральдық деңгейдегі кеңістіктік қаңқаны білдіреді. Алайда электрлендірілген учаскелердің ұзындығы 4 216 км немесе шамамен 26%, ал екі жолды учаскелердің ұзындығы 4 900 км (шамамен 30%) ғана болуы желі ішінде өткізу қабілеті жоғары, технологиялық жағынан жетілдірілген бөліктердің шектеулі екенін көрсетеді. Инфрақұрылым тозуының 57% деңгейінде болуы магистральдық желінің едәуір бөлігін жаңғыртуды қажет ететін «қауіпті аймаққа» жақын екенін білдіреді, бұл пойыз қозғалысының қауіпсіздігі мен жылдамдығын арттыруды қиындатады.

Жүк айналымының 332 062 млн тонна-км, ал жолаушы айналымының 16 445,6 млн жолаушы-км деңгейінде болуы теміржол көлігінің Қазақстан көлік жүйесіндегі жетекші позициясын дәлелдейді. Жүк айналымы көрсеткіші, ең алдымен, минералдық-шикізаттық ресурстар мен транзиттік ағындардың үлесіне тиесілі, ал жолаушы айналымы әлеуметтік маңызы бар және қолжетімді тарифпен қамтамасыз етілетін өңіраралық байланыстардың сақталып отырғанын көрсетеді. Осы алты көрсеткіштің үйлесімі теміржолдың бір мезетте әрі «жұмысбасты» (жүк пен жолаушы ағыны жоғары), әрі тозған инфрақұрылымға сүйеніп отырғанын және жаңғырту саясатының өзектілігін айқын көрсетеді.

2. Транзиттік әлеует және Орта дәліздің рөлі (7–9-көрсеткіштер). 7–9-көрсеткіштер Қазақстан теміржолының транзиттік және экспорттық функцияларын ашады. 2024 жылы транзиттік жүк көлемінің 34,6 млн тоннаға жетуі, оның ішінде 27,5 млн тоннасының теміржол арқылы өтуі ел аумағының Еуразия кеңістігіндегі «құрлықтық көпір» ретіндегі маңызын көрсетеді. Бұл жерде теміржол транзиттік ағындарды тартудың негізгі құралы ретінде шығып отыр.

Экспорттың 34,5%-ның теміржол арқылы тасымалдануы көлік инфрақұрылымының шикізаттық және жартылай өңделген өнімдердің сыртқы нарықтарға шығуындағы стратегиялық рөлін айқындайды. Теміржолдың экспорттық тасымалдағы үлесі жоғары болған сайын, оның техникалық жай-күйі мен өткізу қабілеті сыртқы сауда динамикасына тікелей ықпал ететін факторға айналады.

Орта дәліз бойынша 4,5 млн тонна және шамамен 50 500 TEU деңгейіндегі жүк ағыны (жобалық өткізу қабілеті 6 млн тонна және 100 000 TEU) дәліз әлеуетінің әлі толық ашылмағанын көрсетеді. Бұл, бір жағынан, өсім үшін «резервтің» бар екенін білдірсе, екінші жағынан, тар орындар мен рәсімдік кедергілерді жоюдың маңызын көрсетеді. Егер инфрақұрылымды жаңғырту жобалары (Достық-Мойынты, Бақты-Аягөз және порттарға шығатын тармақтар) толық жүзеге асса, Орта дәліздің өткізу қабілеті мен сенімділігі артып, Қазақстан үшін транзиттік табыстар мен көлік-логистикалық қызметтерден түсетін қосылған құнды ұлғайту мүмкіндігі кеңейе түседі.

3. Аймақтық қолжетімділік және кеңістіктік теңсіздіктер (10–12-көрсеткіштер). 10–12-көрсеткіштер теміржол инфрақұрылымын кеңістіктік экономикалық-географиялық тұрғыдан бағалауға мүмкіндік береді. Облыстар бойынша теміржол желісінің ұзындығының 100–1500 км аралығында өзгеруі (10-көрсеткіш) өңірлердің инфрақұрылымдық қамтылуы біркелкі емес екенін көрсетеді: кейбір облыстарда теміржол магистралдары мен тораптары тығыз шоғырланса, басқаларында тек 1–2 негізгі бағытпен шектеледі.

Облыс орталықтарынан негізгі теміржол тораптарына дейінгі қашықтықтың 100–1000 км (11-көрсеткіш) аралығында болуы өңірлердің көліктік «жақындығы» мен «шеткерілігін» айқындайды. Негізгі хабтарға жақын орналасқан өңірлерде логистикалық шығындар төмен, нарықтарға шығу уақыты қысқа, ал қашық өңірлерде көлік шығындары өсіп, бәсекеге қабілеттілік төмендеуі мүмкін.

Негізгі ішкі (Астана, Алматы) және сыртқы (порттар, шекаралық тораптар) нарықтарға дейінгі теміржолмен шартты уақыттың 6–72 сағат диапазонында болуы (12-көрсеткіш) осы кеңістіктік теңсіздіктердің уақыттық өлшемін береді. 6–12 сағат ішінде негізгі нарықтарға қол

жеткізе алатын өңірлер жоғары қолжетімділік аймағына жатады, ал 48-72 сағат қажет болатын өңірлер кеңістіктік жағынан шеткері саналады. Дәл осы айырмашылық кеңістіктік қолжетімділік индексын есептеу кезінде сұраныспен ұсыныстың географиясын ескеруге мүмкіндік береді және аймақтарды «жоғары», «орташа» және «төмен» қолжетімділік топтарына бөлуге негіз болады.

Осы үш көрсеткіштің жиынтығы Қазақстан теміржолының тек ішкі емес, аймақтық және құрлықаралық деңгейде де маңызды транзиттік және экспорттық функциялар атқаратынын көрсетеді.

2. Жаңғырту жобалары және ұлттық бағдарламалар

«Нұрлы жол» бағдарламасы (2015-2019; 2020-2025) теміржол, автомобиль, порт және әуежай инфрақұрылымын кешенді жаңғыртуды көздейді. Бағдарлама кезеңдерінде мыңдаған шақырым автожолды жаңарту мен жаңа теміржол желілерін салу, жеке учаскелерді электрлендіру жоспарланды. Теміржол бойынша басты стратегиялық жобалар ретінде келесілерді атауға болады:

- Достық-Мойынты (836 км) учаскесін екі жолға дейін кеңейту – 2022 жылы құрылысы басталып, 2025 жылы толық аяқталды. Жоба

нәтижесінде өткізу қабілеті бірнеше есе артады, Қытай–Еуропа контейнер ағындарының қозғалысы жылдамдап, Орта дәліз бойындағы тар орын айтарлықтай азаяды;

- Бакты-Аягөз және Қызылжар-Мойынты бағыттары – жаңа теміржол тармақтары Қытаймен шекарадағы өткізу қабілетін ұлғайтып, 2027 жылға дейін шамамен 800 км жаңа жол салу жоспары бар;

- Порттарға шығатын және айналма магистралдар – Ақтау және Құрық порттарына апаратын теміржолдар, сондай-ақ Алматы маңындағы тар орындарды айналып өтетін магистралдар Орта дәліздің тиімділігін арттыруға бағытталған (Инфрақұрылымды дамытудың, 2019).

Бірқатар халықаралық шолуларда Қазақстан 5000 км-ге жуық жаңа теміржол салуды және 11 мың км жолды жаңғыртуды жоспарлап отырғаны, сондай-ақ теміржол саласында сандық технологиялар мен жасанды интеллектке негізделген «смарт теміржол» тұжырымдамасын енгізу көзделетіні атап өтіледі. Соңғы жылдары транзиттік жүк көлемі едәуір артып, шекара маңында жаңа жүк терминалдары іске қосылуда. Бұл деректер транзиттік сұраныс теміржол инфрақұрылымын жедел жаңғыртуды талап ететінін көрсетеді.

2-кесте

Қазақстандағы негізгі теміржол инфрақұрылымын жаңғырту жобалары

Жоба атауы	Географиялық орналасуы және учаске	Негізгі техникалық сипаттамалары	Жобаның мәртебесі және мерзімі	Күтілетін әсері мен нәтижесі	Негізгі дереккөздер мен құжаттар
Достық–Мойынты теміржол желісін екі жолға дейін кеңейту	Шығыс Қазақстан – Қарағанды бағыты; Достық шекара өткелі – Мойынты торабын байланыстыратын шамамен 836 км учаске	• Бір жолды желіні екі жолды ету • Жолдарды күшейту, жаңа инженерлік құрылыстар • Жылдамдық пен өткізу қабілетін арттыру	Құрылысы 2022 ж. басталып, 2025 ж. шамасында толық аяқталған, пайдалануға берілген	• Өткізу қабілетін бірнеше есе арттыру • Қытай–Еуропа контейнер ағындарын жылдамдату • Орта дәліз бойындағы тар орындарды жою • Шығыс және орталық өңірлердің экспорттық әлеуетін күшейту	«Нұрлы жол» бағдарламасы, ҚТЖ деректері, ADB/CAREC есептері, халықаралық БАҚ (IRJ, RailFreight, The Astana Times т.б.)
Бакты–Аягөз жаңа теміржол желісі (Қытаймен жаңа шекара өткелін дамыту)	Абай / Шығыс Қазақстан облыстары; Бакты шекара өткелі – Аягөз бағыты	• Жаңа теміржол тармағы • Қытаймен қосымша өткізу пунктін дамыту	Жобалау / құрылыс сатысында (2020-шы жж. ортасы – 2027 ж. дейінгі кезең)	• Қытаймен шекарадағы өткізу қабілетін ұлғайту	ҚР Үкіметінің инфрақұрылымдық жоспарлары, CAREC және ДБ

Кестенің жалғасы

Жоба атауы	Географиялық орналасуы және учаске	Негізгі техникалық сипаттамалары	Жобаның мәртебесі және мерзімі	Күтілетін әсері мен нәтижесі	Негізгі дереккөздер мен құжаттар
		Шамамен бірнеше жүз км жаңа жол		- Достық бағытындағы жүктемені бөлу - Шығыс өңірлер үшін балама экспорт-импорт маршрутын қалыптастыру	шолулары, ҚТЖ презентациялары
Қызылжар–Мойынты (немесе басқа солтүстік–орталық байланыс жобасы, қажетіне қарай нақтылайсыз)	Солтүстік Қазақстан – Қарағанды бағыты	- Жаңа немесе жаңғыртылатын учаске - Солтүстік облыстарды орталық магистральмен тікелей байланыстыру	Жоспарлау / іске асыру сатысы	- Солтүстік өңірлердің орталыққа тікелей шығуын қысқарту - Логистикалық тізбектерді оңтайландыру - Ішкі нарықтарға қолжетімділікті арттыру	ҚР Көлік министрлігі, ҚТЖ, өңірлік даму бағдарламалары
Порттарға шығатын теміржол тармақтарын жаңғырту (Ақтау, Құрық бағыттары)	Маңғыстау облысы; Ақтау және Құрық теңіз порттарына апаратын теміржол бұтақтары	- Жолдарды күшейту және ұзарту - Жүк терминалдарын кеңейту - Порт маңындағы логистикалық хабтарды дамыту	Жүзеге асырылуда; кейбір учаскелер жаңғыртылған, қосымша қуаттар енгізілуде	- Транскаспий бағыты бойынша өткізу қабілетін арттыру - Контейнерлік жүктің үлесін көбейту - Каспий арқылы өтетін Орта дәліздің бәсекеге қабілеттілігін күшейту	AIFC, World Bank Middle Corridor report, порт әкімшіліктерінің деректері, ҚТЖ
Алматы маңындағы айналма теміржол магистралі (қаланы айналып өтетін бағыттар)	Алматы агломерациясы; қаланы айналып өтетін және қалалық жүктемені азайтатын учаскелер	- Жаңа айналма жолдар - Жүк пойыздарын қаладан тыс өткізу - Жолаушы тасымалын оңтайландыру	Жүзеге асырылуда кезең-кезеңімен енгізілуде	- Алматы торабының өткізу қабілетін арттыру - Жолаушы және жүк ағындарын бөлу - Кешігу мен кептелістерді азайту	ҚТЖ, көлік стратегиялары, өңірлік көлік схемалары
«Сандық теміржол» және смарт-логистика жобалары	Ұлттық деңгей; негізгі магистралдар мен тораптар	- Пойыз қозғалысын цифрлық басқару жүйелері - Жол жағдайын онлайн мониторингтеу - Болжамды жөндеу (predictive maintenance) - Логистикалық тізбектерді цифрландыру	Кезең-кезеңімен енгізілуде; пилоттық учаскелер мен хабтарда іске асырылуда	- Қауіпсіздік пен сенімділікті арттыру - Тасымал уақытын қысқарту және шығындарды азайту - Теміржол желісінің тиімді жүктемесін қамтамасыз ету	ҚТЖ цифрландыру бағдарламасы, ADB/MIGA шолулары, ұлттық цифрландыру стратегиялары

Ескерту: бастапқы деректер негізінде авторлар құрастырылған (Economic Cooperation (CAREC), 2020; Times of Central Asia, 2025; Инфрақұрылымды дамытудың, 2020-2025; Цифрлық темір жол, 2025)

2-кестеде көрсетілген жобалар Қазақстан теміржол инфрақұрылымын жаңғыртудың негізгі бағыттарын және олардың кеңістіктік-экономикалық әсерін жүйелі түрде көрсетеді. Жобаларды шартты түрде үш үлкен топқа бөлуге болады:

1. Дәліздік деңгейдегі ірі магистральдық жобалар. Достық-Мойынты және Бақты-Аягөз жобалары Қазақстанның шығыс бөлігі мен елдің орталық өңірлерін байланыстыратын және Қытаймен шекарадағы өткізу қабілетін түбегейлі өзгертуге бағытталған стратегиялық бастамалар болып табылады.

Достық-Мойынты учаскесін шамамен 836 км бойында бір жолды желіден екі жолды желіге айналдыру, жолдарды күшейту және жылдамдықты арттыру Орта дәліздің ең «тар» жерлерінің бірін жоюға мүмкіндік береді. Бұл жоба іске асқаннан кейін Қытай-Еуропа бағытындағы контейнер ағындарын өткізу қабілеті бірнеше есе өседі, пойыздар қозғалысының тұрақтылығы мен болжамдылығы күшейеді, ал шығыс және орталық өңірлердің экспорттық әлеуеті айтарлықтай артады. Бұл жоба теміржол инфрақұрылымын жаңғырту арқылы елдің геоэкономикалық ролін күшейтудің классикалық мысалы болып табылады.

Бақты-Аягөз жаңа теміржол желісі де Қытаймен шекарадағы өткізу пункттерін әртараптандыруға бағытталған. Ол Достық бағытына түсетін жүктемені азайтып, шығыс өңірлер үшін балама экспорт-импорт маршрутын қалыптастыруға мүмкіндік береді. Осы екі жобаның үйлесуі шекаралық-дәліздік инфрақұрылымның кеңістіктік теңгерімін жақсартып, шығыс облыстардың ішкі және сыртқы нарықтарға қолжетімділігін күшейтеді.

2. Порттарға шығатын және қалалық-агломерациялық жобалар. Порттарға шығатын теміржол тармақтарын жаңғырту (Ақтау, Құрық бағыттары) жобасы Каспий теңізі арқылы өтетін Транскаспий және Орта дәліз бағытының тиімділігін арттыруға бағытталған. Жолдарды күшейту, жүк терминалдарын кеңейту, порт маңындағы логистикалық хабтарды дамыту – барлығы теңіз портына дейінгі «соңғы мильді» жақсартып, контейнерлік жүктің үлесін арттыруға және Каспий арқылы өтетін мульти-модальды тізбектердің бәсекеге қабілеттілігін күшейтуге мүмкіндік береді. Бұл Қазақстанның теңізге тікелей шығу мүмкіндігі жоқ мемлекет

ретінде теңіз-көлік жүйесіне интеграциялануын қамтамасыз ететін стратегиялық қадам.

Алматы маңындағы айналма теміржол магистралі жобасы урбанизацияланған және көлік жүктемесі өте жоғары агломерациялық кеңістікте жүк және жолаушы ағындарын функционалдық тұрғыдан бөлуге бағытталған. Жаңа айналма жолдар жүк пойыздарын қаладан тыс өткізуге, жолаушы тасымалын оңтайландыруға және Алматы торабының өткізу қабілетін арттыруға мүмкіндік береді. Нәтижесінде пойыздардың кешігуі мен инфрақұрылымдық «тығындар» азайып, агломерацияның көлік жүйесі неғұрлым тұрақты әрі болжамды режимде жұмыс істейді. Бұл жоба көлік географиясы тұрғысынан ірі қала маңындағы «лазерлік» реттеудің маңызды мысалы саналады.

Қызылжар-Мойынты сияқты солтүстік-орталық байланыс жобасы елдің солтүстік облыстарын орталық магистралдармен тікелей байланыстырып, ішкі нарықтарға қолжетімділікті арттыруға бағытталған. Мұндай жобалар өңірлер арасындағы көліктік қашықтықты қысқартып, логистикалық тізбектерді оңтайландырады және солтүстік өңірлердің өндірістік әлеуетін орталықпен тығыз интеграциялауға мүмкіндік береді.

3. Цифрландыру және смарт-логистика жобалары. «Сандық теміржол» және смарт-логистика жобалары инфрақұрылымды физикалық кеңейтуге қарағанда басқару сапасын, қауіпсіздік пен сенімділікті жақсартуға бағытталған. Пойыз қозғалысын цифрлық басқару жүйелері, жол жағдайын онлайн-мониторингтеу, болжамды жөндеу (predictive maintenance) технологиялары және логистикалық тізбектерді цифрландыру теміржол желісінің тиімді жүктемесін қамтамасыз етуге, тасымал уақытын қысқартуға, апаттар мен ақаулардың алдын алуға мүмкіндік береді.

Бұл бастамалар кеңістіктік тұрғыдан «көрінбейтін», бірақ экономикалық-географиялық жағынан өте маңызды: олар бірдей инфрақұрылымдық база негізінде көбірек жүк пен жолаушыны жылдам әрі сенімді тасымалдауға жағдай жасайды. Цифрландыру элементтері енгізілген сайын теміржол жүйесі тек физикалық желі ғана емес, дерекке негізделген күрделі басқару жүйесі ретінде де қалыптасады.

Жалпы қорытынды: жобалардың кеңістіктік әсері 2-кестеде жинақталған жобалар кешені

теміржол инфрақұрылымын жаңғыртудың үш деңгейлі логикасын көрсетеді:

- Дәліздік деңгей – елдің транзиттік рөлін күшейтетін халықаралық магистралдар (Достық–Мойынты, Бақты–Аягөз, порттарға шығатын бағыттар);

- Аймақтық-тораптық деңгей – ішкі нарықтарға қолжетімділікті жақсартатын және агломерация жүктемесін реттейтін жобалар (Қызылжар–Мойынты, Алматы айналма магистралі);

- Жүйелік-цифрлық деңгей – бүкіл желінің тиімділігі мен сенімділігін арттыратын сандық шешімдер («сандық теміржол», смарт-логистика).

Осы жобалардың кеңістіктік-экономикалық әсері бірнеше бағытта көрінеді:

1. Орта дәліз және басқа транзиттік бағыттар бойынша өткізу қабілетін арттыру;

2. Шығыс, солтүстік және батыс өңірлердің ішкі және сыртқы нарықтарға қолжетімділігін жақсарту;

3. Ірі урбанистік және порттық тораптардағы жүктемені теңгеру;

4. Теміржол жүйесінің қауіпсіздігін, сенімділігін және уақыттық тұрақтылығын күшейту.

Мұндай кешенді жаңғырту теміржол инфрақұрылымын тек көлік саласы шеңберінде емес, Қазақстанның аймақтық дамуы мен геоэкономикалық стратегиясының өзегі ретінде қарастыру қажет екенін айқын көрсетеді.

3. Аймақтық нарықтарға кеңістіктік қолжетімділік

Қолжетімділік индексі есептеу нәтижесінде Қазақстан өңірлері шартты түрде бес топқа бөлінді, 3-кестеде көрсетілген:

3-кесте

Қазақстан өңірлерінің теміржол қолжетімділігі индексі (0-1 шкала бойынша)

Облыстар мен маңызды қалалар	Қолжетімділік индексі	Қолжетімділік деңгейі
Астана қ.	0.90	Жоғары қолжетімділік
Алматы қ.	0.88	Жоғары қолжетімділік
Қарағанды	0.82	Жоғары қолжетімділік
Шымкент қ.	0.81	Жоғары қолжетімділік
Павлодар	0.78	Орташадан жоғары
Қостанай	0.75	Орташадан жоғары
Ақмола	0.72	Орташадан жоғары
Алматы	0.70	Орташадан жоғары
Түркістан	0.65	Орташа
Жамбыл	0.63	Орташа
Абай	0.60	Орташа
Жетісу	0.58	Орташа
Шығыс Қазақстан	0.55	Орташадан төмен
Солтүстік Қазақстан	0.53	Орташадан төмен
Ақтөбе	0.52	Орташадан төмен
Атырау	0.50	Орташадан төмен
Маңғыстау	0.48	Төмен қолжетімділік
Батыс Қазақстан	0.47	Төмен қолжетімділік
Қызылорда	0.45	Төмен қолжетімділік
Ұлытау	0.40	Төмен қолжетімділік

Ескерту: бастапқы деректер негізінде авторлар құрастырылған (Қазақстан Республикасындағы көлік, 2024; Carec 2030 strategy midterm review, 2024)

3-кестеде Қазақстан өңірлерінің теміржол қолжетімділігін 0–1 шкаласындағы индекс арқылы салыстырылды: индекс мәні жоғарылаған сайын өңірдің теміржол желісіне қосылу сапасы, тораптарға жақындығы және тасымал әлеуеті жоғарырақ екенін көрсетеді. Нәтижелер ел аумағында теміржол қолжетімділігінің айқын кеңістіктік саралануын байқатады.

1) Жоғары қолжетімділік (0.81–0.90). Бұл топқа Астана қ. (0.90), Алматы қ. (0.88), Қарағанды (0.82), Шымкент қ. (0.81) кіреді. Топтың ортақ сипаты елдің негізгі агломерациялық орталықтары мен көлік тораптары. Мұнда жүк және жолаушы ағындары жоғары, логистикалық қызметтер шоғырланған, әрі магистральдық бағыттармен байланыс тығыз. Бұл өңірлер теміржол желісінің «ядросын» құрайды және ұлттық деңгейдегі байланыстылық пен транзит әлеуетін қалыптастыруда жетекші рөл атқарады.

2) Орташадан жоғары (0.70–0.78). Павлодар (0.78), Қостанай (0.75), Ақмола (0.72), Алматы (0.70) осы деңгейде. Бұл өңірлер жоғары топқа қарағанда «хабтық» функциясы әлсіздеу болғанымен, теміржол магистральдарына қолайлы қосылған және өңіраралық байланыстарға жеткілікті тартымды. Әсіресе солтүстік-орталық белдеуде орналасқан өңірлер үшін өндірістік байланыстар мен транзиттік бағыттарға шығу мүмкіндігі қолжетімділік индексін көтереді. Алматы облысының 0.70 мәні қала агломерациясына жақындығымен және өңірлік желінің салыстырмалы дамығандығымен түсіндіріледі.

3) Орташа (0.58–0.65). Бұл топта Түркістан (0.65), Жамбыл (0.63), Абай (0.60), Жетісу (0.58) бар. Орташа деңгей теміржол инфрақұрылымы бар екенін, бірақ қолжетімділікті жоғары санатқа жеткізетін факторлар (өткізу қабілеті, түйін станциялар саны, магистральдарға шығу сапасы, кей учаскелердің техникалық жағдайы) толық жеткіліксіз екенін білдіреді. Яғни бұл өңірлерде теміржолдың базалық функциясы сақталғанымен, желінің «өнімділігі» мен нарықтарға шығу мүмкіндігі орташа деңгейде қалып отыр.

4) Орташадан төмен (0.50–0.55). Шығыс Қазақстан (0.55), Солтүстік Қазақстан (0.53), Ақтөбе (0.52), Атырау (0.50) осы топқа кіреді. Бұл деңгей теміржол желісінің болуы

қолжетімділікті қамтамасыз еткенімен, кең аумақ, қашықтық, тораптардың сиректігі немесе ішкі байланыстардың біркелкі еместігі сияқты факторлардың әсерінен өңірдің жалпы интеграциясы әлсірейтінін көрсетеді. Атыраудың 0.50 мәні әсіресе назар аударатын сигнал: өңірдің экспорттық әлеуеті жоғары болғанымен, ішкі нарықтарға және түйіндерге теміржол арқылы байланысу деңгейі кестедегі индексте «төмен шекараға» жақын.

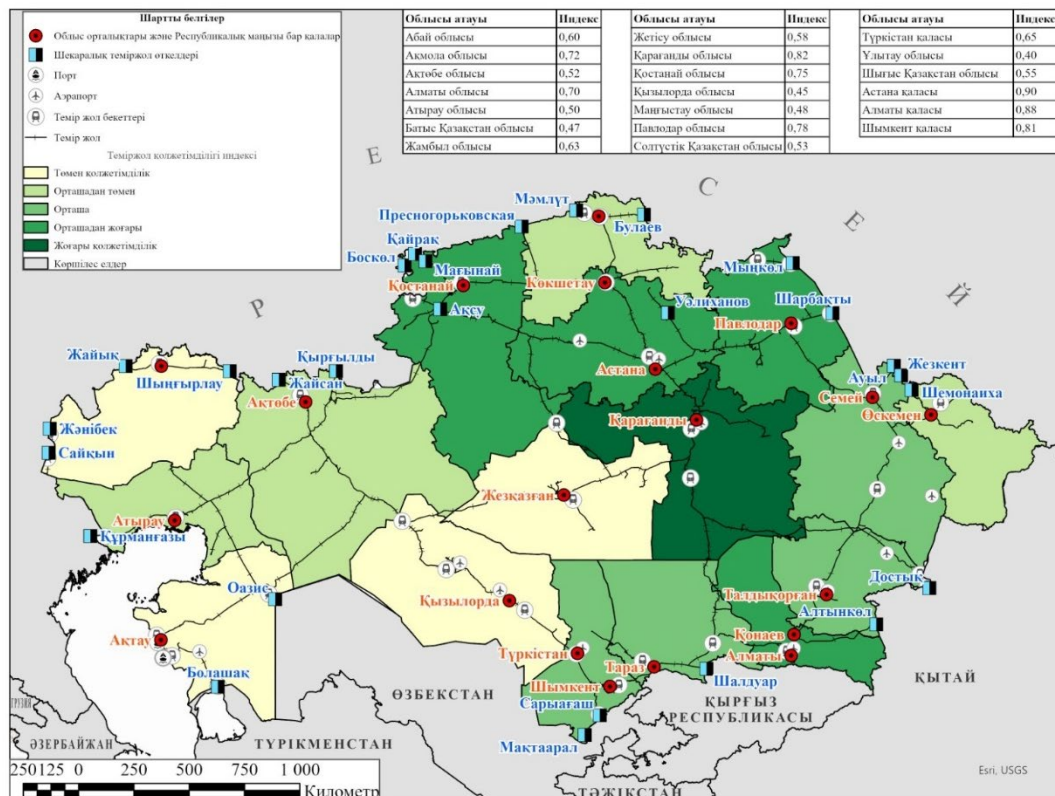
5) Төмен қолжетімділік (0.40–0.48). Ең төмен көрсеткіштер Маңғыстау (0.48), Батыс Қазақстан (0.47), Қызылорда (0.45), Ұлытау (0.40) өңірлерінде. Бұл топ, әдетте, теміржол тораптары сирек, магистральдарға дейінгі «аралық қашықтық» жоғары, желі тығыздығы төмен және инфрақұрылымдық жаңғыртуға сұраныс өткір өңірлер ретінде сипатталады. Ұлытаудың 0.40 болуы қолжетімділіктің ең әлсіз аймағы бар екенін көрсетеді, мұнда логистикалық шығындардың жоғары болуы және нарықтарға шығудың қиындығы өңірлік экономикалық белсенділікке шектеу болуы мүмкін.

Кесте бойынша теміржол қолжетімділігі ірі қалалық хабтарда ең жоғары, ал шеткері және тораптық байланысы әлсіз өңірлерде төмен. Бұл өңірлік нарықтарға шығу мүмкіндігі, логистикалық шығындар және транзиттік тізбектерге қосылу деңгейі бойынша айырмашылықтардың сақталатынын білдіреді. Практикалық тұрғыдан алғанда, саясаттық басымдық ретінде төмен және орташадан төмен топтағы өңірлерде магистральдарға шығатын байланыстарды күшейту, өткізу қабілетін арттыру (екі жолдылық, электрлендіру, түйін станциялар қуаты) және логистикалық «тар жерлерді» қысқарту шаралары өзекті.

Осы кесте негізінде Қазақстан өңірлерінің теміржол қолжетімділігі индексі мен өңірлік даму байланысын бейнелейтін карта құрастырылды (1-сурет). Картада ел аумағындағы теміржол желісі, ірі қалалар мен тораптық пункттер, сондай-ақ шекаралық теміржол өткелдері көрсетіліп, теміржол инфрақұрылымының тарихи кезеңдерде (Ресей империясы мен Кеңес Одағы дәуірінде) қалыптасуы және тәуелсіздік жылдарындағы кеңеюі мен жаңғыртылуы қолжетімділік деңгейлерінің кеңістіктік айырмашылықтары арқылы көрініс тапқан.

1-сурет

Қазақстан өңірлерінің теміржол қолжетімділігі индексі және өңірлік даму байланысы



Карта Қазақстан аумағында теміржол желісінің магистральдық «қаңқасы» мен оның өңірлерге тармақталу ерекшеліктерін көрсетеді: негізгі бағыттар Астана-Қарағанды торабында түйісіп, одан әрі солтүстікке Ресей шекарасына қарай, шығысқа Қытай бағытындағы өткелдерге (Достық, Алтынкөл), оңтүстікке Шымкент арқылы Өзбекстан бағытына (Сарыағаш) шығатын дәліздер түрінде таралады. Батыс бағытта желі Каспий маңындағы Ақтау портына және оңтүстік-батыста Болашақ өткелі арқылы Түрікменстан бағытына жалғанатын тармақтармен толықтырылады. Магистральдар бойында өңірлік байланыстарды қамтамасыз ететін бұтақтар қалыптасқан: тораптылық пен тармақталу тығыз аймақтарда қолжетімділік индексі жоғарырақ, ал магистральдан алыс, желі сирек және «соңғы иін» байланыстары әлсіз өңірлерде қолжетімділік төмендеу байқалады. Осылайша карта теміржол желісінің құрылымы өңірлердің нарықтарға, транзит дәліздеріне, порттар мен шекаралық қақпаларға шығуын айқындап, кеңістіктік қолжетімділік айырмашылықтарын түсіндіретінін көрсетеді.

4. Қолжетімділік және өңірлік даму арасындағы байланыс

Қарапайым корреляциялық талдау Қазақстан өңірлерінде теміржол қолжетімділігі мен экономикалық көрсеткіштер арасындағы оң байланысты көрсетті. Қолжетімділік индексі жоғары өңірлерде ӨЖӨ жан басына шаққандағы мәні республикалық орташа деңгейден жоғары, өнеркәсіп және логистикалық қызметтер үлесі жоғары өңірлер (Астана, Алматы, Қарағанды, Атырау, Маңғыстау) стратегиялық теміржол магистралдары мен хабтарына жақын орналасқан.

Қолжетімділігі төмен өңірлерде аграрлық артықшылықтар болғанымен, өнімді қайта өңдеу және сыртқы нарықтарға шығару көбіне басқа аймақтық хабтар арқылы жүзеге асырылады, бұл қосымша шығындар мен тәуелділік туғызады. Бұл нәтиже халықаралық тәжірибемен үштасады: көлік инфрақұрылымының сапасы мен логистикалық көрсеткіштердің инвестицияны тарту, сыртқы сауда көлемі және өңірлік бәсекеге қабілеттілікпен тығыз байланыста екені атап өтіледі.

5. Орта дәліз контексіндегі геоэкономикалық рөл

Орта дәліз бойынша соңғы жылдары жүк ағындарының өсуі және теңіз бағыттарындағы геосаяси тәуекелдер Қазақстан теміржолдарын Еуразиялық саудадағы басты балама дәліздердің біріне айналдырып отыр. AIFC және Дүниежүзілік банк сараптамалары Орта дәліз арқылы өтетін контейнер тасымалдарының 2030 жылға қарай бірнеше есе өсуі мүмкін екенін, ал теміржол тасымалы үлесінің 22%-дан 26%-ға дейін өсуі күтілетінін болжайды.

Бірақ дәліздің бәсекеге қабілеттілігі уақыт пен сенімділікке тәуелді: CAREC бойынша 2022 ж. шекаралық өткелдердегі рәсімдер уақыты азайғанымен, кейбір учаскелерде жылдамдық пен тұрақтылық мәселелері әлі де өзекті. Достық–Мойынты және шекаралық терминалдардағы жаңғырту жобалары дәл осы тар орындарды жоюға бағытталған.

Қазақстанның теміржол инфрақұрылымын жаңғырту шеңберінде кеңістіктік-экономикалық тиімділікті арттыру үшін келесі бағыттар маңызды:

- магистралдарды жай ғана ұзарту емес, тораптық құрылымды қайта ойластыру (логистикалық хабтар, құрғақ порттар, индустриялық аймақтармен интеграция);
- сандық теміржол тұжырымдамасын енгізу арқылы пойыз қозғалысын оңтайландыру, инфрақұрылымның жай-күйін мониторингтеу, болжамды жөндеу жүйелерін қолдану;
- тарифтік және кедендік рәсімдерді жеңілдету арқылы Орта дәліздің уақыт пен күн бойынша бәсекеге қабілеттілігін күшейту;
- аймақтық теңгерімсіздіктерді азайту үшін қолжетімділігі төмен өңірлерде теміржолмен қатар, автомобиль және көпмодальды логистиканы дамыту.

Қорытынды

Зерттеу нәтижелері Қазақстандағы теміржол инфрақұрылымын жаңғырту аймақтық нарықтарға қолжетімділікті арттырудың және елдің геоэкономикалық рөлін күшейтудің негізгі шарты екенін көрсетеді:

Біріншіден, теміржол ұлттық және транзиттік тасымалдың өзегі болып табылады. Жүк айналымы мен экспорттық тасымалдың елеулі бөлігі теміржол үлесіне тиесілі, бұл

инфрақұрылымның жай-күйіне қойылатын талаптарды күшейтеді.

Екіншіден, инфрақұрылымның тозуы және кеңістіктік теңсіздік. Теміржол желісінің 50-60%-ға жуығының тозуы, электрлендіру мен екі жолды учаскелер үлесінің жеткіліксіздігі және тарихи қалыптасқан конфигурация өңірлердің нарықтарға қолжетімділігінде айырмашылықтар туындатады.

Үшіншіден, жаңғырту жобаларының мультипликативтік әсері айқын көрінеді. Достық-Мойынты, Бақты-Аягөз, порттарға шығатын тармақтарды кеңейту сияқты жобалар шығыс-батыс және солтүстік-оңтүстік бағыттар бойынша өткізу қабілетін едәуір арттырып, Орта дәліздің бәсекеге қабілеттілігін күшейтеді.

Төртіншіден, кеңістіктік қолжетімділік пен өңірлік даму арасындағы байланыс теміржол инфрақұрылымын жаңғырту саясатын аймақтық даму стратегияларымен тығыз байланыстыру қажеттігін көрсетеді. Қолжетімділік индексі жоғары өңірлерде экономикалық белсенділік, өнеркәсіп және логистикалық қызметтер концентрациясы да жоғары

Саясаттық тұрғыдан алғанда, теміржол инфрақұрылымын жаңғыртуды аймақтық теңгерімді дамыту мақсаттарымен үйлестіру, тар орындарды жою кезектілігін кеңістіктік қолжетімділік индекстеріне негіздеп анықтау, теміржолды порттармен, құрғақ порттармен және индустриялық аймақтармен интеграциялайтын кешенді көлік-логистикалық хабтар жүйесін қалыптастыру, сондай-ақ сандық теміржол және жасанды интеллект негізіндегі басқару жүйелерін енгізу арқылы Орта дәліз бойындағы уақыт пен шығынды қысқарту маңызды.

Осылайша, Қазақстандағы теміржол инфрақұрылымын жаңғырту жобалары елдің аймақтық нарықтарға қолжетімділік картасын қайта қалыптастырып, ұлттық экономиканың өртарлапандырылуы мен Еуразиялық көлік-логистикалық жүйедегі рөлін күшейтуге бағытталған кеңістіктік-экономикалық трансформацияның маңызды құралына айналуға.

Қаржыландыру: жоқ.

Алғыстар: жоқ.

Мүдделер қақтығысы: Мүдделер қақтығысы жоқ деп мәлімдейді.

Авторлардың қосқан үлесі

"Концептуализация, Толеков З.А. және Мылқайдаров А.Т.; Әдістеме, Толеков З.А.; Бағдарламалық қамтамасыз ету, Сансызбаева А.Б.; Тексеру, Толеков З.А., Мылқайдаров А.Т. және Сансызбаева А.Б.; Ресми талдау,

Сансызбаева А.Б.; Тергеу, Джумабекова И.Д.; Ресурстар, Оспанова Г.Ш.; Деректерді өңдеу, Сансызбаева А.Б.; Жазу – Түпнұсқа жобаны дайындау, Толеков З.А.; Жазу – Шолу және редакциялау, Сансызбаева А.Б.; Визуализация, Джумабекова И.Д.; Қадағалау, Мылқайдаров А.Т.; Жобаны басқару, Толеков З.А."

Әдебиеттер

- Anselin, L. (1988). *Spatial Econometrics: Methods and Models*. – Dordrecht: Kluwer Academic, 7 p.
- Asian Development Bank (ADB). *Railway Sector Assessment for Republic of Kazakhstan (CAREC)* // *Asian Development Bank*, 2021. – URL: <https://www.carecprogram.org/uploads> (қол жеткізу режимі 27.12.2025)
- Aschauer, D. A. (1989). Is Public Expenditure Productive? // *Journal of Monetary Economics*. – Vol. 23, No. 2. – P. 177–200. – DOI: 10.1016/0304-3932(89)90047-0
- Аналитический исследовательский центр развития конкуренции Агентства по защите и развитию конкуренции Республики Казахстан, Астана 2024. <https://www.gov.kz/uploads> (қол жеткізу режимі 28.11.2025).
- Баранский, Н.Н. (1980). Географическое разделение труда. – М.: Мысль, – С. 96–127.
- Саушкин Ю.Г. (1970). Введение в экономическую географию. – М.: Изд-во Московского университета, – 338 с.
- Carec 2030 strategy midterm review, 2024. <https://www.carecprogram.org> (қол жеткізу режимі 27.12.2025).
- Christaller, W. (1966). Central Places in Southern Germany / Trans. C. W. Baskin. – Englewood Cliffs, NJ: Prentice-Hall, 1966. – 230 p.
- Donaldson D. (2018). Railroads of the Raj: Estimating the Impact of Transportation Infrastructure // *American Economic Review*. – Vol. 108, No. 4–5. – P. 899–934. – DOI: 10.1257/aer.20101199
- Ingram, D. R. (1971). The Concept of Accessibility: A Search for an Operational Form // *Regional Studies*. – Vol. 5, No. 2. – P. 101–107.
- International Railway Journal. (2025). Kazakhstan Completes Major Track-Doubling Project // *International Railway Journal*. – 1 Oct. <https://www.railjournal.com> (қол жеткізу режимі 27.12.2025)
- Инфрақұрылымды дамытудың 2020 – 2025 жылдарға арналған «Нұрлы жол» мемлекеттік бағдарламасына қосымша. <https://primeminister.kz> (қол жеткізу режимі 27.12.2025).
- Интегрированный годовой отчет акционерного общества «Пассажирские перевозки» за 2024 год <https://temirzholy.kz> (қол жеткізу режимі 27.12.2025).
- Fujita, M., Krugman, P., Venables, A. J. (1999). *The Spatial Economy: Cities, Regions, and International Trade*. – Cambridge, MA: MIT Press, 54 p.
- Geurs, K. T., van Wee, B. (2004). Accessibility Evaluation of Land-Use and Transport Strategies: Review and Research Directions // *Journal of Transport Geography*. – Vol. 12, No. 2. – P. 127–140. – DOI: 10.1016/j.jtrangeo.2003.10.005
- Goodchild, M. F. (1992). Geographical Information Science // *International Journal of Geographical Information Systems*. – Vol. 6, No. 1. – P. 31–45. – DOI: 10.1080/02693799208901893
- Основные показатели работы транспорта в Республике Казахстан <https://stat.gov.kz> (қол жеткізу 28.11.2025 режимі)
- Kenzhegulova, G. K., Bekbossinova, A. S., Kenzheali, Y. A. (2023). The Economic Potential of the Regions of Kazakhstan: Comparative Analysis and Regional Accessibility // *Economics: the Strategy and Practice*. – Vol. 18, No. 2. – P. 160–173. – DOI: 10.51176/1997-9967-2023-2-160-173
- Колосовский, Н.Н. (1969). Теория экономического районирования. – М.: «Мысль», – 336 с.
- Krugman, P. (1991). Increasing Returns and Economic Geography // *Journal of Political Economy*. – Vol. 99, No. 3. – P. 483–499.
- Lösch, A. (1954). *The Economics of Location* / Trans. W. H. Woglom. – New Haven: Yale University Press. – 520 p.
- Madiyar, S., Nazdana, A., Aleksander, S., Arnur, K. (2024). Forecasting the demand for railway freight transportation in Kazakhstan: A case study. *Transportation Research Interdisciplinary Perspectives*, 23, 1–9. <https://doi.org/10.1016/j.trip.2024.101028>
- MIGA Backs Modernization of Kazakhstan's Railway Network. (2023). *World Bank Group: Press Release*. <https://www.miga.org/press-release> (қол жеткізу режимі 28.11.2025)
- Мухтар, Е.С., Маденова, М.С. (2015). Основные проблемы международных перевозок по международным транспортным коридорам в рамках ЕАЭС // Вестник КазНУ. Серия экономическая. – №2. – Б. 153–157.
- Hansen, W. G. (1959). How Accessibility Shapes Land Use // *Journal of the American Institute of Planners*. – Vol. 25, No. 2. – P. 73–76. – DOI: 10.1080/01944365908978307
- Jiawen, Y., Patrick, M. (2013). Multi-modal Transportation Investment in Kazakhstan: Planning for Trade and Economic Development in a Post-Soviet Country. *Procedia – Social and Behavioral Sciences*, 96, 2105 – 2114. <https://doi.org/10.1016/j.sbspro.2013.08.237>
- Rodrigue, J.P. (2020). *The Geography of Transport Systems* (5th ed.). New York: Routledge, pp. 24–25. https://geonas.at.ua/_ld/0/34_The_Geography_o

- Sydykbayeva, B., Raimbekov, Z., Baiburiev, R., Dulatbekova, Z. (2025). Improving the Transport and Logistic Infrastructure of a City Using the Graph Theory Method: The Case of Astana, Kazakhstan // *Sustainability*. – Vol. 17, No. 6. – Art. 2486. – DOI: 10.3390/su17062486
- Tobler, W. R. (1970). A Computer Movie Simulating Urban Growth in the Detroit Region // *Economic Geography*. – Vol. 46 (Suppl.). – P. 234–240. URL: <http://www.jstor.org/stable/143141>
- The Times of Central Asia. Kazakhstan Accelerates Railway Modernization to Boost Transit Capacity // *The Times of Central Asia*, 2025. – URL: <https://timesca.com> (қол жеткізу режимі 27.12.2025)
- The Central Asia Regional Economic Cooperation (CAREC) Program Development Effectiveness Review 2020. <https://www.carecprogram.org> (қол жеткізу режимі 27.12.2025).
- The Jamestown Foundation. (2025). Kazakhstan Increases Railway Capacity Along Trans-Caspian International Transport Route // *Jamestown*. – 9 Jun. <https://www.jamestown.org>. (қол жеткізу режимі 28.11.2025)
- Timur, S., Tynys, S., Gulnar, T., Zura, S. (2019). Development of transit potential in conditions of integration of the Republic of Kazakhstan into the world transport system. *ICTE in Transportation and Logistics, Procedia Computer Science*, 149, 430–435. <https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>
- Vickerman, R. W. (1995). The Regional Impacts of Trans-European Networks // *The Annals of Regional Science*. – Vol. 29, No. 2. – P. 237–254. – DOI: 10.1007/BF01581809
- Weber A. Theory of the location of industries. Chi cago: University of Chicago Press, 1929. 256 p.
- ҚР Үкіметінің 2019 жылғы 31 желтоқсандағы №1055 қаулысы. Қазақстан Республикасы Үкіметі. Инфрақұрылымды дамытудың 2020–2025 жылдарға арналған «Нұрлы жол» мемлекеттік бағдарламасын бекіту туралы. <https://adilet.zan.kz/> (қол жеткізу режимі 27.12.2025).
- «ҚТЖ» ҰК-да бес бағыт бойынша «Цифрлық темір жол» бағдарламасы іске асырылуда. <https://primeminister.kz> (қол жеткізу режимі 27.12.2025).
- Қазақстан Республикасы Көлік министрлігі <https://www.gov.kz/memleket/entities/transport?lang=kk> (қол жеткізу режимі 27.12.2025).
- Қазақстан Республикасындағы көлік 2024. <https://stat.gov.kz> (қол жеткізу режимі 27.12.2025).
- ҚР Ұлттық статистика бюросы, 20247 <https://stat.gov.kz> (қол жеткізу режимі 27.12.2025).

References

- Anselin, L. (1988). Spatial Econometrics: Methods and Models. – Dordrecht: Kluwer Academic, 7 p.
- Asian Development Bank (ADB). Railway Sector Assessment for Republic of Kazakhstan (CAREC) // *Asian Development Bank*, 2021. – URL: <https://www.carecprogram.org/uploads> (access mode 27.12.2025)
- Aschauer, D. A. (1989). Is Public Expenditure Productive? // *Journal of Monetary Economics*. – Vol. 23, No. 2. – P. 177–200. – DOI: 10.1016/0304-3932(89)90047-0
- Analytical Research Center for Competition Development of the Agency for Protection and Development of Competition of the Republic of Kazakhstan, Astana 2024. <https://www.gov.kz> (access mode 28.11.2025)
- Baransky, N.N. (1980). Geographical division of labor, Moscow: Mysl, pp. 96-127. (in Russian)
- Saushkin, Yu.G. (1970). Introduction to economic geography. Moscow: Publishing House of Moscow University, 338 p. (in Russian)
- Carec 2030 strategy midterm review, 2024. <https://www.carecprogram.org> (access mode 27.12.2025).
- Christaller W. Central Places in Southern Germany / Trans. C. W. Baskin. – Englewood Cliffs, NJ: Prentice-Hall, 1966. – 230 p.
- Donaldson, D. (2018). Railroads of the Raj: Estimating the Impact of Transportation Infrastructure // *American Economic Review*. – Vol. 108, No. 4–5. – P. 899–934. – DOI: 10.1257/aer.20101199
- Ingram, D. R. (1971). The Concept of Accessibility: A Search for an Operational Form // *Regional Studies*. – Vol. 5, No. 2. – P. 101–107.
- International Railway Journal. (2025). Kazakhstan Completes Major Track-Doubling Project // *International Railway Journal*. – 1 Oct. <https://www.railjournal.com> (access mode 27.12.2025)
- Интегрированный годовой отчет акционерного общества «Пассажирские перевозки» за 2024 год <https://temirzholy.kz> (access mode 27.12.2025).
- Appendix to the state program of infrastructure development "Nurly Zhol" for 2020-2025. <https://primeminister.kz> (access mode 27.12.2025).
- Fujita, M., Krugman, P., Venables A. J. (1999). The Spatial Economy: Cities, Regions, and International Trade. – Cambridge, MA: MIT Press, 54 p.
- Geurs, K. T., van Wee, B. (2004). Accessibility Evaluation of Land-Use and Transport Strategies: Review and Research Directions // *Journal of Transport Geography*. – Vol. 12, No. 2. – P. 127–140. – DOI: 10.1016/j.jtrangeo.2003.10.005
- Key performance indicators of transport in the Republic of Kazakhstan <https://stat.gov.kz> (access mode 28.11.2025)
- Goodchild, M. F. (1992). Geographical Information Science // *International Journal of Geographical Information Systems*. – Vol. 6, No. 1. – P. 31–45. – DOI: 10.1080/02693799208901893
- Kenzhegulova, G. K., Bekbossinova, A. S., Kenzheali, Y. A. (2023). The Economic Potential of the Regions of Kazakhstan: Comparative Analysis and Regional Accessibility // *Economics: the Strategy and Practice*. – Vol. 18, No. 2. – P. 160–173. – DOI: 10.51176/1997-9967-2023-2-160-173
- Kolosovsky N.N. Theory of economic zoning, – М.: «Мysl», 1969, 336 p. (in Russian)
- Kolosovsky, N.N. (1969). Theory of economic zoning, Moscow: Mysl, 336 p. (in Russian)

- Krugman, P. (1991). Increasing Returns and Economic Geography // *Journal of Political Economy*. – Vol. 99, No. 3. – P. 483–499.
- Lösch, A. (1954). The Economics of Location / Trans. W. H. Woglom. – New Haven: Yale University Press, – 520 p.
- Madiyar, S., Nazdana, A., Aleksander, S., Arnur, K. (2024). Forecasting the demand for railway freight transportation in Kazakhstan: A case study. *Transportation Research Interdisciplinary Perspectives*, 23, 1-9. <https://doi.org/10.1016/j.trip.2024.101028>
- MIGA Backs Modernization of Kazakhstan's Railway Network. (2023). *World Bank Group: Press Release*. <https://www.miga.org/press-release> (access mode 28.11.2025)
- Mukhtar, E.S., Madenova, M.S. (2015). The main problems of international transportation along international transport corridors within the EAEU // *KazNU Bulletin. The economic series*. – No. 2. – B. 153-157. (in Russian)
- Hansen W. G. How Accessibility Shapes Land Use // *Journal of the American Institute of Planners*. – 1959. – Vol. 25, No. 2. – P. 73–76. – DOI: 10.1080/01944365908978307
- Jiawen, Y., Patrick, M. (2013). Multi-modal Transportation Investment in Kazakhstan: Planning for Trade and Economic Development in a Post-Soviet Country. *Procedia – Social and Behavioral Sciences*, 96, 2105 – 2114. <https://doi.org/10.1016/j.sbspro.2013.08.237>
- Rodrigue, J.P. (2020). The Geography of Transport Systems (5th ed.). New York: Routledge, pp. 24–25. https://geonas.at.ua/_ld/0/34_The_Geography_o
- Syzdykbayeva, B., Raimbekov, Z., Baiburiev, R., Dulatbekova, Z. (2025). Improving the Transport and Logistic Infrastructure of a City Using the Graph Theory Method: The Case of Astana, Kazakhstan // *Sustainability*. – Vol. 17, No. 6. – Art. 2486. – DOI: 10.3390/su17062486
- Tobler, W. R. (1970). A Computer Movie Simulating Urban Growth in the Detroit Region // *Economic Geography*. – Vol. 46 (Suppl.). – P. 234–240. URL: <http://www.jstor.org/stable/143141>
- The Times of Central Asia. Kazakhstan Accelerates Railway Modernization to Boost Transit Capacity // *The Times of Central Asia*, 2025. – URL: <https://timesca.com> (access mode 27.12.2025)
- The Central Asia Regional Economic Cooperation (CAREC) Program Development Effectiveness Review 2020. <https://www.carecprogram.org> (access mode 27.12.2025).
- Timur, S., Tynys, S., Gulnar, T., Zura, S. (2019). Development of transit potential in conditions of integration of the Republic of Kazakhstan into the world transport system. *ICTE in Transportation and Logistics, Procedia Computer Science*, 149, 430–435. <https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>
- The Jamestown Foundation. (2025). Kazakhstan Increases Railway Capacity Along Trans-Caspian International Transport Route // *Jamestown*. – 9 Jun. <https://www.jamestown.org>. (access mode 28.11.2025)
- Vickerman, R. W. (1995). The Regional Impacts of Trans-European Networks // *The Annals of Regional Science*. – Vol. 29, No. 2. – P. 237–254. – DOI: 10.1007/BF01581809
- Weber, A. (1929). Theory of the location of industries. Chicago: University of Chicago Press, 256 p.
- Resolution of the government of the Republic of Kazakhstan dated December 31, 2019 No. 1055. Government Of The Republic Of Kazakhstan. On approval of the state program of infrastructure development "Nurly Zhol" for 2020-2025. <https://adilet.zan.kz/> (access mode 27.12.2025).
- The program "Digital railways "in five directions is being implemented at NC" KTZ". <https://primeminister.kz> (access mode 27.12.2025).
- Ministry of transport of the Republic of Kazakhstan <https://www.gov.kz/memleket/entities/transport?lang=kk> (access mode 27.12.2025).
- Transport in the Republic of Kazakhstan 2024. <https://stat.gov.kz> (access mode 27.12.2025).
- Bureau of national statistics of the Republic of Kazakhstan, 20247 <https://stat.gov.kz> (access mode 27.12.2025).

Авторлар туралы мәлімет:

Толеков Заңғар Алимович – әл-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университеті География, жерге орналастыру және кадастр кафедрасының PhD докторанты, (Алматы, Қазақстан, e-mail: tolekov.zangar04@gmail.ru).

Мылкайдаров Алим Толекович – әл-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университеті География, жерге орналастыру және кадастр кафедрасының с.ғ.к., аға оқытушысы, (Алматы, Қазақстан, e-mail: mylkaydarov@mail.ru).

Сансызбаева Айгерим Баккелдиевна (жауапты автор) – Л.Н.Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті, Физикалық және экономикалық география кафедрасының PhD, доцент м.а., (Астана, Қазақстан, e-mail: sansyzbayeva.ab@mail.ru).

Джумабекова Индира Доктырбаевна – әл-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университеті География, жерге орналастыру және кадастр кафедрасының PhD докторанты, (Алматы, Қазақстан, e-mail: dokindira2020@gmail.com).

Оспанова Гульнара Шаймерденовна – Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті, Физикалық және экономикалық география кафедрасының PhD докторанты, аға оқытушысы (Астана, Қазақстан, e-mail: ospanova_14@mail.ru).

Information about the authors:

Tolekov Zangar Alimovich – PhD doctoral student of the Department of Geography, Land Management and Cadastre, Al-Farabi Kazakh National University, (Almaty, Kazakhstan, e-mail: tolekov.zangar04@gmail.ru).

Mylkaydarov Alim Tokeovich – Candidate of Geographical Sciences, Senior Lecturer of the Department of Geography, Land Management and Cadastre, Al-Farabi Kazakh National University, (Almaty, Kazakhstan, e-mail: mylkaydarov@mail.ru).

Sansyzbayeva Aigerim Bakkeldievna (corresponding author) – PhD, Acting Associate Professor of the Department of Physical and Economic Geography, L.N. Gumilyov Eurasian National University, (Astana, Kazakhstan, e-mail: sansyzbayeva.ab@mail.ru).

Dzhumabekova Indira Doktyrbaevna – PhD doctoral student of the Department of Geography, Land Management and Cadastre, Al-Farabi Kazakh National University, (Almaty, Kazakhstan, e-mail: dokindira2020@gmail.com).

Ospanova Gulnara Shaimerdenovna – PhD doctoral student, Senior Lecturer of the Department of Physical and Economic Geography, L.N. Gumilyov Eurasian National University, (Astana, Kazakhstan, e-mail: ospanova_14@mail.ru).

Сведения об авторах:

Толеков Зангар Алимович – PhD докторант кафедры географии, землеустройства и кадастра Казахского национального университета имени аль-Фараби, (Алматы, Казахстан, e-mail: tolekov.zangar04@gmail.ru).

Мылкайдаров Алим Толекович – кандидат географических наук, старший преподаватель кафедры географии, землеустройства и кадастра Казахского национального университета имени аль-Фараби, (Алматы, Казахстан, e-mail: mylkaydarov@mail.ru).

Сансызбаева Айгерим Баккелдиевна (ответственный автор) – PhD, и.о. доцента кафедры физической и экономической географии Евразийского национального университета имени Л.Н. Гумилева, (Астана, Казахстан, e-mail: sansyzbayeva.ab@mail.ru).

Джумабекова Индира Доктырбаевна – PhD докторант кафедры географии, землеустройства и кадастра Казахского национального университета имени аль-Фараби, (Алматы, Казахстан, e-mail: dokindira2020@gmail.com).

Оспанова Гульнара Шаймерденовна – PhD докторант, старший преподаватель кафедры физической и экономической географии Евразийского национального университета имени Л.Н. Гумилева, (Астана, Казахстан, e-mail: ospanova_14@mail.ru).

Келін түсті: 23 қараша 2025 жыл

Қабылданды: 14 мамыр 2026 жыл

Y.D. Issakov^{1*}, Zh.S. Nizamatinova^{1,2}, K. Zhoya³

¹Abai Kazakh National Pedagogical University, Almaty, Kazakhstan

²Yessenov University, Aktau, Kazakhstan

³Kazakh National Women's Teacher Training University, Almaty, Kazakhstan

*e-mail: erlan.issakov@gmail.com

STUDY OF TURKIC TOPONYMS OF CENTRAL ASIA AND KAZAKHSTAN ON MEDIEVAL HISTORICAL MAPS

The historical maps of Central Asia and Kazakhstan's territory serve as a vital source for examining the region's political, ethnographic, and cultural development dynamics. Beginning in the early 20th century, mapping studies have primarily concentrated on the northern and central regions of Eurasia, as well as on Central Asia, where nomadic peoples and city-states reside. Nevertheless, a thorough examination of Turkic place names on historical maps, and the investigation of their origins, development, and geographical spread, remains an urgent concern. The *purpose* of the study was to examine Turkic place names in Central Asia and Kazakhstan as depicted on historical maps. As research methods, cartographic analysis, historical-geographical comparative study, and correlation of hydronymic and oronymic data with historical sources were utilized. The study also examined the historical significance and usage of place names by analysing changes in political, ethnic and administrative features on maps. As a result of the study, 11 historical maps were analysed, from which many Turkic place names were identified on the maps below: 'ASIA noviter delineata', 'La Grande Tartarie', 'Imperium Timuri Begi vel Tamerlanis', 'Tartariae Sive Magni Chami Regni typus' and 'Nieuwe Caart van de Caspische Zee, met alle desselfs Riviere, Eylanden en Dieptens'. Especially, maps most commonly display such vital Turkic place names as 'Turkestan', 'Desht-Kipchak', 'Syrdarya', 'Amudarya', 'Samarkand', 'Bukhara', 'Balashagun', 'Kazakh Steppe' and further entries. Furthermore, we have ensured that the maps clearly show watercourses, mountain ranges, rivers and trade routes, as well as the locations of towns and fortifications. Therefore, the medieval maps selected for this study constitute valuable material for the study of Turkic place-names in Central Asia and Kazakhstan, and their use is of great significance in contemporary cartographic, ethnographic and historical research, as well as in the field of education. Consequently, an analysis of the evolution of geographical names serves to demonstrate the historical continuity and geographical influence of Turkic civilisation.

Keywords: historical maps, Central Asia, Kazakhstan, turkic toponyms, research.

Е.Д. Исаков^{1*}, Ж.С. Низаматдинова^{1,2}, Қ. Жоя³

¹Абай атындағы Қазақ ұлттық педагогикалық университеті, Алматы, Қазақстан

²Есенов университеті, Ақтау, Қазақстан

³Қазақ ұлттық қыздар педагогикалық университеті, Алматы, Қазақстан

*e-mail: erlan.issakov@gmail.com

Ортағасырлық тарихи карталардағы Орталық Азия мен Қазақстанның түркі топонимдерін зерттеу

Орталық Азия мен Қазақстан аумағының тарихи карталары – аймақтың саяси, этнографиялық және мәдени даму динамикасын зерттеуде маңызды дереккөзі болып табылады. XX ғасырдың басынан бері картографиялық зерттеулер көбіне Еуразияның солтүстік және орталық бөліктеріне, сондай-ақ Орталық Азияның көшпелі тайпалар мен қала-мемлекеттер орналасқан кеңістігіне назар аударды. Алайда тарихи карталардағы түркі топонимдерін жан-жақты талдау, олардың шығу тегін, трансформациясын және географиялық орналасуын зерттеу әлі де өзекті мәселе болып табылады. Зерттеу мақсаты – тарихи карталардағы Орталық Азия мен Қазақстанның түркі топонимдерін зерттеу болды. Зерттеу әдістері ретінде картографиялық талдау, тарихи-географиялық салыстырмалы зерттеу, гидронимдік және оронимдік деректерді тарихи дереккөздермен сәйкестендіру қолданылды. Сондай-ақ карталардағы саяси, этникалық және әкімшілік белгілердің трансформациясын талдау арқылы топонимдердің тарихи маңызы мен қолданылу ерекшеліктері қарастырылды. Зерттеу нәтижесінде 11 тарихи картаға талдау жасалды, олардың ішінен «ASIA noviter delineata», «La Grande Tartarie», «Imperium Timuri Begi vel Tamerlanis», «Tartariae Sive Magni Chami Regni typus» және «Nieuwe Caart van de Caspische Zee, met alle desselfs Riviere, Eylanden en Dieptens» атты карталарда түркі топонимдері көп екендігі анықталды. Аталған карталарда Түркістан, Дешті Қыпшақ, Сырдария, Амудария, Самарқанд, Бұхара, Баласағұн, Қазақ

топонимдері көп кездесті. Сонымен қатар, карталарда гидронимдер, таулы жүйелер, өзендер мен сауда жолдары, қалалар мен бекіністердің орналасуы нақты көрсетілгендігіне көз жеткіздік. Осылайша, зерттеу нәтижесінде іріктелген ортағасырлық карталар Орталық Азия мен Қазақстанның түркі топонимдерін зерттеу үшін құнды материал болып табылады, әрі оларды қазіргі картографиялық, этнографиялық және тарихи зерттеулерде, сондай-ақ білім беру саласында пайдалану өте маңызды. Осылайша, топонимдердің трансформациясын талдау тарихи сабақтастық пен түркі өркениетінің кеңістіктік ықпалын көрсетуге мүмкіндік береді.

Түйін сөздер: тарихи карталар, Орталық Азия, Қазақстан, түркі топонимдері, зерттеу.

Е.Д. Исаков^{1*}, Ж.С. Низаматдинова^{1,2}, К. Жоя³

¹Казахский национальный педагогический университет имени Абая, Алматы, Казахстан

²Университет Есенова, Актау, Казахстан

³Казахский национальный женский педагогический университет, Алматы, Казахстан

*e-mail: erlan.issakov@gmail.com

Исследование тюркских топонимов Центральной Азии и Казахстана на средневековых исторических картах

Исторические карты Центральной Азии и территории Казахстана являются важнейшим источником для изучения динамики политического, этнографического и культурного развития региона. Начиная с начала XX века картографические исследования в основном сосредоточивались на северных и центральных регионах Евразии, а также на Центральной Азии, где проживают кочевые народы и расположены город-государства. Тем не менее, тщательное изучение тюркских географических названий на исторических картах, а также исследование их происхождения, развития и географического распространения по-прежнему остаются актуальной задачей. Целью исследования было изучение тюркских географических названий в Центральной Азии и Казахстане, представленных на исторических картах. В качестве методов исследования использовались картографический анализ, историко-географическое сравнительное исследование, а также сопоставление гидронимных и оронимных данных с историческими источниками. В рамках исследования также были рассмотрены историческое значение и использование географических названий путем анализа изменений политических, этнических и административных характеристик на картах. В ходе исследования было проанализировано 11 исторических карт, на которых было выявлено множество тюркских географических названий, представленных на приведенных ниже картах: «ASIA noviter delineata», «La Grande Tartarie», «Imperium Timuri Begi vel Tamerlanis», «Tartariae Sive Magni Chami Regni typus» и «Nieuwe Caart van de Caspische Zee, met alle desselfs Riviere, Eylanden en Dieptens». В частности, на картах наиболее часто встречаются такие важные тюркские географические названия, как «Туркестан», «Дешт-Кипчак», «Сырдарья», «Амударья», «Самарканд», «Бухара», «Балашагун», «Казахская степь» и другие. Кроме того, мы позаботились о том, чтобы на картах были четко обозначены водотоки, горные хребты, реки и торговые пути, а также расположение городов и укреплений. Таким образом, средневековые карты, отобранные для данного исследования, представляют собой ценный материал для изучения тюркских географических названий в Центральной Азии и Казахстане, а их использование имеет большое значение для современных картографических, этнографических и исторических исследований, а также в сфере образования. Соответственно, анализ эволюции географических названий позволяет продемонстрировать историческую преемственность и географическое влияние тюркской цивилизации.

Ключевые слова: исторические карты, Центральная Азия, Казахстан, тюркские топонимы, исследования.

Introduction

The region of Central Asia and Kazakhstan is one of the oldest cradles of human civilisation. Over the millennia, Turkic, Iranian, Arab, Chinese, Mongolian and European cultures have intertwined in this region, whilst political, economic and spiritual processes have unfolded continuously. Ancient maps are among the most important records of these historical movements (Nurdauletova et al., 2025). Maps are not merely tools for geographical orienta-

tion, but also sources that preserve the worldview, political interests, scientific achievements and cultural memory of a particular era. The geographical names on a map are particularly significant as historical data (Abdualiuly, 2022). It is therefore important not only to examine maps from a geographical perspective, but also to explore their significance as historical documents.

Historical sources note that, due to a growing interest in exploring and settling new lands, the study of geographical names came to be regarded as a spe-

cialised field. In particular, the study of geographical nomenclature developed into a branch of historical geography (Smagulov & Kumekov, 2022). Therefore, travellers, geographers and even traders, who recorded the names of the countries and geographical features they encountered on paper and subsequently on maps, contributed to the development of the science of toponymy. As a result, many different types of maps have emerged around the world, and hand-drawn outline sketches were once the simplest form of these.

Early toponymy sought to explain the mystery behind a particular place name through mythological events and involved a detailed analysis based on the location and nature of the geographical feature. The toponymic information of that time consisted of fascinating details stemming from people's curiosity about a particular area, land or water (Abdualiyuly, 2021). The philosophers and thinkers of the early era—Democritus, Plato and Aristotle—theyself studied the origins of the Earth, as well as the origins of the names found on Earth. Meanwhile, Pomponius Mela was the first to attempt to define the boundaries of the Lusitanian and Celtic regions of his homeland, using place names as a tool for scholarly research by examining which place names belonged to the Celtic or Lusitanian languages.

In this regard, when listing Turkic place-names in Central Asia and Kazakhstan, M. Kashgari's work «Divān luqāt-at-Turk» may be cited as the first example of a scholarly analysis of etymology. This study examines the settlement patterns of the Turkic peoples of that era, their traditions, origins, linguistic characteristics, tribal structures, kinship terms, ethnonyms and toponyms common to Turkic peoples, titles, geographical terms, and the names of plants, animals, diseases, and the medicines they required, as well as legends and riddles, proverbs and sayings associated with Turkic history, as well as the names of cities, places, rivers and mountains in Turkic lands, including their geographical location, etymology and how they are used in the language of the Turkic tribe (Kosybayev & Adilov, 2025).

From a geographical perspective, Mahmud Kashgari's 'circular map', which has survived in manuscript form, is of immense value. Mahmud Kashgari's map is unique in that Kashgaria, Zhetysay and the city of Balasagun are situated at its centre. It is also distinguished by the concentration of cities and regions around Issyk-Kul, its unusual orientation (north-east at the top, south-west at the bottom) and its similarities with ancient Turkic writings.

Furthermore, the works of the 12th-century geographer Al-Idrisi contain a number of important details about the Kazakh lands. His work «Nuzhat al-Mushtak» contains information about the Shu-Ili Mountains; it states that the town of Demirtag is situated in the foothills, and that to the east lies a semi-desert. The scholar describes the lower course of the Syr Darya River and the area around the Aral Sea as the homeland of the leaders of the Oguz tribes. Al-Idrisi's map, entitled 'Surat al-Ard', depicts the Karluk people, who inhabited the Ili Valley between Lake Issyk-Kul and Lake Balkhash, as well as the Kimak people, who settled in the Alakol Basin.

Thus, such historical maps are of immense importance as a source of place names, historical data and spelling conventions. The purpose of this study was therefore to examine Turkic place-names in Central Asia and Kazakhstan as depicted on historical maps. The work began with a review of ancient historical maps held in libraries and collections around the world, following which the necessary maps were copied. Turkic toponyms on selected historical maps were analysed using a method involving description, analysis and comparison. This study provides an important information base for fields such as historical geography, ethnotoponymy and Turkology. Studying the toponyms on ancient maps will enable us to reinterpret the historical landscape of Central Asia and Kazakhstan and reconstruct the geographical framework of the ancient Turkic worldview.

Materials and methods

Turkic toponyms are geographical names derived from Turkic languages; these names are used to describe various geographical features, such as cities, towns, rivers, mountains and regions (Laishanov et al., 2025). Ancient Turkic toponyms in Central Asia and Kazakhstan, as reflected in the names of land and water features recorded on maps, help to identify the historical settlement patterns, political confederations, trade routes and cultural influence of the Turkic peoples (Nurdauletova & Aliaskarov, 2025). Some examples of Turkic toponyms include the cities of Ankara (Turkey), Tashkent (Uzbekistan) and Almaty. These names often reflect the history, culture and language of the Turkic peoples who have lived in this region.

Among the rich legacy of Arab geographers, a collection of maps featuring geographical names from Central Asia and Kazakhstan has been preserved to this day. The cartographic representation

of Arab maps differs from others in that they do not feature degree grids. Nevertheless, Arabic maps have played a huge role in the history of our understanding of Central Asia and Kazakhstan. In this regard, it is worth mentioning the world map (10th century) compiled by al-Istakhri and Ibn Hawqal, rather than the giant map. On the map, geographical features are depicted as geometric shapes. The Caspian Sea is connected to the Volga River and is drawn in the shape of a jug. This is how the territory of Central Asia and Kazakhstan is represented. Ibn Hawqal produced an independent map of Mawaran-nahr (Central Asia). The Arab traveller Ibn Hawqal described the city of Biskent, located in the area of the Shash. It is thought that this corresponds to the modern-day town of Piskent, which was situated in the valley of the Arys River. 'Here gathered the tribes of the Turkic peoples, the Guz and the Karluk, who are now followers of Islam,' wrote Ibn Hawqal. The traveller, who had travelled extensively through the land of the Karluk, notes that 'it even took him 30 days to travel from west to east across the territory inhabited by the Karluk' (Abulgaziev, 2022; Ilyasova & Nogaibaeva, 2023).

In this regard, given that valuable information on historical toponyms can be obtained by studying old maps, we have embarked on this study. The research began with a search for and selection of historical maps featuring toponyms from Central Asia and Kazakhstan; a review of the selected maps was carried out, and their locations in libraries and collections around the world were identified. Special research trips were organised to the British Library (England), and to libraries and archives in Istanbul (Turkey), Cairo and Alexandria (Egypt), and St Petersburg (Russia) to study ancient historical maps. In addition, the selected historical maps were thoroughly examined using methods of analysis, description and comparison. In studying historical maps, digital maps from the following digital libraries and online resources were also used: Charles University Digital Resources Platform (Czech Republic); David Ramsay's collection of historical maps; The American Geographical Society Library's collection of digital maps; 'DrevLit. Ru' – an online library of ancient manuscripts; Wikimedia Commons; Barry Lawrence Ruderman's map collection; McMaster University Library's digital archive; Princeton University Library; The 'OldMapsOnline' platform featuring historical maps from around the world; Hong Kong University of Science and Technology Library; the National

Library of Australia's map collection; The University of Bern Library, the Reichner Collection; the digital collections of the University of Wisconsin-Milwaukee; The old maps website Geographicus; The 'GeoPortOst' portal for thematic and secret maps of Eastern and South-Eastern Europe; the Archive.org website.

This study was carried out in accordance with the schedule of the targeted programme project «BR24993043-Ancient Turkic toponyms in sources from China and other Eastern countries: A foundation for modern Turkic integration: historical-etymological, linguistic vision», funded by a grant from the Ministry of Science and Higher Education of the Republic of Kazakhstan. The study examined Turkic toponyms that historically and geopolitically underpin the development of integration among Turkic-speaking countries. This study is a collection of key sources in the fields of historical geography, ethnotoponymy and Turkology. A methodological examination of geographical names on ancient maps paves the way for a reinterpretation of the historical landscape of Central Asia and Kazakhstan, as well as for the reconstruction of the geographical foundations of the ancient Turkic worldview.

Results and discussion

The research resulted in the selection of medieval maps that pave the way for a reinterpretation of the historical landscape of Central Asia and Kazakhstan, and for the reconstruction of the geographical framework of the ancient Turkic worldview:

This is the first map, a *Map of the crusade to the East* (张十字军东侵地图). This map, which is currently held in the collection of the National Museum of China, is an important source reflecting medieval concepts of space, and its content is primarily intended to illustrate the routes of the Crusades. The map is of a generalised nature, and major mountain ranges, such as the Pamir Mountains, are shown only as stylised outlines, which merely indicate their influence on the region's climate and transport networks. The Syr Darya and Amu Darya rivers are visible within the hydrographic features. Nonetheless, although certain segments of the Silk Road network are illustrated in the outline of the general transport system, the specific paths and commercial dealings are not entirely shown. Overall, the map illustrates the natural, cultural and economic characteristics of Central Asia, with a particular focus on the military-historical context (Figure 1).

Figure 1

Map of the crusade to the East (Map of the crusade to the East (张十字军东侵地图))



The second map, *Map of Asia in the 13th–14th centuries* (13-14 世纪左右的亚洲地图). It is an important source that illustrates the political and geographical landscape of Asia during the 13th and 14th centuries, with a focus on the Mongol Empire and the Timurid Empire. Boundaries of the Mongol Empire, shown in orange, stretched eastwards to the Korean Peninsula and westwards to Eastern Europe, covering the largest territory in its entire history. The Timurid territories, shown in green, encompassed the regions of Transoxiana, Persia and Mesopotamia and were regarded as one of the major political powers of the 14th century. This map contains chronological references relating to the years 1218, 1227, 1370 and 1398, and is intended to illustrate the stages of the region's political development. Furthermore, the map highlights such important cities as Samarkand, Baghdad, Delhi and the capital of the Yuan dynasty in what is now Beijing, reflecting their role as political, economic and cultural centres. The geographical objects mentioned include the Himalayas, the Kunlun Mountains, and the Ganges and Indus rivers, which allows us to trace the interconnection between the natural environment and political structures. Overall, the map is drawn in the traditional Chinese cartographic style and systematically reflects the complex political structure and spatial connections in Asia (Figure 2).

Figure 2

Map of Asia in the 13th–14th centuries (Map of Asia in the 13th–14th centuries / 13-14 世纪左右的亚洲地图)



The third map, the *map of the Great Ming Empire* (大明混一图). The Combined Map of the Great Ming (1389) is an important historical source that clearly illustrates the cartographic traditions of the Ming era; on it, the territory of the Ming dynasty is depicted as the geographical centre. In addition to Asia, the map shows the general outlines of parts of Africa, Europe and the Americas, which gives an idea of how well the world was known at that time. One of the key features of the map is the inclusion of extensive annotated information presented in Chinese characters, which provides detailed descriptions of geographical names and administrative units. Thanks to surviving ancient ethnonyms such as 'Kanzhu' and 'Yanzhai', particularly in Central Asia, we are able to reconstruct the historical and geographical distribution of the tribes in this region. Rather than providing precise geographical coordinates, these names are intended to indicate the approximate locations and spatial relationships between the tribes. In addition, the map also contains political and ideological elements, depicting the state of Ming itself as the centre of the world. The map is drawn in the traditional Chinese style, in which mountains, rivers and cities are depicted using symbols and patterns. As such, this work combines historical geography, political ideology and the art of cartography (Figure 3).

Figure 3

Map of the Great Ming Empire (Map of the great Ming Empire, 1389)



Fourth map, *Tartariae Sive Magni Chami Regni typus*. 'Tartariae Sive Magni Chami Regni Typus' is a 16th-century cartographic work compiled by Abraham Ortelius, in which the regions of North and Central Asia are depicted in accordance with European conceptions of geography. The meaning of the map is revealed through the concept of Tartaria as a single geopolitical space comprising Moscow, Siberia, Turkestan, and the regions bordering China and Japan. Using the concept of the 'Great Khan's state', the map provides a generalised representation of the Mongol Empire and the territories of its historical successors, reflecting the influence of European ideas within the tradition of Marco Polo. In this context, the toponyms were used on the map not merely as geographical names, but also as a reflection of a particular historical and cultural perspective. The area covers the territory from the Volga and the Caspian Sea in the west to the Pacific Ocean in the east, and from the Arctic in the north to India and Persia in the south. At the same time, the map's accuracy is limited: regions such as Korea and Kamchatka are not shown on it, and North America is roughly placed next to Asia. The

map thus clearly illustrates the level of geographical knowledge in 16th-century Europe, the diversity of sources, and the symbolic perception of historical space (Figure 4).

Figure 4

Map of the Tartariae Sive Magni Chami Regni typus (Ortelius, 1592)



The fifth map, *a complete map of all the countries in the world* (坤輿万国全图). This map, a collaborative work by Ricci Matteo and Li Zhi-Cao created in 1602, provides a comprehensive cartographic representation of the world during the Ming dynasty. This map, made on coloured silk, systematically depicts the five continents and four oceans, as well as numerous countries, regions and major cities, reflecting the level of geographical knowledge at that time. The map illustrates the geopolitical fragmentation of the region and the system of city-states; the data on Central Asia highlights centres such as Samarkand, Gerat and Andijan. From a hydrographic perspective, the text provides detailed descriptions of the Amu Darya and Syr Darya rivers, specifying their sources, and highlights their role in transport and the local economy, as well as providing natural and economic characteristics of the Aral and Caspian Seas. The Pamir, Tien Shan and Himalayas stand out among the mountain ranges, reflecting their role as natural boundaries. The map will also show the routes of the Great Silk Road and the steppe trade routes, as well as illustrating the role of trading posts and transit hubs, including the city of Tashkent. In essence, this map is a comprehensive model of the world in the early 17th century, combining geographical data, ethnographic features and trade routes (Figure 5).

Figure 5

A complete map of all the countries in the world (Ricci & Li, 1602)



The sixth map, entitled «*Asia noviter delineata*». *ASIA noviter delineata* is a map of Asia created in the first half of the 17th century by Willem Janszoon Blaeu, depicting the entire continent from west to east. The map shows the Asian continent, divided into major regions such as China, India, Persia, Arabia and Tartary. The term 'Tartaria' is used on the map as a general and conventional geopolitical concept encompassing the northern and central regions of Eurasia, and it is clear that it reflects a European historical and cultural perspective rather than actual national borders. It also includes a map of Japan and Korea and provides a detailed description of the coastal regions and the open seas. Furthermore, particular attention will be paid to key trading and port centres such as Damascus, Jerusalem, Goa, Aden and Macao, and the significance of maritime and continental trade networks will be highlighted. An ornamental map depicting the peoples of Asia from a European perspective, featuring ethnographic illustrations, views of cities and fortifications. As a whole, this publication is an important cartographic work of the 17th century, reflecting the state of

geographical knowledge in Europe, commercial interests and the traditions of artistic representation of space (Figure 6).

Figure 6

Asia noviter delineata (Willem, 1630–1638)



The seventh map, *map of the La Grande Tartarie*. 'La Grande Tartarie' is a 17th-century cartographic work compiled by Nicolas Sanson, in which the northern and central parts of Eurasia are presented as a geopolitical space, summarised under the concept of 'Great Tartary'. On the map, the name 'Tartaria' is used as a conventional designation for a region comprising modern-day Central Asia, Siberia, Mongolia and adjacent territories, reflecting European perceptions of geography at that time. The Syr Darya and Amu Darya stand out as the region's main water systems. At the same time, the mention of cities such as Bukhara, Samarkand and Khiva highlights their role as major commercial and cultural centres along the Great Silk Road. The landscape features include the Caspian and Aral Seas, as well as major mountain ranges known as the Imaus Mountains, which broadly encompass such complex orographic systems as the Pamir-Tian Shan-Hindu-kush. On the whole, the map was not produced as a result of any specific expedition, rather it represents a synthesis of data gathered from various sources and reflects the level of geographical understanding in 17th-century European cartography (Figure 7).

Figure 7*La Grande TarTarie (Nicolas, 1652)***Figure 8***Regno di Persia con le notitie delle Provincie Antiche (Cantelli da Vignola, 1679)*

Eighth map, *Kingdom of Persia with details of the ancient provinces* (Regno di Persia con le notitie delle Provincie Antiche). The map «Regno di Persia con le notitie delle Provincie Antiche» is a 17th-century cartographic work compiled by Giacomo Cantelli da Vignola and published by Giovanni Giacomo de Rossi, which provides a comprehensive depiction of the Persian Empire and the surrounding regions. The map shows the region west of the Black Sea and the eastern part of the Mediterranean Sea, extending northwards to the Caspian Sea and the Volga, eastwards across the Amu Darya basin to the border with India, and southwards to the Persian Gulf and the Arabian Sea. In terms of toponymy, the map is notable for its simultaneous use of names in several languages: for example, the Caspian Sea is labelled 'Mare Caspium', 'Darya' and 'More Hvalynskoe', whilst the Amu Darya is labelled 'Oxus' and 'Jayhun'. Such an approach makes it possible to combine ancient and modern geographical knowledge. The map's content has been supplemented with data from later European travellers, in keeping with the tradition established by Claudius Ptolemy. Artistically, the map makes use of decorative cartouches, symbols and shading techniques to depict the terrain, whilst the representation of the natural and political landscape is of a high standard (Figure 8).

The ninth map, *Showing all the towns, rivers and lands* (Чертеж всех городов и рек и земель). Showing all the towns, rivers and lands—an important cartographic work from the early 18th century, compiled by Semyon Ulyanovich Remezov, which was produced as part of the collection «The Drawing Book of Siberia» and covers the northern and central parts of Eurasia. The map shows the West Siberian, Volga and Ural regions, the Kazakh steppes, and the basins of the Irtysh, Ob and Alsey rivers; it also indicates the territory into which the Russian state expanded eastwards. Within the hydrographic system, the Irtysh, Ishim, Ural and Syrdarya rivers are marked as major transport and economic arteries. The map also uses conventional symbols to indicate orographic features such as the Altai, Ulytau and Karatau ranges. The ethnic-territorial structure is represented by names such as 'Kalmyk Land', 'Bashkir Land' and 'Cossack Land', and these areas correspond to the traditional regions of settlement of the peoples rather than actual administrative boundaries. Cities, fortifications and trade routes are also marked on the map, suggesting that it was drawn up for military-strategic and administrative purposes. Taken as a whole, this work is of particular significance for the study of the historical geography of Kazakhstan and Siberia as an example of early Russian cartography based on field data (Figure 9).

Figure 9*Showing all the towns, rivers and lands (Remezov, 1701)*

The tenth map, *Nieuwe Caart van de Caspische Zee, met alle desselfs Riviere, Eylanden en Dieptens*. The map is a nautical chart produced in Amsterdam in 1720 by Gerard van Keulen, showing the Caspian Sea and its coastal regions in detail. On the map, Astrakhan is shown to the North, Tartaria and Samarkand to the East, Persia to the South, and the Caucasus region (Dagestan, Georgia) to the West. The top of the map features a panoramic view of the city of Astrakhan, whilst the bottom shows miniature images of the cities of Samakh (Shirvan) and Derbent. Toponyms are given in Dutch and are shown in a format suitable for maritime navigation, using the region's hydrographic features, depth contours, bearing lines and compass rose. Van Keulen's map was not based on entirely new surveying work; rather, it combined the measurements taken by Russian expeditions during the reign of Peter I with data from the 17th-century maps by Jan Struijs and Cornelis de Bruijn. Decorative elements on the map—engraved cartouches and mythological imagery—visually convey the region's strategic importance and the need for modern navigation. As a rare cartographic artefact that characterises 18th-century cartographic representations of the Caspian Sea and the Russian Empire's maritime explorations, this map is of great scholarly significance (Figure 10).

Eleventh map, *Imperium Timuri Begi vel Tamerlanis*. *Imperium Timuri Begi vel Tamerlanis* – this is a map drawn in the style of 18th-century European historical and geographical cartography, depicting in detail the vast territory of Tamerlane's empire. Shown on the map are the Black Sea and the Caucasus region to the west, the Persian Gulf and the Arabian Peninsula to the south, the northern parts of India and neighbouring areas of China to the east,

as well as the Desht-Kipchak and Aral-Caspian regions to the north — modern-day Kazakhstan, Uzbekistan, Turkmenistan, Turkey, Iran, Afghanistan, Azerbaijan, Iraq, Syria and the northern territories of India. The names of geographical features are given in Latin, whilst Turkic, Persian and Arabic toponyms are presented in European transcription; the ancient Turkic and Turkicised names on this map clearly demonstrate historical and geographical continuity, as well as the spatial influence of Turkic civilisation (Figure 11).

Figure 10*Nieuwe Caart van de Caspische Zee, met alle desselfs Riviere, Eylanden en Dieptens (van Keulen, 1720)***Figure 11***Imperium Timuri Begi vel Tamerlanis (1730)*

Tamerlane's provinces were marked in different colours, and their political boundaries were defined. The content of the map is based on Persian and Arabic chronicles, the accounts of European ambassadors, medieval Islamic geography, and data from earlier maps. This map was compiled using a compilation method, and although its creation did

not rely solely on data from historical expeditions, its geographical accuracy was ensured. Maps clearly illustrate 18th-century European perceptions and the historical geography of the Turkic world, as well as the political and cultural context of the Kazakh steppe and Central Asia.

Conclusion

Therefore, the data obtained from the study of Turkic toponyms in Central Asia and Kazakhstan on historical maps enables us to gain a comprehensive understanding of the geographical and cultural history of this region. Maps from the 15th to the 18th centuries served not only to mark political boundaries or natural features, but also to depict the traditional habitats of nomadic and sedentary peoples, trade routes, rivers and mountain ranges. For example, the map «*坤輿万国全图*» shows the courses of the Amu Darya and Syr Darya rivers and the locations of city-states, providing a clear illustration of the political and ethnic landscape of Central Asia. The inter-tribal divisions and connections between cities depicted on this map reveal the structure of traditional nomadic society and the importance of trade networks.

European maps from the 17th and 18th centuries – «*ASIA noviter delineata*», «*La Grande Tartarie*», «*Imperium Timuri Begi vel Tamerlanis*» – provide a comprehensive depiction of Central Asia and reflect the geographical, ethnic and cultural characteristics of the Turkic world. These maps feature Old Turkic and Turkicised toponyms such as *Tartaria*, *Desht-i Kipchak*, *Transoxiana*, *Samarkand*, *Bukhara*, *Balasagun* and *Turkestan*, reflecting their historical and geographical continuity and spatial influence. Also marked on the maps are such important geographical features as the Amu Darya (*Oxus* / *Jayhun*), the Syr Darya (*Jaxartes*), the Caspian Sea (*Mare Caspium*) and the regions of *India*, *Persia* and the *Caucasus*. These hydronyms and landscape features reflect the strategic importance of the region's natural barriers and transport routes.

Composite methods used by cartographers, particularly the 18th-century maps by Homann and Remezov, drew on a variety of sources – Persian and Arabic chronicles, the records of European ambassadors, earlier maps and data from expeditions. These maps depicted political boundaries in different colours, whilst towns, fortresses, forests and mountains were represented by specific symbols, clearly reflecting the historical context and ethnic settlement patterns. For example, Remezov's maps depicted the traditional habitats of ethnic groups,

river routes and trade routes covering the Kazakh steppes, as well as northern and central Siberia.

In conclusion, medieval historical maps are an important source for the study of Turkic place names. They illustrate not only geographical locations but also the ethnographic, cultural and political context. The hydronyms, toponyms, and regional names in the Turkic languages demonstrate historical continuity and enable us to reconstruct the spatial history of modern Kazakhstan and Central Asia. With the help of these maps, researchers can identify links between nomadic tribes, city-states, trade routes and natural barriers. Furthermore, the decorative style of European cartography, the Latin and transliterated forms of geographical names, and the political and administrative divisions help to reflect the international context of the region's history. Medieval historical maps thus form the basis for the study of Turkic toponyms in Central Asia and Kazakhstan, covering not only geographical but also cultural, ethnographic and political aspects. They provide scientifically and methodologically valuable information for contemporary cartographic and historical research.

Acknowledgment

This research was supported by the Committee of Science of the Ministry of Science and Higher Education of the Republic of Kazakhstan under the financial support of the project BR24993043-Ancient Turkic toponyms in sources from China and other Eastern countries: A foundation for modern Turkic integration: historical-etymological, linguistic vision.

Conflict of interest

The authors declare that there is no conflict of interest.

Author Contributions:

«Conceptualization, Y. D. Issakov and Zh. S. Nizamatinova; Methodology, Y. D. Issakov; Software, Zh. S. Nizamatinova; Validation, Y. D. Issakov and K. Zhoya; Formal Analysis, Zh. S. Nizamatinova; Investigation, K. Zhoya; Resources, Y. D. Issakov; Data Curation, Zh. S. Nizamatinova; Writing – Original Draft Preparation, Y. D. Issakov; Writing – Review & Editing, Y. D. Issakov; Visualization, Zh. S. Nizamatinova; Supervision, Y. D. Issakov; Project Administration, Y. D. Issakov; Funding Acquisition, Zh. S. Nizamatinova»

References

- Abdualiuly, B. (2022). Geographical and cartographic methods of toponymic research. *Bulletin of LN Gumilyov Eurasian National University. Philology Series*, 139(2), 100-111. <https://doi.org/10.32523/2616-678X-2022-139-2-100-111>
- Abdualiuly, B. (2021). Linguo-geographical dynamics of orographic terms. *Bulletin of Yassawi University*, 3(121). – 26–38. <https://doi.org/10.47526/habarshy.v3i121.732>
- Abulgaziev, A. U. (2022). Historical and geographical studies of the Kazakh land by Arab states of the IX-X centuries. *Bulletin of KazNPU named after Abai. Series: Historical and Socio-political Sciences*, 3 (74). <https://doi.org/10.51889/5193.2022.29.25.019>
- Cantelli da Vignola, G. (1679). *Regno di Persia con le notizie delle Provincie Antiche*. Giovanni Giacomo de Rossi is a Roman publisher (the card was printed in De Rossi's workshop). Engraver-German master Giorgio Widman (Georg Widman), Rome.
- Ilyasova, Z. S., & Nogaibaeva, M. S. (2023). The historical geography of the region of the lower and middle reaches of the Syr Darya in the Arabic sources of the IX-XIII centuries. *Journal of History*, 111(4). <https://doi.org/10.26577/JH.2023.v111.i4.06>
- Imperium Timuri Begi vel Tamerlanis. (1730). *The map was created by the heirs of Homan in the European city of Nuremberg*. Compiled by Johann Baptist Homann or his disciples and Printing House.
- Laishkanov, S.U., D. Alaskarov, N.T., Tobajanov, R.T. & Issakov Y. D. (2025). Reflection of physical and geographical features and changes of Kazakhstan in Turkic toponyms. *Geography and water resources*, (2), 121-134. <https://doi.org/10.55764/2957-9856/2025-2-121-134.26>
- Map of the crusade to the East (张十字军东侵地图). On the map, Central Asian regions are depicted with different colors or symbols to indicate the scale of Islamic cultural regions.
- Map of Asia around the 13th-14th centuries (13-14 世纪左右的亚洲地图). This is a map of Asia, dating from about the XII–XIV centuries.
- Map of the great Ming Empire (大明混一图) (1389). The “Combined great Ming map” was created in the twenty-second year of the Hongwu era (1389).
- Nicolas S. (1652). *La Grande TarTarie*
- Nurdauletova, B. I., Nizamatinova, Z.S., Aliaskarov, D. T., Laishkanov, S.U., Issakov, Y. D., Zhoya, K. *Turkic toponyms on historical maps (map catalog)*. Almaty: publishing house Turan, 2025 – 80 pp.
- Nurdauletova, B. I., & Aliaskarov, D. (2025). Ancient Turkic toponyms in the semirechye region. *Yessenov science journal*, 50(1), 110-118. <https://doi.org/10.56525/TZAR2070>
- Ortelius, A. (1592). *Tartariae Sive Magni Regni Typus*. Antwerpen: Plantin Press.
- Qosybaev, M., & Adilov, M. (2025). Reflection in the modern Kazakh language of the linguistic elements referred to as Kipchaks in the monument “Diwani lugat it-Turk”. *Bulletin of LN Gumilyov Eurasian National University, Series: Political Science. Regionovedenie. Turcology*, 150(1), – 288-301. <https://doi.org/10.32523/2616-6887/2025-150-1-288-301>
- Remezov S. U. (1701). *Showing all the towns, rivers and lands*. Siberia.
- Ricci, M. & Li, Z.C. (1602). *A complete map of all the countries in the world (坤輿万国全图)*. Created during the reign of Emperor Shengzong of the Ming Dynasty.
- Smagulov, D. C., & Kumekov, B. E. (2022). Some historical geographical problems in the scientific heritage of Academician B. V. Barthold. *Bulletin of the Karaganda university History. Philosophy series*, 106(2), 161-169. <https://doi.org/10.31489/2022hph2/161-169>
- van Keulen, G. D. (1720). *Nieuwe Caart van de Caspische Zee, met alle desselfs Riviere, Eylanden en Dieptens*, Amsterdam. In de Gekroonde Lootsman publishing house.
- Willem, J. B. (1630–1638). *ASIA noviter delineata. The map was prepared in the first half of the seventeenth century, and from 1630 to 1638 a separate sheet was used as a map*. Amsterdam, Chez Iean Blaeu.

Information about the authors:

Issakov Yerlan – PhD, acting associate professor, Abai Kazakh National Pedagogical University (Almaty Kazakhstan, e-mail: erlan.issakov@gmail.com).

Nizamatinova Zhulduz – master, senior lecturer, Abai Kazakh National Pedagogical University (Almaty Kazakhstan); Yessenov University (Aktau, Kazakhstan, e-mail: zhulduzskah@mail.ru).

Zhoya Kairat – PhD, senior lecturer, Kazakh National Women's Teacher Training University (Almaty Kazakhstan, e-mail: hairat.altai@mail.ru).

Авторлар туралы мәлімет:

Исаков Ерлан Дуйсенбекович – PhD, қауымдастырылған профессор міндетін атқарушы, Абай атындағы Қазақ ұлттық педагогикалық университеті (Алматы, Қазақстан, e-mail: erlan.issakov@gmail.com).

Низаматдинова Жұлдыз Скаковна – магистр, аға оқытушы, Абай атындағы Қазақ ұлттық педагогикалық университеті (Алматы қ. Қазақстан); Есенов университеті (Ақтау, Қазақстан, e-mail: zhulduzskah@mail.ru).

Жоя Қайрат – PhD, аға оқытушы, Қазақ ұлттық қыздар педагогикалық университеті (Алматы, Қазақстан, e-mail: hairat.altai@mail.ru).

Сведения об авторах:

Исаков Ерлан Дуйсенбекович – PhD, исполняющий обязанности ассоциированного профессора, Казахский национальный педагогический университет имени Абая (Алматы, Казахстан, e-mail: erlan.issakov@gmail.com).

Низаматдинова Жұлдыз Скаковна – магистр, старший преподаватель, Казахский национальный педагогический университет имени Абая (Алматы, Казахстан); Университет Есенова (Ақтау, Казахстан, e-mail: zhulduzskah@mail.ru).

Жоя Кайрат – PhD, старший преподаватель, Казахский национальный женский педагогический университет (Алматы, Казахстан, e-mail: hairat.altai@mail.ru).

Received: March 03, 2026

Accepted: June 15, 2026

Н.С. Сиханова , Е.А. Шынбергенов* ,

Б.Т. Кенжалиева 

Қорқыт Ата атындағы Қызылорда университеті, Қызылорда, Қазақстан

*e-mail: shynbergenov.erlan@mail.ru

ЖЕЛ ЭРОЗИЯСЫН БОЛЖАУ МЕН БАҚЫЛАУДЫҢ ӘДІСТЕРІНЕ ШОЛУ

Мақалада топырақтың жел эрозиясын болжау мен бақылаудың қолданыстағы әдістері бағыты бойынша әлемдік ғылыми әдебиеттерге шолу жасалған. Әдебиеттерді талдау барысында басым көпшілігі шөлді және шөлейтті аймақтардағы жел эрозиясын кеңістік пен уақыт аралығында негіздеуге арналғандығы анықталды. Қазіргі таңда әлемде аталған мәселені зерттеудің келесі түрлері таралған: көзбен бағалау, микронивелирлеу, фотограмметриялық, Cs^{137} және қашықтықтан бақылау арқылы үлгілеу әдісі. Әр әдістің қысқаша сипаттамасы, артықшылықтары мен кемшіліктері, сонымен қатар қолданудың шарттары мен шектеулері келтірілген. Белгілі бір әдісті таңдау барысында бақылау жүргізу шарттарын, көзделген аймақтың ауданы мен зерттеу жүргізу масштабын, уақыт шеңберін, қаржылай және еңбек қорын ескеру қажет. Қазақстан Республикасының жер көлемінің үлкендігін және жел эрозиясына бейім жерлердің едәуір мөлшерде екендігін ескеріп, өзекті, экономикалық тұрғыдан негізделген және келешегі бар әдіс ретінде қашықтықтан зондау ұсынылады. Белгіленген әдіс әртүрлі масштабта мониторинг жүргізуге, эрозиялық белсенділікті бағалап қоймай, оны болжауға мүмкіндік береді, осылайша жел эрозиясымен күресуге және салдарын жоюға, сонымен қатар алдын-алу шараларын ұйымдастыруға бағытталған дұрыс, жедел және дер кезіндегі шаруашылық-экономикалық шешімдерді қабылдауға ақпарат ұсынады. Аталған әдістің тиімділігін арттыру үшін деректер қорын жасап, топырақ туралы ақпаратты жинақтау және кеңейту қажет, ол жер серіктерінен алынған деректерді тексеруге, нақтылауға, өңдеуге және калибрлеуге мүмкіндік береді.

Түйін сөздер: топырақ дефляциясы, жер серіктік мониторинг, топырақтың азуы, топырақты зерттеу әдістері.

N.S. Sihanova, Y.A. Shynbergenov*, B.T. Kenzhalieva

Korkyt Ata Kyzylorda University, Kyzylorda, Kazakhstan

*e-mail: shynbergenov.erlan@mail.ru

Review of methods for prediction and control of wind erosion

The article presents a review of the world scientific literature in the area of existing methods for predicting and controlling soil erosion. The literature analysis carried out showed that the vast majority of publications are aimed at spatio-temporal justification of wind erosion in desert and semi-desert regions. Currently, the following types of studies of this problem are common in the world: visual assessment, microlevelling, photogrammetric, Cs^{137} and remote sensing modeling methods. A brief description of each method, advantages and disadvantages, as well as conditions and limitations of use are given. When choosing a particular method, it is necessary to take into account the monitoring conditions, the area of the territory under consideration and the scale of the study, time frame, financial and labor resources. Considering the significant area of the Republic of Kazakhstan and a significant number of places subject to wind erosion, remote sensing is recommended as a relevant, economically feasible and promising method. This method allows monitoring on various scales, not only assessing erosion activity, but also predicting it, thereby providing information for making correct, prompt and timely economic decisions aimed at combating wind erosion and eliminating the consequences, as well as organizing preventive events. To improve the effectiveness of this method, it is necessary to create a database, collect and expand information about the soil, which will allow checking, clarifying, processing and calibrating satellite data.

Keywords: soil deflation, RS monitoring, soil degradation, soil research methods.

Н.С. Сиханова, Е.А. Шынбергеннов*, Б.Т. Кенжалиева
Кызылординский университет имени Коркыт Ата, Кызылорда, Казахстан
*e-mail: shynbergenov.erlan@mail.ru

Обзор методов прогнозирования и контроля ветровой эрозии

В статье представлен обзор мировой научной литературы по направлению существующих методов прогнозирования и контроля эрозии почв. Проведенный литературный анализ показал, что подавляющее большинство публикации направлены пространственно-временному обоснованию ветровой эрозии в пустынных и полупустынных регионах. В настоящее время в мире распространены следующие виды исследований данной проблемы: визуальная оценка, микронивелирование, фотограмметрический, Cs^{137} и метод моделирования с помощью дистанционного зондирования. Дается краткое описание каждого метода, преимущества и недостатки, а также условия проведения мониторинга, площадь рассматриваемой территории и масштабы проведения исследования, временные рамки, финансовые и трудовые ресурсы. Учитывая существенную площадь Республики Казахстан и значительное количество мест, подверженных ветровой эрозии, в качестве актуального, экономически обоснованного и перспективного метода рекомендуется дистанционное зондирование. Указанный метод позволяет производить мониторинг в различных масштабах, не только оценивать эрозионную активность, но и прогнозировать ее, тем самым предоставляя информацию для принятия правильных, оперативных и своевременных хозяйственно-экономических решений, направленных на борьбу с ветровой эрозией и ликвидацию последствий, а также организацию профилактических мероприятий. Для повышения эффективности данного метода необходимо создать базу данных, собрать и расширить информацию о почве, что позволит проверять, уточнять, обрабатывать и калибровать данные со спутников.

Ключевые слова: дефляция почвы, спутниковый мониторинг, деградация почвы, методы почвенных исследований.

Кіріспе

Қазіргі таңда топырақ эрозиясы – уақытша су ағындарының беттік ағымы мен желдің әсерінен бір-бірімен байланысты топырақ бөлшектерінің жер бетінен үзіліп, тасымалданып, жиналу үдерісінің жиынтығы деп түсіндіріледі. Дефляция (жел эрозиясы) – борпылдақ топырақ бөлшектерінің желдің әсерімен негізгі субстраттан үзіліп, тасымалдануы (Ларионов, 1993). Топырақтың жел эрозиясы құбылысы қатты және газтәрізді ортаның (топырақ пен ауаның) шекарасында пайда болып, Жердің бетіндегі атмосфераның төменгі қабатында дамып, жер, су немесе топырақ бетінде аяқталады (Гендугов & Глазунов, 2007; Duniway et al. 2019). Аридті және семиаридті аймақтарда тұздардың сулы ерітінділерінің ағындары және атмосфераның беткі қабаты мен құмның, шаңның, тұздардың және аэрозолдің эолдық ағындары жиі кездеседі (Бельгибаев, 2016).

Топырақ эрозиясын, себебі мен салдарын, оны жою шараларын зерттеудің халық шаруашылық және ғылыми мәні зор. Топырақ эрозиясы – адам әрекеті нәтижесінде едәуір күшейетін және халық шаруашылығына алапат залал келтіретін үздіксіз үдеріс (Кузнецов & Глазунов, 2020).

Жел эрозиясының топыраққа әсер ету механизмі сан алуан. Атап айтқанда, топырақтың өнімді қабатының желмен үрленуі барысында жалпы өнімділіктің азаюы, топырақтың көшуі нәтижесінде егістік ауданының қысқаруы, сорлардың беті мен тау жыныстары үйіндісінен желмен үрленіп ұшып келген уытты тұздармен ауылшаруашылығы алқаптары топырақтарының зиянды заттармен ластануы, егіннің жапырақтары бетінің шаңмен ластануы барысында фотосинтездің төмендеуі. Мұнан бөлек, жел эрозиясы ауаның шаңмен қанығуының басты себепкері болып табылады, мәселенің ушыққандығы сонша топырақ шаңы атмосфераның төменгі қабатын түмшалап, планетаның жылулық теңгеріміне әсер ете алады (Гендугов & Глазунов, 2020, р. 387).

Жер серігінен түсірілген жоғары және өте жоғары дәлдіктегі суреттерді талдау барысында жел эрозиясының шекті көрінісі – шаңды дауылдар барлық топырақ-климаттық белдеулерде, тіпті арктикалықта да, пайда болатыны анықталды, әсіресе жиі, әрі тұрақты түрде Солтүстік жарты шардың шаңды белдеуі, Солтүстік Африканың батыс мүйісінен, Таяу және Орта Шығыс, Орталық және Оңтүстік Азия арқылы, Қытайға дейінгі аралықта кездеседі.

Шаңды (қара) дауылдар топырақтың беткі қабатын жылдам жойып, оны жүздеген ша-

қырым жерлерге үрлеп алып кетеді. Мәселен, алыс және жақын шетелдерде орын алған төтенше жағдайлардан 1930 жылдары Солтүстік Америкада орын алған орасан күшті шаңды дауыл салдарынан аймақта егістіктің едәуір бөлігіне залал келтіріліп, елдің әлеуметтік-экономикалық жағдайы ауыр жағдайға түсті. Сонымен қатар мұндай алапат масштабтағы құм мен шаң аралас желдер Қытайдың орталығындағы Хуанхэ және Янцзы өзендері алаптарындағы лесссті топырақты аймақтарда, Африканың солтүстігіндегі Сахара шөлінде жиі болып тұрады. Жалпы әлемде топырақ эрозиясын зерттеуге арналған ұлттық деңгейдегі бағдарламалар өте аз, олар АҚШ қорларды Ұлттық түгендеу және Қытай топырақ және су қорларын зерттеу Ұлттық бағдарламасы. Еліміздің және Кеңес үкіметі тұсында орын алған оқиғалардан, XX ғасырдың 50-ші жылдарында тың игеру барысында Қазақстан мен Ресейдің Алтай өлкесінің даласын аудара жырту технологиясы пайдаланылды (Ларионов, 1993, р. 200). Егінді егіп болғаннан кейін батыстан келген жойқын күшті жел өнімді топырақтың едәуір бөлігін алып кеткен. Қазақстан мен Алтай даласының шаңы Красноярск өлкесінен де табылды.

Әдеби шолу

Қазақстан Республикасында топырақтың жел эрозиясы 25.5 млн. га аумақта өрбиді (Almaganbetov & Grigoruk, 2008). Эолдық үдерістер үлкен кеңістікті қамтыған құмды аймақтарда жеделдетілген қарқынмен дамиды: Қызылорда облысындағы Арал маңы Қарақұмдары мен Қызылқұм, Түркістан және Жамбыл облыстарындағы Мойынқұм және Бетпақдала, Ақтөбе облысындағы Үлкен және Кіші Борсық құмдары, Жетісу және Алматы облыстарындағы Сарыесік-Атырауқұм, сонымен қатар механикалық құрамы жеңіл және әктасты топырақтар таралған Павлодар облысында байқалады (Saparov, 2014).

ҚР Ұлттық Атласы деректеріне сәйкес, еліміздің орталық, оңтүстік-шығыс, оңтүстік, оңтүстік-батыс аймақтарындағы Ұлытау, Қарағанды, Алматы, Жетісу, Жамбыл, Түркістан, Қызылорда, Ақтөбе, Батыс Қазақстан, Атырау, Маңғыстау облыстарының топырағы жел эрозиясына бейім, орталықта орналасқан Ақмола облысында су және жел эрозиясы бірдей таралған жерлер кездеседі.

Сондықтан республиканың эрозияланған топырақтарын мониторинг жүргізу жалпы мемлекеттік деңгейдегі маңызды және шұғыл сұрақ болып табылады. Ғылыми тұрғыдан алып қарағанда желдің егістік алқаптардағы масса тасымалдау үдерісі қазіргі таңға дейін тым нашар дамыған. Бұл құбылыстың географиясы жалпы түрде анықталған, дегенмен, химиялық заттардың микробөлшектермен егіс даласынан тасымалдануы мен оның бөлшектердің шөгу аймағындағы топырақ өнімділігіне әсері және экологиялық жағдайы тәжірибе жүзінде зерттелмеген (Научные основы..., 2013).

Соңғы жылдары жел эрозиясын зерттеу бағытында жаңа техникалық мүмкіндіктер пайда болуда. Мәселен, топырақты өңдеу барысында немесе эрозия нәтижесінде ауаға көтерілген шаңды тіркеу және қадағалау кезінде лидарлар, күн фотометрлері, фотондар есептегіші; топырақтың желмен жер бетіне жақын қабатпен тасымалдануын зерделеуде – өзіндік есептеу жиілігі жоғары пьезо- және мембраналық есептегіштер, изокинетикалық шаңтұтқыштар; жел эрозиясын физикалық үлгілеуде – жетілдірілген далалық және зертханалық аэродинамикалық қондырғылар қолданылады (Кузнецов & Глазун, 2020). Жел эрозиясын зерттеудің эксперименталды әдістерінің дамуымен бірге аэроғарыштық түсірілімге негізделген қашықтықтан зондылау жүйелері де жетілдірілуде, нәтижесінде топырақтың жел эрозиясы құбылысын үрлеуден бастап жинақталу кезеңіне дейін түгелімен талдауға мүмкіндік беретін мол эксперименталды материал жинақтауға мүмкіндік туындады.

Әдіснама

Зерттеуді жүргізу барысында еліміз бен алыс және жақын шетелде топырақ эрозиясын зерделеуде қалыптасқан әдістер мен тәсілдер сарапталды. Олардың артықшылықтары мен кемшіліктері, ерекшеліктері мен пайда болу себебі сипатталған. Еліміздің физика-географиялық жағдайларына сәйкес келетін әдістер талданған. Классикалық әдістердің пайда болуынан бастап, қазіргі таңдағы жаңа құрылғыларға дейін шолу жүргізілген.

Нәтижелер және талқылау

Эрозиялық және басқа да экзогенді үдерістердің қарқындылығын сандық бағалаудың әдістері 1-кестеде берілген.

1-кесте

Эрозиялық және экзогенді үдерістерді бағалау әдістері

Ерекшелігі	Әдістер тобы	Әдістер түрі
Далалық	Бақылау әдісі	Көзбен шолу
	Қадалар әдісі + трассерлер	түйреуіштер әдісі, сынықтарды бояу әдісі, белгі бергіштер және т.б., сонымен қатар ^{137}Cs , $^{210}\text{Pb}_{\text{ex}}$, ^7Be және т.б.
	Тұтқыштар (қақпандар) әдісі	торлар, шөгіндітұтқыштар, шаңтұтқыштар, табиғи және жасанды суқоймалар
	Топографиялық-геодезиялық	DGPS, Жер бетіндегі фотограмметрия, жер бетін лазерлік сканерлеу, квадрокоптермен бейнелерді түсіру және т.б.
Камералық	Қашықтықтан	аэроғарыштық бейнелер, жер серіктік бақылау, LIDAR және т.б.
	Жел эрозиясын үлгілеу	WEQ, RWEQ, GIS-RWEQ, WEPS, WEELS және т.б.

Ескерту: автор құрастырған

Көзбен шолу

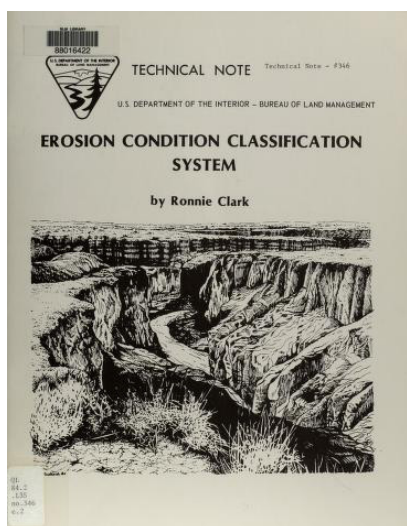
Әдістің негізі топырақтың белгілі бір қасиеттерін көру арқылы сипаттауға бағытталған: эрозиялық негіз, беткі бөлшектердің қозғалысы, түзілімдер, жел екпінінің күші және т.б. Бағалау барысында сәйкес техникалық анықтамалардағы әдістеме қолданылады, орналасқан жері, сонымен қатар экологиялық ауданы есептеледі, эрозия көрсеткішінің іс жүзіндегі мәндері референсті мәндермен салыстырылып, айырмашы-

лығы сәйкес құжатқа тіркеледі. Аталған әдістеме негізінде 1967 жылы АҚШ-да ауданы 160 млн акр жерлердің эрозиялық жағдайы бағаланды. Осы мақсатта зерттеуші далалық жағдайда бағалай алатын және сандық түрде ұсынылып, келешекте бес эрозия класын бөлу барысында негізге алынатын, топырақ бетінің қасиеттеріне негізделген «Эрозиялық жағдайдың Сыныптауышы» (Erosion Condition Classification System) (Clark, 1980) жасалды (1a-сурет).

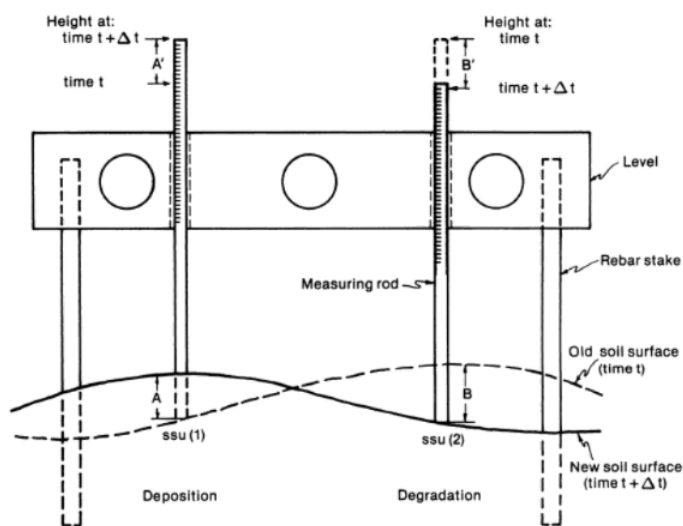
1-сурет

а) Эрозиялық жағдайдың Сыныптауышы (Clark, 1980 мәліметтері бойынша);

б) Эрозиялық көпірдің құрылысы және орналастырылу құрылымы (Blaney & Warrington, 1983 мәліметтері бойынша)



а



б

Ескерту: автор құрастырған

Бұл эрозиялық жағдайдың класын айқындайтын сандық мәндер «топырақ бетінің факторлары» (Soil Surface Factors – SSF) деп аталды және 1-100 аралығында өзгеріп отырды (Clark, 1980; Ypsilantis, 2011).

Артықшылықтары

- салыстырмалы түрде жедел үдеріс;
- далалық зерттеулер барысында бақылау жүргізу мүмкіндігі;
- белгілі бір жерде мониторинг жүргізу қажет ықтимал эрозиялық мәселелер анықталуы мүмкін.

Кемшіліктері

- сарапшының бағалауы мен ойына негізделген субъективтілік;
- тиісті дайындықсыз әртүрлі сарапшылардың сандық бағалауларында (баллдар) айырмашылық болуы мүмкін;
- дауылдың көтерілу сәтіндегі бақылау уақытына байланысты бағалаулар өзгеруі мүмкін;
- экологиялық аудан белгілі болуы тиіс, оған тиісті референсті мәні мен әдістемесі бар техникалық анықтаушы қажет;
- бұл әдістеме тәжірибесі мол, сауатты және білікті маманмен орындалуы мүмкін.

Деректерді талдау

Көзбен шолынған шаманың референсті мәндерден айырмашылығы арнайы қабылданған формаларға тіркеліп отырады. Эталонды мәндерден айырмашылықтар әрбір көрсеткіш бойынша анықталып, қорытынды балл есептеліп шығарылады және зерттеу аймағының тұрақтылығы, оның гидрологиялық қызметі мен биологиялық біркелкілігі сипатталады.

Эрозиялық көпір (түйреуіштер)

Жел эрозиясын далалық жағдайда бағалаудың қолданыста қарапайым, функционалды, жеңіл және арзан құралы. Ол топырақ бетін өте жоғары дәлдікте тегістеуге арналған қада түріндегі тіреу бағандарына қойылған ұзындығы шамамен 120 см алюминий маңдайша немесе құрылысқа арналған деңгейден тұрады. Жер бетінен деңгейге дейінгі ара қашықтық жер беті деңгейіне түсірілген арнайы түйреуіштер көмегімен әрбір деңгейдің ұзына бойында бірдей орналасқан 10 бекітілген нүктемен өлшенеді (16-сурет). Бұл өлшемдер жер беті деңгейінің орташа өзгерісін есептеу үшін қолданылады (Blaney & Warrington, 1983).

Эрозиялық көпірлердің орналасуы мен олардың бағыты зерттеу аймағы ішінде кездей-

соқ таңдалады. Әрбір бақылау нүктесі деректерді енгізу нүктесі ретінде қарастыруға болатындай етіп, GPS көмегімен нақты бекітіледі. Дефляциялық үдерістерді зерттеуші ғалымдардың есептеуі бойынша топырақ деңгейінің 1 миллиметрге төмендеуі гектарына 12,35 тонна топырақтың желмен үрленуіне сәйкес келеді. Әрбір түйреуіштегі қайталама өлшемдер әрбір тексеру және деректерді енгізу барысында жүргізіледі. Бұл өлшемдер топырақ беті деңгейінің өзгеруін, беткі қабаттың үрленуін немесе керісінше, аккумуляциялануын айғақтайды (Ypsilantis, 2011).

Артықшылықтары

- эрозиялық белсенділікті бағалаудың арзан, жедел және бейтарап әдісі болып табылады;
- дегенмен жүйелі қателіктерді болдырмау үшін есептік алаңдарды және олардың бағытын кездейсоқтық тәсілімен таңдау қажет

Кемшіліктері

- есептеуіш деңгей адамдармен, техникамен немесе жануарлармен сонымен қатар топырақтың тоңдап қопсуы барысында жылжытылып немесе қозғалтылуы мүмкін, нәтижесінде өлшеулер мағынасыз болып қалады;
- түйреуіштер жіңішке және белгілі бір дәрежеде иілгіш келеді, сондықтан өлшеулер барысында бірдей нүктеге тимеген жағдайда қате мәндер алынуы мүмкін;
- бұл әдіс зерттеу аймағы шағын және есептік алаңдар саны аз жағдайда қолданылады, ал үлкен аумақтардың топырақ эрозиясын қамту мүмкін емес

Деректерді талдау

- алынған өлшемдер топырақ жамылғысының деңгейі өзгеруінің орташа мәндерін есептеуге пайдаланылады, аталған өзгерістер байқалған белгілі бір уақыт аралығын көрсету арқылы эрозия қарқындылығын анықтауға болады;

- кейін орташа мәнмен сенімгерлік межесін есептеу үшін Стьюденттің t-өлшемшартын пайдалануға және алынған шамаларды өзара салыстыруға болады (Blaney & Warrington, 1983; Ypsilantis, 2011)

- дефляциядан топырақтың азуының шамамен алғандағы бағалаулар мөлшерін тұқымдардың жатыс тереңдігін өлшеу арқылы білуге болады;

- Топырақтың үрленген қабатының қалыңдығын нашар бөлшектенген жыртылған қабатта кездесетін топырақтың жеке қалдық үйінділері арқылы да анықтауға болады

Жер бетіндегі фотограмметрия

Жақын (жер бетіндегі) фотограмметрия – аумағы 1 шаршы метрден еңістікті түгелімен қамтитын аймақтағы эрозия жөнінде түбегейлі ақпарат алуға жарамды үздік әдіс болып та-

былады. Бұл әдіс өсімдік өспеген телімдердегі, мәселен, жолдар, құрылыс алаңдары және жол талғамайтын көлікпен тапталған айдаладағы жолдарда эрозияға мониторинг жүргізуге тіпті тиімді (2-сурет).

2-сурет

Жер бетіндегі фотограмметрия (Ypsilantis, 2011 мәліметтері бойынша)



Ескерту: автор құрастырған

Жер бетіндегі фотограмметрия – зерттеу нысанын 300 метрден аспайтын қашықтықтан түсірілген фотосуреттерден құрастырылған бейнені өңдеуден тұрады. Сандық камераны алдын-ала x , y және z координаталар жүйесінде мөлшерлеп алу қажет. Жер бетінің деңгейі өзгеруін бақылау үшін шартты санақ деңгейі ретінде бір немесе бірнеше тұрақты бекітілген нүкте қойылады. Тірек нүктесі ретінде тау жыныстары немесе жерге терең қағылған металл білік пайдаланылады.

Түсірілген фотосуреттерден компьютер мен арнайы бағдарламалық қамсыздандыру көмегімен жер бетінің сандық үлгісі құрастырылады.

Артықшылықтары

- эрозия белсенділігін тікелей егістікте жылдам және тиімді дәлдік деңгейі жоғары түрде

өлшеуге болады, бұл ретте есеп алаңдарының мөлшері айтарлықтай өзгеруі мүмкін (ауданы 1 шаршы метрден еңістіктің бүкіл аумағына дейін);

- егістікте жұмыс жасауға арналған құрылыстар құнының жоғары болмауы;

- әрбір есеп алаңдары үшін мындаған деректерді енгізу нүктелері болады;

- тірек нүктелерін жер беті деңгейінен төмен қадау арқылы олардың жылжытылу мүмкіндігі жойылады, сонымен қатар, қауіпсіздік тұрғысынан, зерттеу аумағында рекреациялық белсенділікті (велосипедпен, жаяу, атпен серуендеу және т.б.) іске асыруға мүмкіндік береді;

- бүкіл зерттеу аумағы үшін топырақ эрозиясының кеңістіктік таралуының жан-жақты картасы дайындалады;

- фотосуреттер мен қатысты деректердің жиынтығы электронды түрде сақталады;

- сонымен қатар бұл әдісті эрозиялық үлгілерді тексеру барысында пайдалануға болады.

Кемшіліктері

- үлкен өлшемдегі есеп алаңдарындағы деректерді өңдеуге қажетті бағдарламалық қамсыздандырудың қазіргі таңдағы құнының қымбаттығы;

- өсімдіктер жер бетін көлегейлеуі арқылы, зерттеу аумағының осы бөлігінде өлшемдер жүргізуді қиындатады;

- қазіргі таңда мұндай деңгейдегі мониторингті жүргізе алатын тәжірибелі сарапшылар мен жауапты ұйымдардың тым аз болуы;

- жер бетіндегі кез-келген объектінің, мейлі ол төсеніш қабаты болсын, тас немесе басқа да заттардың қозғалуы деректерді өңдеу барысында бағдарламамен топырақтың шайылуы немесе аккумуляциялануы деп қабылдануы мүмкін.

Деректерді талдау

- есеп алаңдары шегіндегі жер беті торынан топырақтың беткі қабатының үрленуі, жер қазу жұмыстары барысындағы үйінділер мен қазындылар көлемін анықтау үшін ArcGIS (немесе кез-келген басқа ГАЖ топтамалары) пайдаланылады;

- аудан бірлігі үшін топырақтың жойылуы немесе аккумуляциялануын анықтау үшін, немесе эрозияланған аумақ бірлігінен тоннамен бел-

гілеу үшін топырақтың жалпы жойылу немесе қосылу көлемі есеп алаңына бөлінеді;

- Жер беті фотограмметриясы топырақтың жойылу немесе аккумуляциялану қарқындылығын үлкен аумақтарда (мәселен жалпы еңістік үшін) дәлдігі сантиметрге дейін және өлшемі 1 м² шағын алаңқайларда дәлдігі миллиметрге дейін анықтауға мүмкіндік береді;

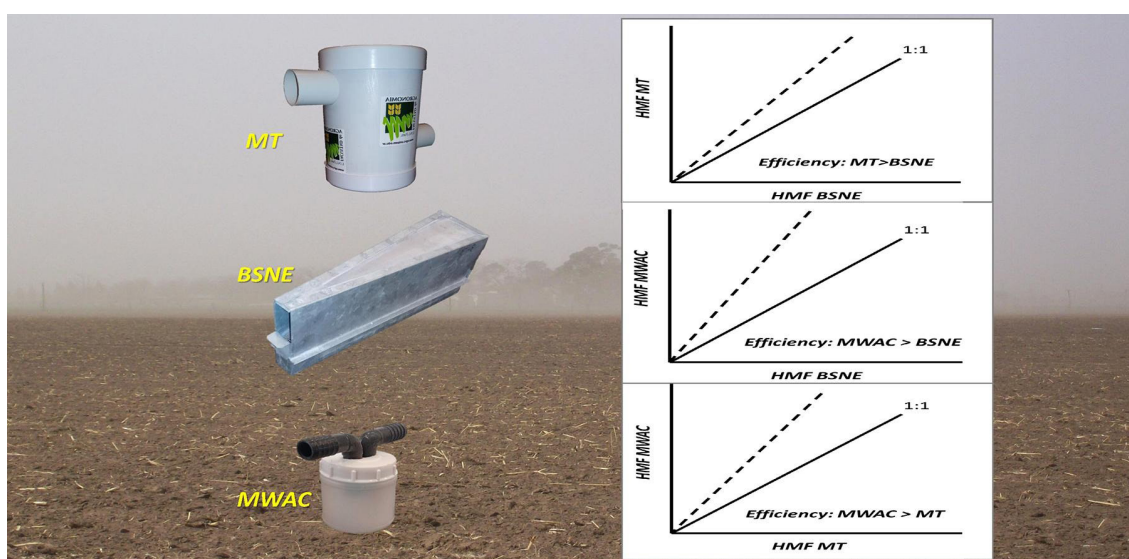
- жер беті фотограмметриясы әдісі әртүрлі факторлар мен адам әрекеті нәтижесінде пайда болған эрозияны тікелей өлшеу үдерісі үшін болашағы бар және әлеуеті зор.

Шаңтұтқыш құрылғыны пайдалану

Жоғарыда аталған әдістер топырақтың азуын, яғни эрозияның салдарын бағалауға мүмкіндік береді. Дегенмен, олар эрозия механизмін зерттеуге қауқарсыз, оны жете түсінбей эрозиялық үдерістерді басқару және сонымен қатар олардың пайда болуын болжау қиындау. Қарапайым тілмен айтқанда жел эрозиясы үдерісі ауа ағындарының ықпалымен топырақ шоғырының қозғалуын білдіреді. Бұл шоғырдың қозғалу себебін анықтау үшін эрозия үдерісіндегі қатты фазаның ағынын өлшей білуіміз қажет (Кузнецов & Глазунов, 2020). Қазіргі таңда бұл мақсатта топырақ бөлшектерінің жылжуын тіркейтін әртүрлі шаң-, топырақ тұтқыштар, сүзгілер, пьезоэлектрлік құрылғылар қолданылады (3-сурет).

3-сурет

«Мендес қақпаны» сынамаалғыштың бейнесі (Mendez, 2022 мәліметтері бойынша)



Ескерту: автор құрастырған

Дефляциялық үдерістерді зерттеу барысында параллелепипед қалпындағы қорапқа ұқсас, бір қыры қабылдау тесігі болып табылатын шаң- немесе топырақ тұтқыштар кеңінен қолданылады.

Артықшылықтары

- эрозия механизмін зерттеуге мүмкіндік береді, эрозия үдерісінде қатты фазаның, яғни топырақтың ағынын өлшеу құралы (Кузнецов & Глазунов, 2020)

Кемшіліктері

- топырақ бөлшектерін алып келе жатқан ағынның биіктігі үлкен болуы – шаңды дауылдар кезіндегі тұтас шаң фронтының қалыңдығы бірнеше жүздеген метрге жетеді;

- ауа ағыны құрылғы арқылы өтіп кете алмайды;

- бөлшектердің едәуір бөлігі, әсіресе майдалары, шаңтұтқыштан өтіп кетеді;

Деректерді талдау

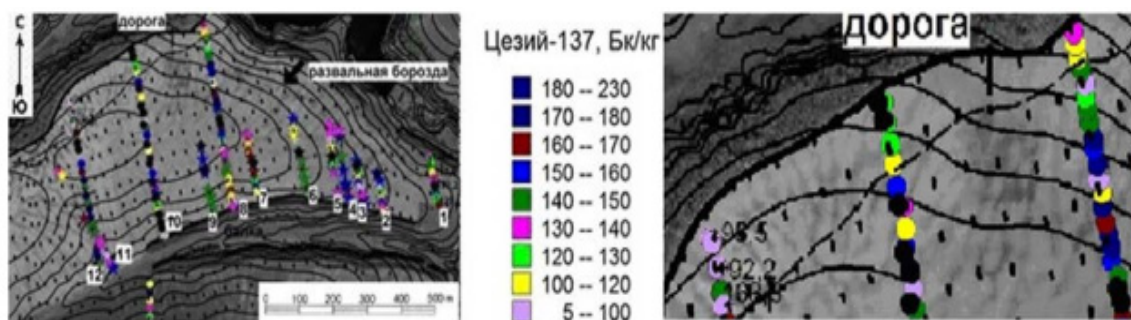
ағынның жылдамдығын есептегіш құрылғы сору тесігі мен еркін ағындағы жылдамдықтың теңдігіне қол жеткізуге мүмкіндік береді

Цезий¹³⁷

Соңғы жылдары топырақ эрозиясын бақылау үшін ғалымдар алыс (Австралия, АҚШ, Англия, Аргентина, Грекия, Жаңа Зеландия, Жапония, Зимбабве, Испания, Канада, Марокко, Нигер, Румыния, Словакия, Түркия, Ұлыбритания, Франция) және жақын (Қытай, Ресей, Украина) шет елдерде маркер ретінде Цезий¹³⁷ радионуклидін (4-сурет) кеңінен қолданып жүр (Sac et al., 2008; Ypsilantis, 2011; Fulajtar et al., 2017; Loughran et al., 2002; Mabit et al., 2008; Zhidkin et al. 2020; Golosov et al. 2021).

4-сурет

Цезий¹³⁷ радионуклидін хрономаркер ретінде пайдаланып, топырақ эрозиясының қарқындылығын бағалау (Трофимец et al. 2022 мәліметтері бойынша)



Ескерту: автор құрастырған

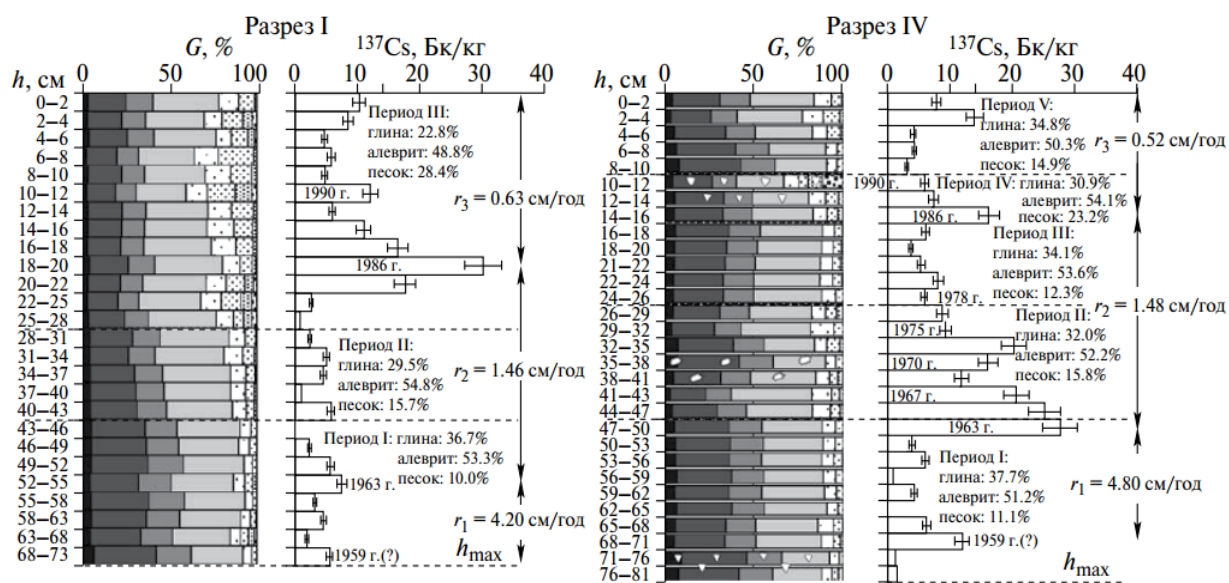
¹³⁷Cs – жартылай ыдырау кезеңі шамамен 30 жылды құрайтын радиоактивті жасанды изотоп. Цезий-137 топыраққа түскен кезде жедел жұтылып, топырақ бөлшектерінің ионалмасу телімдерімен берік байланысады және әсіресе көпшілік ортада байланыспайтын күйге ауысады (Гусаров et al. 2018). ¹³⁷Cs радионуклидімен таңбаланған топырақ бөлшектерінің бір ландшафт немесе ландшафттар арасында қозғалысының негізгі факторы – жел және су эрозиясының физикалық үдерістері болып табылады (Ritchie & McCarty, 2003; Ypsilantis, 2011). Цезий¹³⁷ шоғырлануының «шыңы» топырақ түріне және климатқа байла-

нысты – субстраттың беткі деңгейінен 2-4 см. жерге көмілуі мүмкін, және егіншілікте пайдаланылмайтын өте қышқыл топырақтар үшін ғана ¹³⁷Cs капиллярлар бойымен тігінен көші-қоны арқылы 5-6 см-ге дейін көміледі (5-сурет).

Аталған әдіс жалпы топырақ массасының жылжуын бағалауға мүмкіндік береді, дегенмен жылжудың факторлары кез-келген болуы мүмкін, сондықтан нақ жел эрозиясын бақылау барысында, яғни қозғаушы күш ретінде тек жел болып, ал қалған факторлар (су эрозиясы, жер жырту және т.б.) байқалмағанда, әдіс шектелген аймақта пайдаланылуы мүмкін.

5-сурет

Стратоземдардың I және IV қыртысының қимасындағы ^{137}Cs шоғырының тігінен таралуы (Гусаров et al., 2018 мәліметтері бойынша)



Ескерту: автор құрастырған

Артықшылықтары

- толығымен суайырықтың немесе бүтін ландшафттың деңгейінде эрозияны ұзақмерзімді зерттеуге болады (Ypsilantis, 2011; Fulajtar et al., 2017);

- жел эрозиясын үлкен аумақтарда бағалауға болады (Sac et al., 2008)

Кемшіліктері

- қысқамерзімді зерттеулерді, мәселен, эрозияға қарсы шаралардың тиімділігін бағалауға жарамсыз;

- топырақ сынамалары көп мөлшерде болған жағдайда зертханалық талдауларды жүргізу құны өте жоғары болады;

- жел эрозиясы байқалатын аудандардың көпшілігінде Cs^{137} шоғырлануы төмен, сол себепті топырақ эрозиясын зерттеуде қате нәтижелердің жоғары болуы

Деректерді талдау

- алынған деректерді топырақтың шайылуы немесе аккумуляция жасалуы шамасына келтіру мүмкіндігі

- үлгілеудің екі түрі бар: эмпирикалық және теоретикалық

Жел эрозиясын үлгілеу

Топырақ азуын жартылайсандық бағалау мақсатында жел эрозиясын үлгілеу (модельдеу)

XX ғасырдың 60-шы жылдары басталды. Жел эрозиясын үлгілеу көп жағдайда жартылай эмпирикалық әдіс болып отыр және зерттеулер белгілі бір алаңқай көлемінде жүргізіліп, қолданылатын үлгі сол жердің ерекшеліктері мен күйіне сәйкес калибрлендірілсе, нақты сол жерге ғана өзекті болып отыр, қазірге дейін әмбебап нақты әдіс пайда болған жоқ. Әрине бұл тұрғыдан топырақтың шайылуын (су эрозиясын) модельдеу бағыты әлдеқайда жедел дамып, көптеген әмбебап үлгілер жарық көрді (USLE, RUSLE, MUSLE, WEPP, SWAT және т.б.).

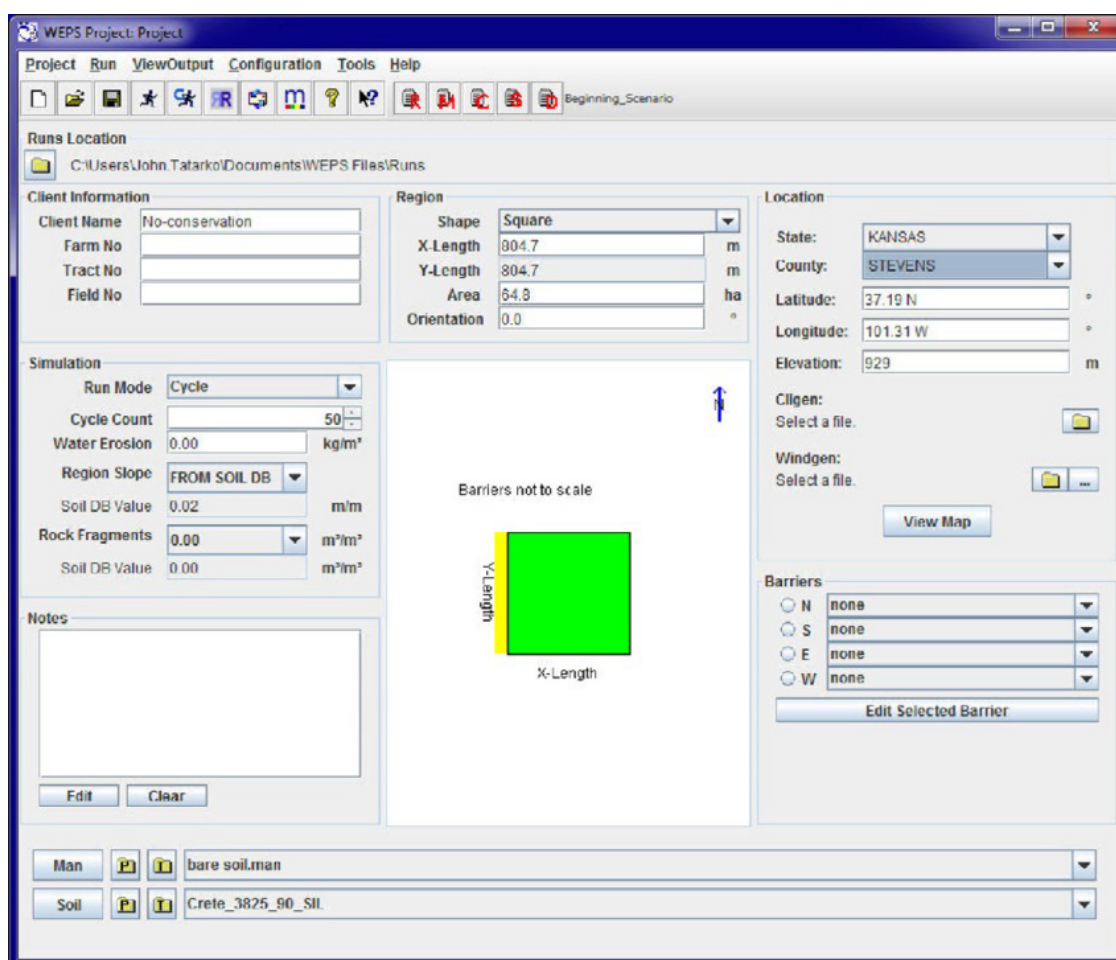
Эмпирикалық үлгілер ең қарапайым және бақылау мен эксперименталды деректерге негізделеді, яғни олар мән-жайды айқындайды және болашақта не болатындығын болжауға көмектеседі. Мұндай үлгілердің эрозияның кеңістіктік таралуы жөнінде ақпарат болмауынан туындайтын шектеулері мен кемшіліктері болады, дегенмен ГАЗ-платформаларын кодану барысында бұл кемшілікті еңсеруге болады. Физикалық үлгілер фундаменталды эрозиялық үдерістер мен зат пен энергияның сақталуы заңын ендіруге байланысты таным-түсініктерге негізделеді. Теория жүзінде қажетті параметрлерді өлшеуге болады, дегенмен тәжірибеде параметрлердің біршама бөлігін әрдайым калибрлеп отыруға тура келеді.

Жел эрозиясын үлгілеу теңдеулерінің негізгілері: WEQ, RWEQ, GIS-RWEQ, WEPS, WEELS және т.б (6-сурет). Дефляциялық үдерістерді зерттеуді белгілі бір қалыпқа келтіріп, жүйелеудің ең алғашқы қадамы АҚШ эрозиятану мектебінің өкілдерімен ұйымдастырылған жел эрозиясы теңдеуі – The Wind

Erosion Equation (Woodruff & Siddoway, 1965; Shrestha, 2008). Бұл үлгі әртүрлі аймақтарда сыналып, енгізу деректері калибрленді және геоақпараттық жүйелермен бірге пайдаланғанда жел эрозиясы пайда болу қаупі бар жерлерді анықтауда ақиқат шамаға сәйкес нәтижелер алынды.

6-сурет

Жел эрозиясын болжау жүйесі (WEPS) қолданушының графикалық интерфейсі



Ескерту: автор құрастырған

Жел эрозиясы теңдеуі (WEQ) кез-келген математикалық теңдеу секілді белгілі бір шарттарға сүйенеді, нақты бірқатар факторларға байланысты топырақ азуын болжауға мүмкіндік береді және келесі формуламен есептеледі:

$$Q = f(E, I, K, C, L, V);$$

бұл жердегі Q – белгілі бір беттен (бет бірлігінен) жылына жел эрозиясынан топырақтың азу мүмкіндігі;

E – F_s коэффициентімен есептелетін, топырақ қабыршағының болуы және оның түйіршіктелуіне (A) тәуелді топырақтың азуға бейімдігі;

I – еңістік;

К – жыртылған жерлердің кедір-бұдырлық коэффициенті;

С – желдің орташа жылдамдығы V_z мен топырақтың ылғалдылығына W тәуелді топырақтың жел эрозиясы климаттық индексі;

L – жел бағытындағы егістіктің қорғалмаған бөлігінің ұзындығы;

V – өсімдік жамылғысы мен аңыздық қалдықтардың топырақты қорғау баламасы:

$$V = RSK_0,$$

бұл жердегі R – аудан бірлігіндегі өсімдік жамылғысы мен аңыздық қалдықтардың массасы;

S – өсімдік бірліктерінің жиынтық бетін ескеретін коэффициенті;

K_0 – өсімдіктердің кеңістіктік орналасуын ескеретін коэффициенті.

WEQ моделін пайдаланып, ғалымдар жақын шетелден Моңғолия территориясындағы үлескілерде бақылаулар жүргізді және нәтижелері далалық жағдайдағы эксперимент қорытындысымен түспа-түс келді (Mandakh et al. 2016). Дефляциялық үдерістерді үлгілеудің келесі қадамы – зерттеулерді телімдер деңгейінен өңірлік масштабқа дейін жетілдіру мақсатында Revised Wind Erosion Equation (RWEQ) – жетілдірілген теңдеуі жасалып, АҚШ-та сынақтан сәтті өтті. Геоақпараттық жүйелердің географиялық зерттеулерге дендеп енуі эрозия үдерісін, оның ішінде топырақтың желдің әсерінен азуы құбылы-

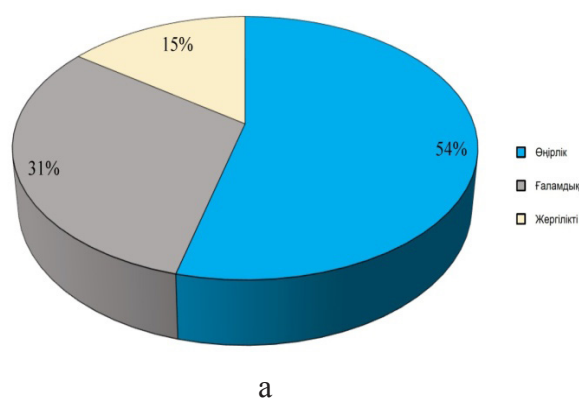
сын үлгілеуге де пайдалануға себеп болды. Яғни, қазіргі таңдағы қолданылатын үлгілер түгелге жуық ГАЖ-ға кіріктірілген. Европа құрлығындағы бірқатар елдермен қаржыландырылатын «Европалық топырақтар туралы мәліметтерді өңдеу Орталығы» (ESDAC) ұйымдастырған WEELS, Wind Erosion Prediction System (WEPS) және GIS-RWEQ (Borrelli et al., 2017) жобаларының нәтижесінде WEPS және GIS-RWEQ үлгілері жарық көрді.

Жер серіктік бақылау

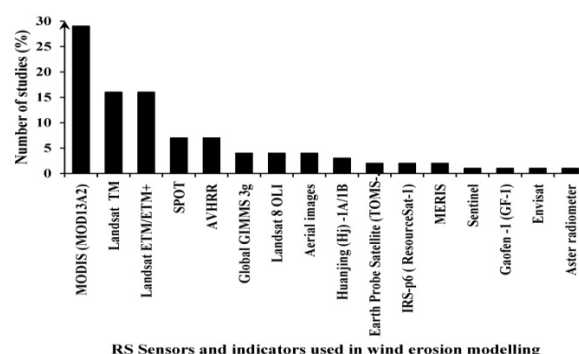
Қашықтықтан зондылау деректері Жер туралы ғылымдар бағыты бойынша салалардың көпшілігінде пайдаланылатын әдіс, әрине, топырақ эрозиясын картографиялау және бақылау барысында кеңінен қолданылады. Соңғы кездері кеңістікті суретке түсіретін жер серіктеріне орнатылатын камералардың мүмкіндіктері артып, жоғары және өте жоғары дәлдіктегі бейнелерді қамтуы топырақ эрозиясы үдерісін үлкен аумақта зерттеуге септігін тигізді (7а-сурет). Әдістің алгоритмі келесідей – түсірілген бейне / бейнелер қатары геоақпараттық жүйелер көмегімен автоматты немесе жартылай автоматты түрде топастырылып, дешифрленеді. Дешифрлеу амалының нақтылығын бағалау мақсатында дешифрленген аймақтың кез келген нүктесінен бақылау телімі кездейсоқ таңдалып алынып, сарапшы көзбен шолу арқылы анықтау амалын жүргізеді.

7-сурет

- а) Жел эрозиясы көрсеткіштерін бағалауда әртүрлі кеңістіктік қолдану масштабындағы қашықтықтан зондылау пайдаланылған зерттеулердің бүкіл әлем бойынша үлесі;
б) Жел эрозиясы көрсеткіштерін бағалауда қашықтықтан зондылаудың әртүрлі индикаторлары пайдаланылған зерттеулердің ғаламдық үлесі (Lacková et al., 2023 мәліметтері бойынша)



а



RS Sensors and indicators used in wind erosion modelling

б

Ескерту: автор құрастырған

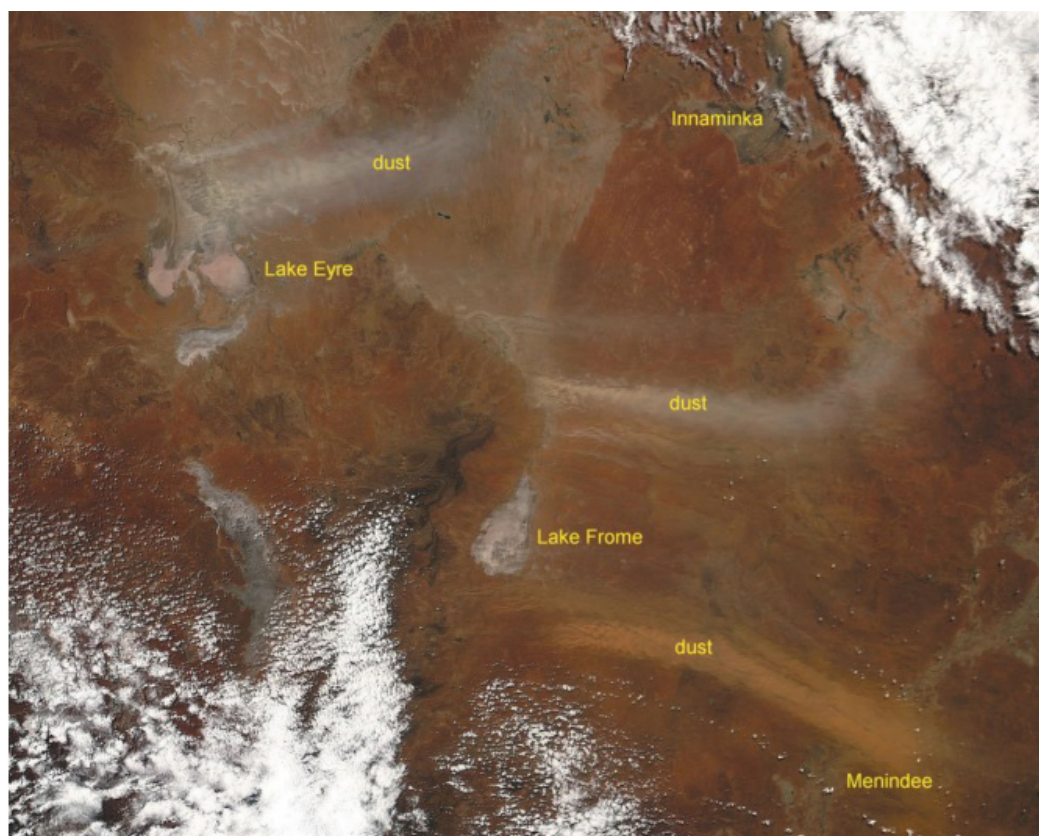
Жер серіктік деректерді жел эрозиясын картографиялау барысында, жел эрозиясына ұшыраған өңірлерді байқау және жел эрозиясына шалдыққан телімдердің қалпына келу уақытын тіркеу кезінде пайдалануға болады. Мәселен, көпшілікке белгілі Landsat TM жер серігінен әртүрлі кезеңдерде түсірілген бейнелерді динамикалық немесе көпуақыттық салыстыру тәсілімен шөл басу үдерісін картографиялау барысында қолдануға болады (76-сурет).

Қашықтықтан зондылау кезінде рельефтің эрозиялық қалыптары және эрозия кезеңдерін

анықтауға, салыстырмалы түрде жақын уақытта (аэроғарыштық суретке түсіруден бері қарай) байқалған эрозиялық үдерістің пайда болу себептерін, даму бағытын зерделеуге болады. Эрозияланған және аккумуляцияланған топырақты анықтаудың негізгі қағидасы аккумуляцияланған және эрозияға шалдықпаған топырақтардың шағылысуының спектрлік сипаттамасы өзгеше болуында. Бұл жерде топырақтың беткі қабатының химиялық және физикалық қасиеттері топырақ бөлшектерінің қозғалуы барысында өзгеріске түсетіндігімен түсіндіріледі (8-сурет).

8-сурет

Эйр көлі су алабының (Австралия) MODIS жер серігінен 28.10.2003 күні түсірілген бейнесі. Ақ шаң шлейфі (dust) құрғаған көл табандарынан көтеріледі, Фром көлінің төменгі бөлігіндегі қоңыр түсті шаң жайылымдардан үрленіп келеді (www.interscience.wiley.com/journal/espl мәліметтері бойынша)



Ескерту: автор құрастырған

Салыстырмалы түрде жақында ұшырылған Landsat-8 және Sentinel-2 жер серіктерінің жетілдірілген радиометрлік және кеңістіктік сипаттамалары көпуақыттық деректерді еркін қол жетімді ету арқылы, эрозиялық үдерістерді картографиялауға өлшеусіз үлес қосты.

Шектеулер

- топырақ жағдайлары әртүрлі үлкен аумақтардағы егістіктерді бағалау;
- нақты атмосфералық түзетулер және бұлттар мен олардың көлеңкелерін жасыру қажеттілігі;

- қоршаған орта күйінің алуантүрлілігі, әсіресе топырақ жамылғысы құрылымының әркелкілігі;

- жер серіктік деректердің бұрынғы жылдарға жетіспеушілігі топырақтың өнімді қабатының бастапқы қалыңдығын анықтауға қиындық туғызады.

Артықшылықтары

- Үлкен аумақтардың беткі көрінісі туралы ақпарат алудың салыстырмалы түрде үнемді, жедел және әділ тәсілі;

- Кез-келген аймақтың суреттерін белгілі бір уақыт аралығында алуға мүмкіндік бар, сол арқылы бақыланатын үдерістің өзгеріс динамикасын қадағалауға болады;

- Сандық бейнелер әртүрлі әдіс-тәсілдерді қолданып қосымша талдауға және әртүрлі параметрлер мен сипаттамаларын бағалауға тұрақты түрде әрдайым қол жетімді;

- Жер серіктік деректер үлкен аумақтардағы, сонымен қатар далалық зерттеу жұмыстарын жүргізу мүмкіндігі қарастырылмаған немесе қиындатылған аймақтардағы, топырақ эрозиясын бағалауда нақты, үнемді және сенімді әлеуеті зор;

- Жер серіктік бейнелерді пайдалану топырақ эрозиясын сандық түрде бағалап, жергілікті, ұлттық және өңірлік деңгейде бақылау мүмкіндіктерін едәуір кеңейтті.

Кемшіліктері

- Мультиспектралды деректер орынбасар деректер болғандықтан, яғни топырақ эрозиясы көрсеткіштерінің дәл өлшемдері емес, белгілі бір қасиеттердің спектралды сипаттамасы болуы себепті алынған ақпараттарды тексеру (нақтылықты бағалау, калибрлеу) қажет;

- Сенсорлардың төмен спектралды дәлдігі;

- Өсімдік жамылғысы кедергі келтірмеген жағдайда жер серіктік бейнелер топырақтың беткі қасиеттерін ғана анықтауға мүмкіндік береді.

Деректерді талдау

- Жер серіктік шикі деректерді талдау, егер оны автоматтандырмаған жағдайда – жұмыс қолын өте ұзақ ұстайтын үдеріс. Дегенмен соңғы жылдары жер серіктік суреттерді автоматтандыру бағытындағы жетістіктер нәтижесінде жұмсалатын уақыт пен еңбек ресурстары едәуір төмендеді.

Ұшқышсыз ұшу аппараттары

Соңғы он жыл көлемінде экзогенді үдерістерді зерделеу бойынша белсенді түрде қолда-

нылып жүрген бағыт – ұшқышсыз ұшу аппараттары – квадрокоптерлерде назар аударуға тұрарлық. Негізі, көпшілік халыққа «дрон» деген атаумен белгілі шағын габаритті құрылғылар Қытай мемлекетінің DJI компаниясының Phantom, Mavic өнімдері арқылы етене таныс болды. Бұл жерде нақты аппараттың «квадрокоптер» аталуы – ұшу қалақшалары төрт роторға бекітілуінде, яғни, ротор санына байланысты атаулары трикоптер, октокоптер болып өзгере береді.

Жел эрозиясы салыстырмалы түрде қысқа уақыт аралығында дүлей күшпен соғып, топырақтың беткі құнарлы қабатын ұшырып кететін үдеріс екендігін ескерсек, көп жағдайда жер серіктерінің беретін суреттері қажеттілігімізді толық қанағаттандыра алмай жатады, оның бірнеше себебі де бар. Біріншіден, жер серігі белгілі бір территорияны суретке бір түсіріп кеткеннен кейін, келесі қайталама сурет кемінде 16 күннен кейін түсіріледі, екіншіден, жер серіктерінің негізгі суретке түсіру аймағы – үлкен қалалар мен мегаполистер, өндіріс ошақтары мен өнеркәсіп орталықтары, әскери және стратегиялық маңызды объектілер. Аталған аймақтардың көріністері соңғы үлгідегі камера орнатылған жер серіктерінен түсірілсе, шалғайда орналасқан егістіктер мен шанды дауыл аймақтары, көбіне ескі суреттермен қалып қояды (9-сурет).

Қысқа уақытта өзгеріп отыратын үдерістерді (шанды дауылдың топыраққа әсері, өсімдіктің вегетациялық кезең барысындағы динамикасы және т.б.) зерттеуде квадрокоптер таптырмас құрал болып табылады

Артықшылығы

- салмағы жеңіл, берік материалдардан дайындалған;

- бастапқы деңгейдегі топтамаларының бағасы салыстырмалы түрде арзан;

- соңғы үлгідегі нұсқаларында басқару пультіне экран орнатылған, бұл аппаратты басқаруға едәуір көмектеседі,

- басқаруды үйрену өте жеңіл, Android платформасында дайындалғандықтан, соңғы үлгідегі телефондарды басқару деңгейінде қиындық туғызбайды, оқытылған бір маманның өзі квадрокоптерді тасымалдап, ұшу маршрутын басқарып, ұшыс барысында түсірілген бейнелерді өңдей бере алады;

- мүмкіндіктері күшейтілген мультиспектралды камераларды, LIDAR және т.б. қосымша бөлшектерді орнату мүмкіндігі қарастырылған;

9-сурет

Қызылорда облысындағы күріштік алқаптары (16.06.2019 күні түсірілген) мен Қызылорда қаласының (19.04.2023 күні түсірілген) Google Earth платформасынан бір мезгілде жүктеліп алынған бейнелері



Ескерту: автор құрастырған

Кемшілігі

- ауа-райына тәуелді, желдің жылдамдығы күнделікті ұшыруға шектеуші фактор болып табылады;

- стратегиялық маңызды әскери объектілер мен әуежайлар, қорғаныс, күштік құрылымдар аймағы ұшу зонасы болып табылмайды, кездейсоқ кіріп кеткен жағдайда, коптердің сигнал қабылдау мүмкіндігі нашарлап, басқарусыз қалады;

- ұшу уақыты шектеулі, соңғы үлгілерінде ары кеткенде 40 минуттан аспайды, бұл 50 гектар жердің көрінісін суретке түсіруге жарамды, қосымша қондырғылармен жабдықталып, салмағы артқан сайын және өте жоғары дәлдіктегі мультиспектралды камералармен, лидармен суретке түсіру ұшу уақытын едәуір шектейді;

- өте жоғары дәлдіктегі камералармен, қосымша қондырғылармен жабдықталған үлгілерінің бағасы салыстырмалы түрде қымбат;

Деректерді талдау

Ұшудан кейін суреттерді камералдық жағдайда жеке компьютерге жүктеп, арнайы бағдарламалық өнімдер арқылы өндеп, жер беті топырақ, өсімдік жамылғысының 12 индексіне дейін анықтауға болады.

Қорытынды

Еліміздегі жел эрозиясына бейім топырақтардың үлкен аймақты қамтуын ескере отырып, жоғарыда көрсетілген әдістердің ішінен нақты кезеңде қолдануға қашықтықтан зондылау ұсынылады. Әдістің алгоритмінде эрозиялық белсенділікті бағалауға қоса оны болжауға мүмкіндік қарастырылған. Дефляциялық үдерістерді зерттеу бағытында жарияланған мақалаларды сараптау барысында еліміздің эрозиятану, топырақтану саласы мамандарының әлемдік трендтерге сәйкес жаңаша әдіс-тәсілдерді пайдалану көлемі аздық ететіндігі, өңірлік жоғары оқу орындарынан мұндай зерттеулердің тіпті жүргізілмейтіндігі анықталды. Рас, өзен алабындағы топырақтың шайылу көлемін камералдық жағдайда есептеу жұмыстарында едәуір алға басушылық бар, шетелдік USLE, RUSLE, MUSLE, WEPP, SWAT және т.б. үлгілерін пайдаланып, біршама ғылыми-зерттеулер жүргізілген. Дегенмен, жел эрозиясынан топырақтың үрленуін үлгілеуде де WEQ, RWEQ, GIS-RWEQ, WEPS, WEELS және т.б. математикалық тендеулерінің аридті аймақтарда орналасқан елдерде ғалымдармен егжей-тегжейлі қолданылғандығын, кі-

ріс деректерінің калибрленіп, шындалғандығын ескерген жөн. Соңғы жылдары шыққан үлгілер геоақпараттық жүйелермен бірігіп, жерді қашықтықтан зондылау деректерін, радарлық, лидарлық, мультиспектралды технологияларды қолдануға бейімделген және машиналық оқыту арқылы автоматты түрде зерттеу объектінің қасиеттері мен күйін бағалауға мүмкіндік береді.

Қорыта айтқанда Қазақстан Республикасы территориясында бақыланатын эолдық үдерістер мен шаңды бөлшектердің жылжуы механизмдерін түсіну үшін қашықтықтан зондылау деректері мен метеорологиялық мәліметтерден тұратын кешенді әдістерді дамыту мәліметтері бойынша жетілдірілген үлгілер құрастырып, эрозиялық үдерістерді болжап, карталар жасау қажет.

Мүдделер қақтығысы

Авторлар мүдделер қақтығысының жоқ екенін мәлімдейді.

Авторлардың үлесі

Conceptualization, N.S. and Y.S.; Methodology, Y.S.; Software, Y.S.; Validation, N.S., B.K. and Y.S.; Formal Analysis, B.K.; Investigation, N.S.; Resources, B.K.; Data Curation, B.K.; Writing – Original Draft Preparation, Y.S. & B.K.; Writing – Review & Editing, Y.S. & N.S.; Visualization, Y.S.; Supervision, N.S.; Project Administration, Y.S.; Funding Acquisition, Y.S.

Әдебиеттер

- Almaganbetov, N., & Grigoruk, V. (2008). Degradation of soil in Kazakhstan: Problems and challenges. In L. Simeonov & V. Sargsyan (Eds.), *Soil chemistry, pollution, risk assessment, remediation and security* (NATO Science for Peace and Security Series). Springer. https://doi.org/10.1007/978-1-4020-8257-3_27
- Blaney, D.G., & Warrington, G.E. (1983). *Estimating soil erosion using an erosion bridge* (WSDG-TP-00008 Report). USDA Forest Service.
- Borrelli, P., Lugato, E., Montanarella, L., & Panagos, P. (2017). A new assessment of soil loss due to wind erosion in European agricultural soils using a quantitative spatially distributed modelling approach. *Land Degradation & Development*, 28, 335–344. <https://doi.org/10.1002/ldr.2588>
- Clark, R.D. (1980). *Erosion condition classification system* (Technical Note 346). Bureau of Land Management.
- Duniway, M.C., Pfennigwerth, A.A., Fick, S.E., Nauman, T.W., Belnap, J., & Barger, N.N. (2019). Wind erosion and dust from U.S. drylands: A review of causes, consequences, and solutions in a changing world. *Ecosphere*, 10(3), Article e02650. <https://doi.org/10.1002/ecs2.2650>
- Fulajtar, E., Mabit, L., Renschler, C.S., & Lee, Z.Y.A. (2017). *Use of 137Cs for soil erosion assessment*. Food and Agriculture Organization of the United Nations.
- Goloso, V.N., Collins, A.L., Dobrovolskaya, N.G., Bazhenova, O.I., Ryzhov, Y.V., & Sidorchuk, A.Y. (2021). Soil loss on the arable lands of the forest-steppe and steppe zones of European Russia and Siberia during the period of intensive agriculture. *Geoderma*, 381, Article 114678. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2020.114678>
- Lackóová, L., et al. (2023). Unlocking the potential of remote sensing in wind erosion studies: A review and outlook for future directions. *Remote Sensing*, 15(13), 3316. <https://doi.org/10.3390/rs15133316>
- Loughran, R.J., Pennock, D.J., & Walling, D.E. (2002). Spatial distribution of Caesium-137. In F. Zapata (Ed.), *Handbook for the assessment of soil erosion and sedimentation using environmental radionuclides* (pp. 97–109). Springer. https://doi.org/10.1007/0-306-48054-9_6
- Mabit, L., Benmansour, M., & Walling, D.E. (2008). Comparative advantages and limitations of fallout radionuclides (137Cs, 210Pb and 7Be) to assess soil erosion and sedimentation. *Journal of Environmental Radioactivity*, 99(12), 1799–1807. <https://doi.org/10.1016/j.jenvrad.2008.08.009>
- Mandakh, N., Tsogtbaatar, J., Dash, D., et al. (2016). Spatial assessment of soil wind erosion using WEQ approach in Mongolia. *Journal of Geographical Sciences*, 26, 473–483. <https://doi.org/10.1007/s11442-016-1280-5>
- Mendez, M.J. (2022). A new wind erosion sampler called “Mendez’s trap (MT)”: Description and field performance test in a loamy sand soil. *Aeolian Research*, 56, Article 100800. <https://doi.org/10.1016/j.aeolia.2022.100800>
- Ritchie, J.C., & McCarty, G.W. (2003). 137Cesium and soil carbon in a small agricultural watershed. *Soil and Tillage Research*, 69(1–2), 45–51. [https://doi.org/10.1016/S0167-1987\(02\)00127-7](https://doi.org/10.1016/S0167-1987(02)00127-7)
- Sac, M.M., Ugur, A., Yener, G., & Ozden, B. (2008). Estimates of soil erosion using cesium-137 tracer models. *Environmental Monitoring and Assessment*, 136(1–3), 461–467. <https://doi.org/10.1007/s10661-007-9700-8>
- Saparov, A. (2014). Soil resources of the Republic of Kazakhstan: Current status, problems and solutions. In L. Mueller, A. Saparov, & G. Lischeid (Eds.), *Novel measurement and assessment tools for monitoring and management of land and water resources in agricultural landscapes of Central Asia* (Environmental Science and Engineering Series). Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-319-01017-5_2

- Shrestha, D.P. (2008). *Guidelines for monitoring and assessment of wind erosion at site level*. ACSAD. <https://research.utwente.nl/en/publications/guidelines-for-monitoring-and-assessment-of-wind-erosion-at-site->
- Woodruff, N.P., & Siddoway, F.H. (1965). A wind erosion equation. *Soil Science Society of America Proceedings*, 29(5), 602–608. <https://doi.org/10.2136/sssaj1965.03615995002900050035x>
- Ypsilantis, W.G. (2011). *Upland soil erosion monitoring and assessment: An overview* (Technical Note 438). Bureau of Land Management. <https://doi.org/10.5962/bhl.title.154510>
- Zhidkin, A.P., Shamshurina, E.N., Golosov, V.N., Komissarov, M.A., Ivanova, N.N., & Ivanov, M.M. (2020). Detailed study of post-Chernobyl Cs-137 redistribution in the soils of a small agricultural catchment (Tula region, Russia). *Journal of Environmental Radioactivity*, 223–224, Article 106386. <https://doi.org/10.1016/j.jenvrad.2020.106386>
- Бельгибаев, М.Е. (2016). Некоторые закономерности развития эоловых процессов в семиаридной и аридной зонах. *ФМУ□ ЕСУРС УЛАРД*, 171.
- Гендугов, В.М., & Глазунов, Г.П. (2007). *Ветровая эрозия почвы и запыление воздуха*. ФИЗМАТЛИТ.
- Гусаров, А.В., Голосов, В.Н., Шарифуллин, А.Г., & Гафуров, А.М. (2018). Современный тренд эрозии пахотных черноземов южных на западе Оренбургской области. *Почвоведение*, (5), 601–616.
- Зинабдин, Н.Б. (2020). Ландшафтно-экологический анализ деградации земель дельты реки Сырдарии и осушенного дна Аральского моря. *Вестник КазНУ. Серия географическая*, 55(4), 37–46. <https://doi.org/10.26577/JGEM.2020.v55.i4.04>
- Куанышбаев, С.Б. (2010). *Дефляционно-аккумулятивные процессы Южного Прибалхашья*. Костанайский государственный педагогический институт.
- Кузнецов, М.С., & Глазунов, Г.П. (2020). *Эрозия и охрана почв*. Издательство МГУ.
- Ларионов, Г.А. (1993). *Эрозия и дефляция почв: Основные закономерности и количественные оценки*. Издательство МГУ.
- Иванов, А.Л. (Ред.). (2013). *Научные основы предотвращения деградации почв (земель) сельскохозяйственных угодий России и формирования систем воспроизводства их плодородия в адаптивно-ландшафтном земледелии*. Почвенный институт им. В. В. Докучаева.
- Сарсеева, Л.Б., & Айдаров, О.Т. (2021). Қызылорда облысы геокешендердің табиғи даму тенденциясы. In *Impact of Modernity on Science and Practice* (p. 45). Madrid, Spain.
- Трофимец, Л.Н., и др. (2022). Применение цезия-137 чернобыльского происхождения для расчета эрозионных потерь почвы на участках выпашанных почв в бассейне верхней Оки. *ИнтерКарто. ИнтерГИС. Геоинформационное обеспечение устойчивого развития территорий*, 28, 813–828.

References

- Almaganbetov, N., & Grigoruk, V. (2008). Degradation of soil in Kazakhstan: Problems and challenges. In L. Simeonov & V. Sargsyan (Eds.), *Soil chemical pollution, risk assessment, remediation and security* (NATO Science for Peace and Security Series). Springer. https://doi.org/10.1007/978-1-4020-8257-3_27
- Bel'gibaev, M.E. (2016). Nekotorye zakonomernosti razvitiya jeolovykh processov v semiaridnoj i aridnoj zonah [Some patterns of development of aeolian processes in semiarid and arid zones]. *F MUX ESURS ULARD*, 171.
- Blaney, D.G., & Warrington, G.E. (1983). *Estimating soil erosion using an erosion bridge* (WSDG-TP-00008 Report). USDA Forest Service.
- Borrelli, P., Lugato, E., Montanarella, L., & Panagos, P. (2017). A new assessment of soil loss due to wind erosion in European agricultural soils using a quantitative spatially distributed modelling approach. *Land Degradation & Development*, 28, 335–344. <https://doi.org/10.1002/ldr.2588>
- Clark, R.D. (1980). *Erosion condition classification system* (Technical Note 346). Bureau of Land Management.
- Duniway, M.C., Pfennigwerth, A.A., Fick, S.E., Nauman, T.W., Belnap, J., & Barger, N.N. (2019). Wind erosion and dust from U.S. drylands: A review of causes, consequences, and solutions in a changing world. *Ecosphere*, 10(3), e02650. <https://doi.org/10.1002/ecs2.2650>
- Fulajtar, E., Mabitt, L., Renschler, C.S., & Lee, Z.Y.A. (2017). *Use of 137Cs for soil erosion assessment*. Food and Agriculture Organization of the United Nations.
- Gendugov, V.M., & Glazunov, G.P. (2007). *Vetrovaja jerozija pochvy i zapylenie vozduha [Wind erosion of soil and air dust]*. FIZMATLIT.
- Golosov, V.N., Collins, A.L., Dobrovolskaya, N.G., Bazhenova, O.I., Ryzhov, Y.V., & Sidorchuk, A.Y. (2021). Soil loss on the arable lands of the forest-steppe and steppe zones of European Russia and Siberia during the period of intensive agriculture. *Geoderma*, 381, 114678. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2020.114678>
- Gusarov, A.V., Golosov, V.N., Sharifullin, A.G., & Gafurov, A.M. (2018). Sovremennyy trend jerozii pahotnykh chernozemov juzhnykh na zapade Orenburgskoj oblasti [Current erosion trend of southern arable chernozems in the west of the Orenburg region]. *Pochvovedenie*, 5, 601–616.
- Kuanyshbaev, S.B. (2010). *Deflationary and accumulative processes in Southern Pribalhash*. Kostanay State Pedagogical Institute.
- Kuznecov, M.S., & Glazunov, G.P. (2020). *Jerozija i ohrana pochv [Erosion and soil conservation]*. Moscow State University Press.
- Lackóová, L., et al. (2023). Unlocking the potential of remote sensing in wind erosion studies: A review and outlook for future directions. *Remote Sensing*, 15(13), 3316. <https://doi.org/10.3390/rs15133316>

- Larionov, G.A. (1993). *Jerozija i defljacija pochv: Osnovnye zakonomernosti i kolichestvennye ocenki [Soil erosion and deflation: Basic patterns and quantitative estimates]*. Moscow State Univ. Press.
- Loughran, R.J., Pennock, D.J., & Walling, D.E. (2002). Spatial distribution of Caesium-137. In F. Zapata (Ed.), *Handbook for the assessment of soil erosion and sedimentation using environmental radionuclides*. pp. 97–109. Springer. https://doi.org/10.1007/0-306-48054-9_6
- Mabit, L., Benmansour, M., & Walling, D.E. (2008). Comparative advantages and limitations of fallout radionuclides (^{137}Cs , ^{210}Pb and ^7Be) to assess soil erosion and sedimentation. *J. of Environ. Radioactivity*, 99(12), 1799–1807. <https://doi.org/10.1016/j.jenvrad.2008.08.009>
- Mandakh, N., Tsogtbaatar, J., Dash, D., et al. (2016). Spatial assessment of soil wind erosion using WEQ approach in Mongolia. *J. of Geogr. Sci.*, 26, 473–483. <https://doi.org/10.1007/s11442-016-1280-5>
- Mendez, M.J. (2022). A new wind erosion sampler called “Mendez’s trap (MT)”: Description and field performance test in a loamy sand soil. *Aeolian Research*, 56, 100800. <https://doi.org/10.1016/j.aeolia.2022.100800>
- Ivanov, A.L. (Ed.). (2013). *Nauchnye osnovy predotvrashhenija degradacii pochv (zemel') sel'skohozjajstvennyh ugodij Rossii i formirovanija sistem vosproizvodstva ih plodородija v adaptivno-landshafinom zemledelii*. Pochvennyj Institut im. V.V. Dokuchaeva.
- Ritchie, J.C., & McCarty, G.W. (2003). $^{137}\text{Cesium}$ and soil carbon in a small agricultural watershed. *Soil and Tillage Research*, 69(1–2), 45–51. [https://doi.org/10.1016/S0167-1987\(02\)00127-7](https://doi.org/10.1016/S0167-1987(02)00127-7)
- Sac, M.M., Ugur, A., Yener, G., & Ozden, B. (2008). Estimates of soil erosion using cesium-137 tracer models. *Environ. Monit. and Assess.*, 136(1–3), 461–467. <https://doi.org/10.1007/s10661-007-9700-8>
- Sarseeva, L.B., & Aidarov, O.T. (2021). Natural development trends of geosites in Kyzylorda region. In *The VIII International Science Conference “Impact of Modernity on Science and Practice”*. Madrid, Spain.
- Shrestha, D.P. (2008). *Guidelines for monitoring and assessment of wind erosion at site level: Prepared for the ACSAD, Damascus, Syria*. ACSAD. <https://research.utwente.nl/en/publications/guidelines-for-monitoring-and-assessment-of-wind-erosion-at-site->
- Trofimec, L.N., et al. (2022). Primenenie cезия-137 chernobyl'skogo proishozhdenija dlja rascheta jerozionnyh poter' pochvy na uchastkah vypahannyh pochv v bassejne verhnej Oki [Application of cesium-137 of Chernobyl origin to calculate soil erosion losses in areas of plowed soils in the Upper Oka basin]. *InterKarto-InterGIS: Geoinformacionnoe obespechenie ustojchivogo razvitiya territorij*, 28, 813–828.
- Woodruff, N.P., & Siddoway, F.H. (1965). A wind erosion equation. *Soil Sci. Soc. of America Proc.*, 29(5), 602–608. <https://doi.org/10.2136/sssaj1965.03615995002900050035x>
- Ypsilantis, W.G. (2011). *Upland soil erosion monitoring and assessment: An overview* (Technical Note 438). Bureau of Land Manag. <https://doi.org/10.5962/bhl.title.154510>
- Zhidkin, A.P., Shamshurina, E.N., Golosov, V.N., Komissarov, M.A., Ivanova, N.N., & Ivanov, M.M. (2020). Detailed study of post-Chernobyl Cs-137 redistribution in the soils of a small agricultural catchment (Tula region, Russia). *J. of Environ. Radioactivity*, 223–224, 106386. <https://doi.org/10.1016/j.jenvrad.2020.106386>
- Zinabdin, N.B. (2020). Landscape and ecological analysis of land degradation in the Syr Darya River delta and the dried-up bed of the Aral Sea. *Bull. of KazNU. Geography Series*, 55(4), 37–46. <https://doi.org/10.26577/JGEM.2020.v55.i4.04>

Авторлар туралы мәлімет:

Нургуль Сагындыковна Сиханова – PhD, Қорқыт Ата атындағы Қызылорда университеті “Электр энергетикасы, техносфералық қауіпсіздік және экология” БББ қауымдастырылған профессоры м.а. (Қызылорда, Қазақстан, e-mail: sihanova.nurgul@mail.ru).

Ерлан Алимжанович Шынбергенев (жауапты автор) – PhD, Қорқыт Ата атындағы Қызылорда университеті “Су шаруашылығы және жерге орналастыру” БББ қауымдастырылған профессоры м.а. (Қызылорда, Қазақстан, e-mail: shynbergenov.erlan@mail.ru).

Бахыткуль Торебаевна Кенжалиева – ауылшаруашылық ғылымдарының кандидаты, Қорқыт Ата атындағы Қызылорда университеті “Су шаруашылығы және жерге орналастыру” БББ қауымдастырылған профессоры м.а. (Қызылорда, Қазақстан, e-mail: Kenzhalieva@korkyt.kz).

Information about the authors:

Nurgul Sikhanova – PhD, Acting Associate Professor of the Educational Program “Electric Power Engineering, Technosphere Safety and Ecology”, Korkyt Ata Kyzylorda University (Kyzylorda, Kazakhstan, e-mail: sihanova.nurgul@mail.ru).

Erlan Shynbergenov (Corresponding Author) – PhD, Acting Associate Professor of the Educational Program “Water Management and Land Administration”, Korkyt Ata Kyzylorda University (Kyzylorda, Kazakhstan, e-mail: shynbergenov.erlan@mail.ru).

Bakhytkul Kenzhalieva – Candidate of Agricultural Sciences, Acting Associate Professor of the Educational Program “Water Management and Land Administration”, Korkyt Ata Kyzylorda University (Kyzylorda, Kazakhstan, e-mail: Kenzhalieva@korkyt.kz).

Сведения об авторах:

Сиханова Нургуль Сагиндыковна – PhD, и.о. ассоциированного профессора образовательной программы «Электроэнергетика, техносферная безопасность и экология» Кызылординского университета имени Коркыт Ата (Кызылорда, Казахстан, e-mail: sihanova.nurgul@mail.ru).

Шынбергенев Ерлан Алимжанович (автор для корреспонденции) – PhD, и.о. ассоциированного профессора образовательной программы «Водное хозяйство и землеустройство» Кызылординского университета имени Коркыт Ата (Кызылорда, Казахстан, e-mail: shynbergenov.erlan@mail.ru).

Кенжалиева Бахыткуль Торебаевна – кандидат сельскохозяйственных наук, и.о. ассоциированного профессора образовательной программы «Водное хозяйство и землеустройство» Кызылординского университета имени Коркыт Ата (Кызылорда, Казахстан, e-mail: Kenzhalieva@korkyt.kz).

Келіп түсті: 11 қазан 2025 жыл

Қабылданды: 14 сәуір 2026 жыл

2-бөлім
ГЕОЭКОЛОГИЯ ЖӘНЕ КАРТОГРАФИЯ

Section 2
GEOECOLOGY AND CARTOGRAPHY

Раздел 2
ГЕОЭКОЛОГИЯ И КАРТОГРАФИЯ

МРНТИ 87.27.02

<https://doi.org/10.26577/JGEM812202612>

С.А. Османова*, Лию Зихуан

Бакинский Государственный Университет, Баку, Азербайджан

*e-mail: osmanova-sona@mail.ru

ВЛИЯНИЕ КЛИМАТИЧЕСКИХ ИЗМЕНЕНИЙ НА ЭКОСИСТЕМЫ ГЫЗЫЛАГАЧСКОГО НАЦИОНАЛЬНОГО ПАРКА: ПРОГНОЗЫ И АДАПТАЦИЯ

Основная цель исследования – комплексный анализ деградационных процессов в экосистемах Гызылагачского национального парка (Рамсарское угодье № 168) под воздействием регионального потепления и регрессии Каспийского моря. Исследование базируется на синтезе прогностических сценариев IPCC (модели RCP4.5 и RCP8.5) с данными мультиспектрального дистанционного зондирования Земли. Эмпирическую базу составили результаты полевых экспедиций (включая верификацию состояния гнездовий в 2025 году), направленных на оценку трансформации водно-болотных комплексов в условиях падения уровня моря. Выявлена устойчивая тенденция к критической аридизации и вторичному засолению ландшафтов, что спровоцировало глубокую фрагментацию гидрофильных биотопов. Установлено, что деградация кормовой базы и утрата экологической связности лагунных систем ведут к дестабилизации миграционных стратегий кудрявого пеликана (*Pelecanus crispus*) и розового фламинго (*Phoenicopterus roseus*). Доказано, что текущая скорость экосистемных трансформаций делает традиционные пассивные меры охраны недостаточными. Также разработан и обоснован протокол адаптивного управления территорией, предлагающий активную коррекцию водного режима через модернизацию коллекторно-дренажной сети. Впервые предложена концепция динамических зон мониторинга, позволяющая оперативно реагировать на изменение береговой линии и сохранять функцию парка как ключевого орнитологического рефугиума Каспийского бассейна в условиях климатического стресса.

Ключевые слова: Гызылагачский национальный парк, регрессия Каспийского моря, климатическая адаптация, орнитофауна, водно-болотные угодья.

S.A.Osmanova*, Liu Zixuan

Baku State University, Baku, Azerbaijan

*e-mail: osmanova-sona@mail.ru

Impact of climate change on the ecosystems of Gizilagaj National Park: projections and adaptation

The primary objective of this study is a comprehensive analysis of degradation processes within the ecosystems of the Gizilagaj National Park (Ramsar Site No. 168) under the combined influence of regional warming and the regression of the Caspian Sea. The research is based on a synthesis of IPCC predictive scenarios (RCP4.5 and RCP8.5 models) with multi-spectral Earth remote sensing data. The empirical framework comprises results from field expeditions (including the 2025 verification of nesting site conditions) aimed at assessing the transformation of wetland complexes amidst falling sea levels. A steady trend toward critical aridization and secondary salinization of landscapes was identified, triggering deep fragmentation of hydrophilic biotopes. The study establishes that the degradation of the forage base and the loss of ecological connectivity within lagoon systems lead to the destabilization of migration strategies for the Dalmatian Pelican (*Pelecanus crispus*) and the Greater Flamingo (*Phoenicopterus roseus*). It is demonstrated that the current rate of ecosystem transformation renders traditional passive conservation measures insufficient. Furthermore, a protocol for adaptive management of the territory was developed and justified, proposing active correction of the water regime through the modernization of the collector-drainage network. For the first time, a concept of dynamic monitoring zones is proposed, allowing for rapid response to coastline shifts and the preservation of the park's function as a key ornithological refugium of the Caspian Basin under climate stress.

Keywords: Gizilagaj National Park, Caspian Sea regression, climate adaptation, avifauna, wetlands.

С.А. Османова*, Лиу Зихуан

Баку Мемлекеттік Университеті, Баку, Әзірбайжан

*e-mail: osmanova-sona@mail.ru

Гызылагач ұлттық паркінің экожүйелеріне климаттың өзгеруінің әсері: болжамдар және бейімделу

Зерттеудің негізгі мақсаты – аймақтық жылыну мен Каспий теңізі регрессиясының әсерінен Гызылагач ұлттық паркі (№ 168 Рамсар алқабы) экожүйелеріндегі деградациялық процестерге кешенді талдау жасау. Зерттеу жұмысы IPCC-тің болжамды сценарийлерін (RCP4.5 және RCP8.5 модельдері) Жерді мультиспектрлі қашықтықтан зондау деректерімен синтездеуге негізделген. Эмпирикалық базаны теңіз деңгейінің төмендеуі жағдайындағы сулы-батпақты кешендердің трансформациясын бағалауға бағытталған далалық экспедициялардың нәтижелері (соның ішінде 2025 жылғы ұя салу орындарының жай-күйін тексеру) құрады. Ландшафттардың критикалық аридизацияға және қайталама тұздануға бейімділігінің тұрақты тенденциясы анықталды, бұл гидрофильді биотоптардың терең фрагментациясына әкеп соқтырды. Қоректік базаның деградациясы мен лагуналық жүйелердің экологиялық байланысының үзілуі бұйра бірқазан (*Pelecanus crispus*) мен қызғылт фламингоның (*Phoenicopterus roseus*) көші-қон стратегияларының тұрақсыздануына себеп болатыны дәлелденді. Экожүйелік трансформациялардың қазіргі қарқыны дәстүрлі пассивті қорғау шараларының тиімсіздігін көрсетті. Сонымен қатар коллекторлық-дренаждық желіні жаңғырту арқылы су режимін белсенді түзетуді қарастыратын аумақты бейімделген басқару хаттамасы әзірленіп, негізделді. Алғаш рет климаттық стресс жағдайында жағалау сызығының өзгеруіне жедел әрекет етуге және парктің Каспий бассейніндегі негізгі орнитологиялық рефугиум ретіндегі функциясын сақтауға мүмкіндік беретін динамикалық мониторинг аймақтарының тұжырымдамасы ұсынылды.

Түйін сөздер: Гызылагач ұлттық паркі, Каспий теңізінің регрессиясы, климаттық бейімделу, орнитофауна, сулы-батпақты алқаптар.

Введение

Гызылагачский национальный парк – Рамсарское угодье №168, выполняющее роль важнейшего биогеографического узла Западной Палеарктики для миграции птиц (Ramsar Convention Secretariat, 2016; Smith et al., 2018). Актуальность исследования обусловлена фазой экологического форс-мажора: к началу 2025 года стремительная регрессия Каспийского моря достигла критической отметки -29,11 м (ICWC, 2023). Это, в сочетании с падением объемов регионального речного стока и ростом температур (Азгидромет, 2023; ВМО, 2024), катализирует резкую аридизацию и экологический сдвиг на сопредельных полусушливых территориях (Гасанов, 2022).

Существующие классические работы (Алиев и др., 2019; Гасанова, 2021) преимущественно сфокусированы на общем описании биоты и температурных аномалиях. В то же время отсутствуют динамические модели, учитывающие текущую скорость обмеления мелководий, деградацию русел в нижнем течении Куры (Джамалов, Рустамова, 2021), а также сопряженную гипергалинную трансформацию лагун и замещение гидрофильной флоры галофитными солончаковыми комплексами (Гараева, 2020; Мамедов и др., 2020). Реальные деструктивные

процессы опережают пессимистичные прогнозы (Gurbanov & Gasanov, 2023; Zöckler & Delany, 2019), что требует немедленного пересмотра моделей мониторинга.

Объектом исследования являются водно-болотные и прибрежные экосистемы Гызылагачского национального парка. Предметом – пространственно-временные механизмы их трансформации под воздействием макроклиматических и гидрологических факторов. Цель исследования – научное обоснование стратегии адаптивного управления ГНП на основе кросс-аналитики метеорологических трендов и данных дистанционного зондирования Земли (AzFA, 2023; Azgizspace, 2023) за цикл 2024-2025 гг. Для достижения цели поставлены задачи: оценить масштабы трансформации береговой линии по спутниковым данным; выявить тренды гидрологического режима лагун; спрогнозировать устойчивость экосистем орнитофауны (BirdLife International, 2022; Ornithological Society of Azerbaijan, 2023) к климатическому стрессу.

Научная новизна заключается в интеграции прогностических сценариев IPCC (RCP 4.5 и 8.5; см. IPCC, 2021) с оперативными мультиспектральными данными ГИС для прибрежных зон Южного Каспия (UNEP, 2022). Практическая значимость определяется разработкой приклад-

ных рекомендаций для перехода менеджмента ГНП от пассивной охраны к долгосрочному адаптивному планированию (Millennium Ecosystem Assessment, 2005).

Обзор литературы

В современной научной литературе наблюдается парадигмальный сдвиг в изучении Гызылагачского национального парка: акцент смещается с инвентаризации биологического разнообразия на оценку системной уязвимости перед лицом регрессии Каспийского моря. Согласно оценкам экспертов IPCC (2021) и WMO (2024), юго-восточный сектор Каспия признан одной из «горячих точек» глобальной климатической нестабильности, где интенсивность аридизации ландшафтов существенно опережает среднемировые тренды.

Процессы потепления в Южном Каспии характеризуются аномально высокой динамикой. За последние десятилетия рост среднегодовой температуры составил 1,5-2,0°C (Азгидромет, 2023), что не только коррелирует с жесткими прогностическими сценариями RCP4.5 и RCP8.5, но и свидетельствует о вхождении экосистем Ленкоранской низменности в фазу критического теплового стресса. Гасанова (2021) и Алиев (2019) доказывают, что сокращение годовой суммы осадков на 10-20% в сочетании с экстремальной испаряемостью радикально трансформирует водный баланс низинных болот. По данным Azgizspace (2023) и ICWC (2023), деградация данных зон усугубляется «камышовой экспансией» (*Phragmites expansion*) и прогрессирующим засолением почв, что снижает эффективность традиционных мер охраны, предусмотренных Рамсарской конвенцией (Ramsar Convention Secretariat, 2016).

Вопрос колебаний уровня моря перешел из теоретической дискуссии в плоскость кризисного мониторинга. Если в исследованиях начала 2020-х годов фиксировалось понижение уровня на 6-10 см в десятилетие (ICWC, 2023), то фактические данные к 2025 году (отметка -29,11 м) указывают на резкое ускорение этого процесса. Zöckler & Delany (2019) ранее прогнозировали риск утраты мелководных зон, однако текущая трансформация границы «суша-вода» (Gurbanov & Gasanov, 2023) превосходит данные ожидания по масштабам фрагментации биотопов. Происходит не только изменение геоморфологической структуры береговой линии, но и разрушение

экологической связности дельтовых систем, выполняющих роль биологических фильтров.

Гызылагач как стратегический узел Восточно-Африканско-Евразийского миграционного пути (BirdLife International, 2022) сегодня сталкивается с явлением фенологического десинхрона. Мониторинговые отчеты AzFA (2023) и Орнитологического общества Азербайджана (2023) фиксируют критическое снижение численности глобально угрожаемых видов, таких как кудрявый пеликан (*Pelecanus crispus*) и краснозобая казарка (*Branta ruficollis*). Ключевая проблема заключается в формировании «трофического разрыва» – нарушении синхронности между пиками сезонных миграций и периодами доступности кормовых ресурсов. Это ставит под угрозу выполнение Азербайджаном международных обязательств по сохранению мигрирующих видов (Smith et al., 2018).

Анализ существующих публикаций выявляет значительный разрыв между теоретическим моделированием адаптации и реальной скоростью деградации мелководий. Большинство работ носит ретроспективный характер, в то время как текущая ситуация требует перехода от пассивной фиксации изменений к протоколам адаптивного управления (WMO, 2024; ICWC, 2023). Необходимо междисциплинарное объединение методов гидрологии, высокоточного зондирования и прикладной орнитологии для разработки оперативных мер по сохранению экосистемного рефугиума.

Методология

Информационную базу климатического анализа составили валидированные массивы среднемесячных температур воздуха и объемов атмосферных осадков за многолетний период, агрегированные из официальных архивов Азгидромета (2023) и Всемирной метеорологической организации (WMO, 2024). Для долгосрочного прогнозирования экосистемных сдвигов до конца XXI века использован ансамбль климатических моделей CMIP6 (моделирование шестой фазы) в рамках сценариев SSP2-4.5 (умеренно-стабилизационный сценарий) и SSP5-8.5 (высокоэмиссионный, экстремальный сценарий) в соответствии с методологическими рекомендациями IPCC (2021). Статистическая обработка временных рядов проводилась методами непараметрического критерия Манна-Кендалла для выявления значимости климатических трендов и

оценки Тейла-Сена для определения их наклона (Гасанов, 2022).

Мониторинг пространственно-временной трансформации береговой линии и динамики зеркала водной поверхности Большого и Малого Гызылагачских заливов осуществлялся на основе обработки мультиспектральных спутниковых снимков Landsat 8/9 (OLI, разрешение 30 м) и Sentinel-2 (MSI, разрешение 10 м) за репрезентативный цикл 2024-2025 гг. Оценка динамики акватории проводилась по следующему алгоритму: Радиометрик и атмосферная коррекция снимков в программном пакете ArcGIS / QGIS (Azgizspace, 2023). Расчет модифицированного нормализованного разностного водного индекса (MNDWI) для прецизионного выделения открытых водных поверхностей на фоне солончаковой растительности. Бинаризация полученных растровых карт по пороговым значениям индекса для вычисления точной площади обводнения.

Динамика высыхания лагун сопоставлялась с актуальными темпами регрессии Каспийского моря, зафиксированными в отчетах Международной координационной водохозяйственной комиссии (ICWC, 2023). Оценка водного баланса территории проводилась с учетом объемов антропогенного притока пресной воды через систему коллекторно-дренажных каналов в нижнем течении реки Куры (Джамалов, Рустамова, 2021). При вычислении эвапотранспирации (испаряемости) использовалось уравнение Пенмана-Монтейса, скорректированное на коэффициенты экстремальной аридности последних лет (Gurbanov & Gasanov, 2023).

Для верификации данных дистанционного зондирования и оценки климатического воздействия на биоту была проведена серия полевых изысканий, включая контрольную полевую фазу в мае 2025 года (AzFA, 2023). Методология натурных работ включала:

Орнитологический учет: Прямой и точечный учет гнездовых колоний и мигрирующих околоводных птиц на трансектах в ключевых орнитологических точках (IBA), согласованный со стандартами глобальных репозиторий (BirdLife International, 2022) и локальными отчетами Орнитологического общества Азербайджана (2023). Особое внимание уделялось глобально угрожаемым видам: розовому пеликану (*Pelecanus onocrotalus*) и краснозобой казарке (*Branta ruficollis*) (Smith et al., 2018; Wetlands International, 2020).

Геоботаническое картирование: Оценка степени замещения типичных гидрофильных макрофитов (тростниковых и рогозовых ассоциаций) галофитными солончаковыми комплексами выполнялась по стандартным методикам на пробных площадках размером 10×10 м (Гареева, 2020; Мамедов и др., 2020).

Почвенный экспресс-анализ: На заложенных профилях проводился отбор проб для определения степени вторичного засоления почв прибрежной зоны. Измерение удельной электрической проводимости (ЕС) и плотного остатка водных вытяжек осуществлялось для контроля динамики аридизации ландшафтов (Гасанова, 2021).

Интеграция полученных разнородных данных в рамках единой ГИС-платформы позволила сформировать основу для разработки долгосрочной стратегии адаптивного менеджмента территорий (Millennium Ecosystem Assessment, 2005; Ramsar Convention Secretariat, 2016; UNEP, 2022).

Результаты и обсуждение

Анализ многолетних метеорологических рядов подтверждает гипотезу о том, что Гызылагачский национальный парк находится в эпицентре интенсивной региональной климатической аномалии. Согласно валидированным архивам Азгидромета (2023), за последние семь десятилетий среднегодовая температура воздуха в границах изучаемого кластера претерпела выраженный положительный сдвиг. Если в базисный период (1950-1970 гг.) этот показатель составлял 13,2°C, то в актуальном временном срезе (2011-2023 гг.) он достиг 15,1°C (Таблица 1). Зафиксированный локальный рост на 1,9°C существенно опережает среднеглобальные тренды, заложенные в отчетах IPCC (2021) для аналогичных широт (на уровне 1,1-1,3°C). Такая дельта свидетельствует об экстремальной уязвимости низменных полузасушливых ландшафтов Юго-Восточного Прикаспия к термодинамическому форсингу (Гасанов, 2022).

Интенсификация теплового стресса в сочетании с падением объема атмосферных осадков катализирует каскадную деградацию охраняемых водно-болотных комплексов (WMO, 2024). На основе кросс-анализа натурных и дистанционных данных нами выделены три ключевых деструктивных вектора воздействия климатических факторов:

Таблица 1

Динамика среднегодовой температуры воздуха в районе Гызылагачского НП (по десятилетиям) (Азгидромет, 2023)

Период	Среднегодовая температура (°C)	Изменение (°C)
1950-1970 гг.	13,2	-
1971-1990 гг.	13,8	+0,6
1991-2010 гг.	14,4	+1,2
2011-2023 гг.	15,1	+1,9

Примечание: составлено автором

1. Гидрологический дисбаланс и гипергалинная трансформация акватории. Усиление потенциальной испаряемости на фоне прогрессирующего дефицита пресного стока малых рек (Болгарчай и Ленкоранчай), а также падения объемов притока из коллекторно-дренажных сетей бассейна Куры (Джамалов, Рустамова, 2021) радикально трансформирует гидрохимический режим лагуны. В условиях катастрофической регрессии Каспийского моря до отметки -29,11 м (ICWC, 2023) происходит не просто физическое сокращение площади водного зеркала, а резкое повышение минерализации вод. Гипергалинизация внутренних водоемов разрушает бентосные сообщества и макрофитную флору, составляющие основу трофической базы для нагула и зимовки мигрирующих популяций (Gurbanov & Gasanov, 2023; Zöckler & Delany, 2019).

2. Трофическая десинхронизация (фенологический сдвиг). Наши майские полевые наблюдения (2025 г.) фиксируют критическое рассогласование биологических ритмов мигрирующей орнитофауны с локальной динамикой кормовой базы. Рост весенних температур смещает сроки пролета и начала гнездования гидрофильных видов, что ведет к выраженно-

му «трофическому разрыву». Пик энергетической потребности птиц в периоды насиживания и вылупления птенцов более не совпадает во времени с периодом массового размножения и максимальной биомассы местных гидробионтов и насекомых (Smith et al., 2018; Wetlands International, 2020).

3. Экологическая деградация и фрагментация репродуктивных зон. Особую тревогу вызывает состояние прибрежных иловых отмелей и мелководных камышовых станций. Температурные экстремумы, ускоряющие высыхание почв, вызывают масштабное вторичное засоление и замещение гидрофильной растительности солончаковыми галофитными сукцессиями (Гараева, 2020; Мамедов и др., 2020). Подобная трансформация ландшафтов фактически ликвидирует традиционные нерестилища рыб и защищенные гнездовые станции птиц. В условиях критической фрагментации биотопов под угрозу ставится репродуктивный успех и воспроизводство охраняемых видов Западной Палеарктики (BirdLife International, 2022; UNEP, 2022).

Динамика уровня Каспийского моря. Каспийское море функционирует как замкнутый естественный «климатограф», чей уровень детерминирован исключительно внутренним гидрологическим балансом бассейна. В настоящее время водоем находится в фазе форсированной климатогенной регрессии. По данным Международной координационной водохозяйственной комиссии (ICWC, 2023), к концу 2023 года выраженное снижение уровня привело к масштабному обнажению береговой полосы. Включение в аналитическую базу результатов наших полевых изысканий и данных спутникового мониторинга зафиксировало, что к началу 2025 года падение уровня достигло критической отметки -29,11 м, вызвав абсолютную изоляцию малых внутренних заливов ГНП (Таблица 2).

Таблица 2

Хронология регрессии Каспийского моря и сопряженный экосистемный отклик ландшафтов ГНП

Период	Отклонение уровня (м)	Абсолютная отметка (м БС)	Экологический статус и доминирующие ландшафтно-сукцессионные процессы
1995	0,0 (базис)	-26,50	Стабильный гидрологический режим лагун; оптимальный баланс пресного и морского питания
2005	-0,25	-26,75	Начальная стадия аридизации; локальная экспансия прибрежно-водной макрофитной растительности
2015	-0,55	-27,05	Осушение и деградация мелководий; критическая фрагментация нерестовых путей полупроходных рыб

Период	Отклонение уровня (м)	Абсолютная отметка (м БС)	Экологический статус и доминирующие ландшафтно-сукцессионные процессы
2023	-0,70	-27,20	Разрыв стабильных гидрологических связей; гипергалинизация внутренних изолированных акваторий
2025	-2,61	-29,11	Критическая фаза (форс-мажор): глубокое осушение лагун, повсеместное вторичное засоление почв, деградация кормовой базы

Примечание: составлено автором

Падение базового уровня моря запускает необратимые сукцессионные процессы в прибрежной зоне, которые можно классифицировать по трем основным направлениям:

1) Галофитизация и механическое зарастание биотопов. Обнажение литоральных мелководий провоцирует интенсивное капиллярное поднятие грунтовых вод и последующее сильное засоление поверхностных горизонтов почв. Это стимулирует неконтролируемую экспансию тростниковых сообществ (*Phragmites australis*), формирующих сплошные непроходимые сплавины. В результате блокируется доступ орнитофауны к открытым плесам, уничтожаются гнездовые станции куликов и сокращается площадь нагульных территорий (Гараева, 2020; Мамедов и др., 2020).

2) Трофический коллапс гидробионтов. Критический рост концентрации солей во внутренних водоемах угнетает и уничтожает пресноводную и солоноватоводную микрофлору и микрофауну. Падение биомассы бентоса и зоопланктона ведет к разрушению высших звеньев пищевой цепи, лишая корма охраняемые виды веслоногих и гусеобразных птиц (Smith et al., 2018; Wetlands International, 2020).

3) Гидравлическая изоляция акваторий. Дальнейший спад уровня приводит к полной потере гидравлической связи между Малым заливом и открытым морем. В условиях дефицита речного стока заповедные акватории превращаются в изолированные испарительные бассейны с нарушенным гидрохимическим режимом (Гасанова, 2021).

Помимо сугубо экологического ущерба, регрессия Каспия формирует зону выраженной социально-экономической депрессии. Масштабная деградация нерестилищ и заиление подходов каналов полностью подрывают воспроизводство биоресурсов (UNEP, 2022). Параллельно с этим критическое обмеление делает невозможным

развитие инфраструктуры экологического туризма в ее текущем виде.

Данные гидрологического моделирования (Gurbanov & Gasanov, 2023) подтверждают, что без экстренного внедрения комплексов адаптивного менеджмента (включающих инженерное регулирование объемов пресного стока и локальную защиту гидрологического затвора лагун) Гызылагачский национальный парк рискует безвозвратно утратить статус ключевого орнитологического резервата международного уровня. Таким образом, устойчивое управление данной ООПТ должно базироваться на динамическом пространственном планировании, учитывающем сценарии экстремальной вариабельности Каспийского бассейна (Millennium Ecosystem Assessment, 2005; Ramsar Convention Secretariat, 2016).

Годовые и сезонные осадки. Одним из ключевых макроклиматических факторов, детерминирующих направленную трансформацию и глубокую аридизацию экосистем Гызылагачского национального парка, выступает прогрессирующее сокращение атмосферного увлажнения. Анализ многолетних метеорологических рядов Азгидромета (2023) выявил устойчивую отрицательную динамику: среднемноголетний объем осадков в юго-восточном секторе Прикаспия снизился с 400 мм (базисный период 1970-1990 гг.) до 340 мм в актуальном цикле 2011-2023 гг. (Таблица 3). Данное падение на 15% за последние полвека носит выраженный трендовый характер и сопровождается качественным ухудшением сезонного распределения влаги (WMO, 2024).

Наиболее критический дефицит увлажнения фиксируется в летний период (июнь-август), что усугубляет общий термодинамический форсинг региона. Если в 1980-х годах среднесезонный объем летних осадков варьировался в пределах 130 мм, то в период 2011-2023 гг. этот показатель упал до 95 мм, продемонстрировавший выраженный спад на 26,9% (Гасанова, 2021).

Таблица 3

Динамика среднегодового количества осадков в Гызылагачском НП (1970-2023 гг.)

Период	Среднегодовое количество осадков, мм	Летние осадки (июнь-август), мм	Изменение годовых осадков (к базису 1970-1990 гг., %)	Изменение летних осадков (к базису 1970-1990 гг., %)
1970-1990 гг.	400	130	-	-
1991-2010 гг.	370	115	-7,5	-11,5
2011-2023 гг.	340	95	-15,0	-26,9

Примечание: составлено автором

Такое сезонное перераспределение осадков на фоне роста приземных температур воздуха провоцирует резкую интенсификацию летней аридности ландшафтов. Острый дефицит почвенной влаги и коренное нарушение гидробаланса прибрежных маршей ведут к ускоренной деградации лугово-болотных и солончаковых растительных комплексов, исторически формировавших структуру парка (Гараева, 2020; Мамедов и др., 2020). Падение объемов пресного поверхностного питания лагун и сопутствующий рост испаряемости напрямую отражаются на пространственном распределении и репродуктивном успехе орнитофауны. Из-за пересыхания иловых отмелей водоплавающие и околоводные птицы полностью утрачивают доступ к экологически оптимальным, защищенным мелководным участкам (Smith et al., 2018; Wetlands International, 2020).

По сведениям Агентства биологических ресурсов Азербайджана (AzFA, 2023), в годы фиксации экстремальных засух (в частности, в 2014, 2018 и 2022 гг.) локальный мониторинг выявил резкое падение численности гнездящихся и транзитных видов птиц – в среднем на 18-22% относительно среднесноголетней нормы (Ornithological Society of Azerbaijan, 2023). Осушение прибрежной полосы не только разрушает кормовые биотопы (BirdLife International, 2022), но и обеспечивает сухопутным хищникам прямой физический доступ к островным гнездовым колониям. Таким образом, дефицит атмосферных осадков выступает мощным катализатором фрагментации и дестабилизации экосистем Рамсарского угодья, что требует незамедлительного внедрения активных мер гидрологической адаптации и инженерно-технического регулирования пресного стока (Gurbanov & Gasanov, 2023; UNEP, 2022).

Современное состояние и динамика водно-болотных угодий. Водно-болотные угодья Гызылагачского национального парка, имеющие международный статус Рамсарских угодий, представляют собой сложную, динамичную мозаику гидроморфных и полугидроморфных экосистем. Данный комплекс включает мелководные лагуны (Большой и Малый Гызылагачские заливы), прибрежные марши, тростниковые плавни, солончаки и периодически затопляемые низинные биотопы. Эти ландшафты обладают исключительной функциональной и биоценотической значимостью в масштабах всего Каспийского бассейна. Они обеспечивают нерест и нагул более 30 видов рыб, включая промышленно ценных кутума (*Rutilus kutum*) и леща (*Abramis brama*), а также поддерживают стабильное функционирование орнитокомплексов, насчитывающих до 250 видов птиц (Aliev et al., 2019). Среди них особое место занимают транзитные и гнездящиеся популяции видов, находящихся под глобальной угрозой исчезновения, таких как кудрявый пеликан (*Pelecanus crispus*) и малая выпь (*Ixobrychus minutus*). Помимо сохранения биоразнообразия, угодья выполняют важнейшие средообразующие и экосистемные функции: долговременное депонирование углерода, биофильтрацию поверхностных стоков и эффективную стабилизацию локального микроклимата Прикаспийской низменности (Ramsar Convention Secretariat, 2021).

Ландшафтно-экологический анализ и ретроспективный мониторинг (Gasanova, 2021) указывают на экстремально высокую чувствительность водно-болотных комплексов к вековым флуктуациям уровня Каспийского моря и прогрессирующему дефициту атмосферного увлажнения. Вековая регрессия Каспия, выразившаяся в падении его уровня на 0,7 м за период с 1995

по 2023 год (ICWC, 2023), привела к полной изоляции около 18% площадей сезонных лагун от основного бассейна. В условиях прекращения гидравлической связи и прекращения нагонных явлений в изолированных акваториях активизировались процессы глубокой экосистемной деградации. Они сопровождаются переходом водоемов в гипергалинный режим функционирования и последующим замещением типичной гидрофильной флоры галофитными сукцессиями с доминированием солянки европейской (*Salicornia europaea*). Данные дистанционного зондирования Земли (аппараты Sentinel-2) подтверждают сокращение площади активных (регулярно обводняемых) заболоченных участков на 21%, причем этот процесс наиболее выражен

в уязвимом юго-восточном секторе национального парка (Azgizspace, 2023).

Кумулятивный деструктивный эффект усиливается на фоне падения годовой суммы осадков на 15% – с 400 мм до 340 мм (Azgidromet, 2023). Критический дефицит атмосферных осадков в летний триместр (июнь-август) провоцирует глубокую депрессию уровня грунтовых вод и полную элиминацию погруженных макрофитов, в первую очередь рдестов (*Potamogeton spp.*) и урути (*Myriophyllum spp.*). Исчезновение этих гидрофитов коренным образом подрывает трофический базис и нарушает структуру консорций всей водно-болотной экосистемы, лишая рыб и птиц ключевых кормовых ресурсов (Mamedov et al., 2020).

Таблица 4

Количественные и качественные изменения параметров водно-болотных экосистем Гызылагачского НП под влиянием климатических и гидрологических факторов

Параметры экосистем	Показатели в 1970-1990 гг.	Показатели в 2011-2023 гг.	Направленность и величина изменений
Уровень Каспийского моря (Балтийская система высот, БС)	-26,3 м	-27,0 м	Снижение уровня на $\approx 0,7$ м
Среднегодовое количество осадков (за цикл)	400 мм	340 мм	Сокращение на 15,0%
Осадки в летний период (июнь-август)	130 мм	95 мм	Дефицит увлажнения на 26,9%
Площадь активных заболоченных участков (по данным ДЗЗ)	~ 8500 га	~ 6700 га	Сокращение площади на 21,2%
Количество изолированных лагунных участков	2-3 единицы	12-14 единиц	Увеличение фрагментации более чем в 4 раза
Площадь распространения галофитных комплексов (солончаков)	~ 1800 га	~ 2500 га	Расширение ареала на $\approx 38,9\%$
Проективное покрытие и биомасса погруженных макрофитов	Оптимальное (сплошное покрытие мелководий)	Депрессивное (очаговое, фазы усыхания и гипергализации)	Резкая деградация трофического базиса
Видовое богатство и плотность орнитокомплексов	>250 видов (стабильно высокая плотность)	~ 230 видов (нерегулярное присутствие)	Выпадение стенотопных гидрофильных видов, депрессия численности

Примечание: составлено автором

Обобщенные результаты проведенного исследования свидетельствуют о глубокой и коренной структурно-функциональной перестройке всего Гызылагачского водно-болотного кластера. Синергетическое сочетание затяжной морской регрессии и нарастающей климатической аридности инициирует практически необратимые процессы фрагментации

гидроморфных биотопов и тотального засоления почвенно-грунтового комплекса. Утрата ключевых стадий обитания, гнездования и нагула, сопряженная с деградацией первичной кормовой базы, диктует необходимость немедленного перехода от пассивного резерватного режима к активным методам адаптивного природопользования. Это требует оперативного

проектирования и внедрения инженерно-технических систем регулирования водного баланса и искусственной поддержки гидрологического режима территории (Jamalov & Rustamova, 2021).

Современная динамика и структурная трансформация растительного покрова. Флористический комплекс Гызылагачского национального парка характеризуется высокой степенью стеноотопной специализации и выраженными фитоценотическими адаптациями к условиям прогрессирующей гипергалинности и пульсирующего избыточного увлажнения. Структурно-архитектоническую основу локальной флоры формируют галофитные и болотные фитоценозы, представленные преимущественно многолетними солеустойчивыми суккулентами, гидрофильными злаковыми ассоциациями и осоковниками. Ключевыми видами-эдификаторами, определяющими общую экосистемную устойчивость, средообразующий потенциал и буферную емкость территории, выступают тростник обыкновенный (*Phragmites australis*), солерос европейский (*Salicornia europaea*), а также мезогалофильные представители рода осоковых (*Carex spp.*) (Aliev et al., 2019; Mamedov et al., 2020).

Многолетний ландшафтно-экологический мониторинг (Mamedov et al., 2020) фиксирует резкую, разнонаправленную динамику площадей основных растительных сообществ. За период с 1990-х годов по настоящее время площадь тростниковых зарослей (*Phragmites australis*) сократилась на 25,0% (Таблица 5). Данная деструктивная тенденция локализована преимущественно в экотонах и зонах активных климатических колебаний береговой линии залива. При этом, вопреки общему тренду деградации гидрофильной биомассы, динамика популяций *Salicornia europaea* демонстрирует обратную, экспансивную направленность. Критический рост солености почвенно-грунтового комплекса на фоне острого дефицита пресного паводкового питания привел к интенсивному расширению ареала солероса: его площади увеличились на 38,9% за счет заселения высохших лагунных днищ и обнажившихся участков побережья. Напротив, прибрежно-влажные осоковые сообщества (*Carex spp.*), обладающие наименьшей толерантностью к депрессии уровня грунтовых вод и росту осмотического давления почвенного раствора, продемонстрировали сокращение своего присутствия в северном и центральном секторах парка на 30,4% (Aliev et al., 2019).

Таблица 5.

Динамика ареалов доминирующих растительных видов в Гызылагачском НП (1990-2023 гг.)

Вид / Таксономическая группа	Экологическая ниша в структуре парка	Площадь в 1990-х гг. (га)	Площадь в 2023 г. (га)	Вектор и величина изменений (%)	Ведущие экологические драйверы динамики
<i>Phragmites australis</i>	Обводненные экотоны, прибрежные плавни, лагуны	5200	3900	-25,0%	Критическое падение уровня воды, аридный гидрологический режим
<i>Salicornia europaea</i>	Гипергалинные солончаки, сухие береговые валы	1800	2500	+38,9%	Экспансия галофитов вследствие тотального вторичного засоления
<i>Carex spp.</i>	Прибрежные марши, влажные низинные биотопы	2800	1950	-30,4%	Депрессия уровня грунтовых вод, затяжная почвенная засуха
Суммарный запас фитомассы	Наземные и погруженные растительные сообщества	~ 45,5 ц/га (ср. плотность)	~ 36,4 ц/га (ср. плотность)	-20,0%	Термодинамический форсинг, деградация и аридизация почв

Примечание: составлено автором

Главными климатическими катализаторами и триггерами деградации мезофитных и гидрофильных фитоценозов выступают нарастающий дефицит атмосферных осадков в критический

репродуктивный период (июнь-август), вековая регрессия акватории Каспийского моря и экстремальные показатели испаряемости. Синергизм этих факторов инициирует интенсивные про-

цессы вторичного засоления и коркообразования почв, что неизбежно ведет к радикальному упрощению ярусно-пространственной структуры растительности и резкому снижению её первичной биологической продуктивности.

Как отмечает Гасанова (Gasanova, 2021), деградация и упрощение структуры специализированного растительного покрова влекут за собой каскадные (доминошные) экологические эффекты: от необратимой трансформации приземного микроклимата до критического сужения кормовой базы для мигрирующей, транзитной орнитофауны и аборигенных почвенных беспозвоночных-деструкторов. Наблюдаемая регрессия ключевых ценозообразующих групп растений резко снижает общий ассимиляционный потенциал и буферную емкость водно-болотных угодий. Полученные результаты количественного анализа наглядно подчеркивают абсолютную приоритетность задач по поддержанию оптимального водного баланса и внедрению научно обоснованных технологий фитомелиорации и восстановления нарушенных растительных сообществ в условиях прогрессирующего глобального изменения климата (Garaeva, 2020).

Орнитофауна и пространственно-временная динамика миграционных потоков. Гызылагачский национальный парк выполняет функцию критически важного биогеографического и экологического звена Афро-Евразийского миграционного пути, обеспечивая выживание и воспроизводство трансконтинентальных популяций перелетных, пролетных и зимующих птиц. Согласно сводным долгосрочным учетам BirdLife International (2022), в границах орнитологического кластера в общей сложности зарегистрировано свыше 270 видов птиц. При этом около 110 видов используют акватории и марши парка в качестве регулярного транзитного остановочного пункта (коридора нагула), а 36 видов включены в Красный список МСОП со строгим охранным статусом.

Исключительное международное значение ГНП имеет для сохранения жизнеспособности глобально угрожаемых и уязвимых таксонов, среди которых выделяются розовый пеликан (*Pelecanus onocrotalus*), краснотелая казарка (*Branta ruficollis*), розовый фламинго (*Phoenicopterus roseus*) и белоглазая чернеть (*Aythya nyroca*). Результаты многолетнего орнитологического мониторинга, осуществляемого

Орнитологическим обществом Азербайджана (2023) под эгидой международной организации Wetlands International, свидетельствуют о выраженном долгосрочном негативном тренде количественных показателей. Если в 1990-х годах средняя численность стабильно зимующих особей водоплавающего комплекса в пределах Рамсарского угодья составляла порядка 90000 птиц, то в период 2020-2023 гг. этот интегральный показатель упал до диапазона 65000-70000 особей (Таблица 6). Общее сокращение численности зимующих популяций на 25,5% за последние три десятилетия служит прямым индикатором глубокой дестабилизации и деградации локальных трофических, защитных и гнездовых условий.

Нарастающее глобальное потепление и сопутствующая аридизация мелководий водно-болотных угодий Прикаспия инициируют опасное экологическое явление – фенологический десинхронизм (климатогенное смещение жизненных циклов). В соответствии с глобальным метаанализом Смита и соавторов (Smith et al., 2018), нарастающий температурный форсинг в Северном полушарии обуславливает устойчивое смещение сроков весенней миграции птиц в среднем на 7-10 суток раньше среднемноголетней нормы. Применительно к экосистемам ГНП зафиксировано устойчивое опережение графиков весеннего пролета ключевых видов в среднем на 8 суток относительно базисного периода 1980-х годов (Gasanova, 2021). Это приводит к формированию так называемого «трофического разрыва», когда пиковые энергетические потребности мигрирующих видов в периоды остановок хронологически не совпадают с фазами массового воспроизводства и максимальной биомассы местных бентосных гидробионтов и фитопланктона.

Падение уровня Каспийского моря (ICWC, 2023) и отступление береговой линии привели к необратимой потере и фрагментации мелководных гидроморфных стадий. Для типичных представителей литорального комплекса, таких как шилоклювка (*Recurvirostra avosetta*), осушение и гипергалинная деградация иловых отмелей означают физическое сжатие доступного кормового пространства. Это вынуждает локальные популяции перераспределять вековые миграционные потоки в пользу альтернативных, но зачастую антропогенно нарушенных и менее защищенных регионов Южного Каспия (Wetlands International, 2020).

Таблица 6

Динамика численности и видового обилия доминирующих и охраняемых видов перелетных и зимующих птиц в Гызылагачском НП (1990-2023 гг.)

Вид птицы	Средняя численность в 1990-х (особей)	Средняя численность в 2020-2023 гг. (особей)	Величина и вектор изменений (%)	Ключевые экологические лимитирующие факторы
Розовый пеликан (<i>Pelecanus onocrotalus</i>)	3200	2400	-25,0%	Сокращение рыбных запасов в лагунах, потеря изолированных гнездовых островков
Краснозобая казарка (<i>Branta ruficollis</i>)	1800	1100	-38,9%	Аридизация прибрежных пастбищ, трансформация злаковой растительности
Белоглазая чернеть (<i>Aythya nyroca</i>)	4500	3200	-28,9%	Деградация погруженной макрофитной флоры, высыхание тростниковых плавней
Розовый фламинго (<i>Phoenicopterus roseus</i>)	9000	7200	-20,0%	Критическое изменение солености воды, падение биомассы артемии и бентоса
Шилоклювка (<i>Recurvirostra avosetta</i>)	5600	4000	-28,6%	Осушение иловых отмелей, исчезновение мелководных экотонных литорали
Общая численность зимующих птиц	~ 90000	~ 67000	-25,5%	Кумулятивный климатогенный и гидрологический прессинг на угодья

Примечание: составлено автором

Представленная многолетняя статистика убедительно подтверждает, что наиболее уязвимыми к текущим климатическим стрессорам оказались узкоспециализированные гидрофильные виды птиц, чьи жизненные циклы и репродуктивный успех жестко детерминированы гидрологическим режимом мелководий и дельтовых экосистем. Нарушение стабильности орнитофауны Гызылагачского национального парка требует немедленного концептуального расширения и диверсификации адаптационных мер. Первоочередными, стратегически важными задачами управления выступают искусственная поддержка и шлюзование гидрологического режима внутренних лагун, предотвращение масштабного вторичного засоления прибрежных почв и направленное восстановление автохтонных тростниковых массивов. Эффективность долгосрочного сохранения этого уникального Рамсарского угодья в условиях нарастающего климатического кризиса напрямую зависит от оперативной интеграции локальных охранных стратегий в международные и межправительственные программы трансграничного экологического мониторинга всего Каспийского региона.

Гидрологические характеристики и трансформационные сдвиги водного баланса. Гидрологическая система Гызылагачского национального парка представляет собой мозаичную, экстремально динамичную структуру, функционирующую в условиях сложного синергетического взаимодействия речного стока, локального атмосферного увлажнения и гидродинамического режима Каспийского моря. Основными детерминантами и источниками пресного питания данной охраняемой территории исторически выступают трансформированный аллохтонный сток рек Болгарчай и Виляшчай, а также разветвленная сеть коллекторно-дренажных и мелиоративных каналов. Однако за последние три десятилетия сопряженное воздействие направленных макроклиматических флуктуаций и нарастающего антропогенного прессинга в сопредельных бассейнах привело к глубокой дестабилизации и дефициту водного баланса всего орнитологического кластера.

На фоне флуктуации атмосферных осадков (детализация метеорологических рядов фиксирует их падение с 410 мм в цикле 1990-х годов до 340 мм в актуальном периоде) критическое деструктивное значение приобретает антропо-

генно обусловленное сокращение речного притока. Интенсивный безвозвратный водозабор на нужды регулярного орошения агроландшафтов и масштабное гидротехническое строительство (возведение водохранилищ и регулирующих гидроузлов) в верховьях и средних течениях питающих речных бассейнов привели к падению объемов стока в устьевых участках на 39,6% по сравнению с базисным уровнем 1980-х годов (Gurbanov & Gasanov, 2023). Ситуация ландшафтно-экологического стресса усугубляется ростом потенциального среднесуточного испарения с водной поверхности на 9,5%, что в условиях мелководных заливов и изолирован-

ных лагун автоматически инициирует затяжной режим экстремального водного дефицита (Gasanova, 2021).

Каспийская регрессия, составившая около 0,7 м за период 1995-2023 гг. (ICWC, 2023), радикально деформировала гидравлическую связь и градиент высот между открытой морской акваторией и внутренними полуизолированными водоемами парка. Это спровоцировало каскад негативных физико-географических процессов: от тотального осушения периферийных кормовых мелководий до подstandardной интрузии высокоминерализованных морских вод в донные горизонты и прибрежные водоносные пласты.

Таблица 7

Динамика ключевых гидрологических и гидрохимических показателей в экосистемах Гызылагачского НП (1990-2023 гг.)

Гидрологический / гидрохимический показатель	1990-2000 гг.	2001-2010 гг.	2011-2023 гг.	Интегральное изменение за многолетний цикл (%)
Среднегодовое количество осадков, мм	410	380	340	-17,1%
Среднегодовое испарение с зеркала вод, мм	840	880	920	+9,5%
Среднегодовой поверхностный речной сток, млн м ³	240	190	145	-39,6%
Уровень Каспийского моря, м (БС)	-26,2	-26,5	-26,9	↓ на 0,7 м
Средняя соленость лагунных вод, г/л	6,8	8,2	10,5	+54,4%
Суммарная гидроморфная площадь дельтовых комплексов, га	12000	10500	9800	-18,3%

Примечание: составлено автором

Глубокая климатогенная и антропогенная трансформация естественного гидрологического режима привела к ряду критических биоценологических сдвигов. Интенсивный рост минерализации и солености лагунных вод на 54,4% (с исходных 6,8 до 10,5 г/л) формирует жесткий осмотический и экологический барьер для эффективного воспроизводства, нереста и нагула молоди фитофильных пресноводных видов рыб, а также существенно угнетает вегетацию и снижает проективное покрытие погруженных макрофитов (Mamedov et al., 2020).

Сокращение суммарной площади постоянно затопляемых и гидроморфных дельтовых территорий парка на 18,3% (потеря более 2000 га дельтовых земель) наглядно свидетельствует об исчезновении стабильных защитных рефугиумов для водно-болотной фауны (BirdLife International, 2022). Кроме того, в центральных и устьевых секторах дельты зафиксировано критическое повышение концентрации сульфат- и

хлорид-ионов. Это указывает на глубокое нарушение естественных процессов седиментационной фильтрации, циркуляции и биологического самоочищения болотной экосистемы.

В настоящее время вся гидрологическая сеть ГНП находится в состоянии глубокого экологического стресса, индуцированного кумулятивным (наложенным) эффектом региональной климатической аридности и нерационального, децентрализованного водопользования в сопредельных равнинных агроландшафтах. Успешное восстановление пошатнувшегося гидрологического баланса Рамсарского угодья требует немедленного перехода от пассивной фиксации изменений к долгосрочной стратегии активного управления пресным стоком, шлюзования коллекторных вод и локальной инженерной защиты ключевых лагунных комплексов.

Климатические сценарии и методология моделирования. Для оценки долгосрочных климатических рисков и их воздействия на эко-

системы Гызылагачского национального парка были применены прогностические сценарии, разработанные Межправительственной группой экспертов по изменению климата (IPCC, 2021). В исследовании использованы две модели траекторий концентрации парниковых газов: RCP4.5 (сценарий умеренной стабилизации выбросов)

и RCP8.5 (сценарий высокой интенсивности выбросов). Прогнозирование осуществлялось с помощью региональных климатических моделей (RCMs), верифицированных и адаптированных к специфике Южного Прикаспия на основе многолетних данных метеостанций Ленкорани, Масаллы и Сальяна (Азгидромет, 2023).

Таблица 8

Прогноз изменений температуры воздуха и количества осадков на период 2041-2060 гг. относительно базового периода

Показатель	Базовый период (1995-2015)	Прогноз на 2041-2060 гг. (RCP4,5)	Прогноз на 2041-2060 гг. (RCP8,5)
Среднегодовая температура, °C	14,6°C	16,9°C (+2,3°C)	18,7°C (+4,1°C)
Летняя температура (июнь-август), °C	24,8°C	27,4°C (+2,6)	30,2°C (+5,4)
Среднегодовое количество осадков, мм	400	350 (-12,5%)	310 (-22,5%)
Длительность засушливых периодов, дней в году	58	78 (+20)	96 (+38)
Индекс SPI (Standardized Precipitation Index), баллы	-0,3	-0,7	-1,2

Примечание: составлено автором

Согласно результатам моделирования, к середине XXI века экосистемы Гызылагачского национального парка окажутся в условиях жесткого гидротермического стресса. Основные прогнозируемые риски классифицированы по трем ключевым направлениям:

1) Трансформация гидрологического режима. Ожидаемый рост среднегодовой температуры воздуха на 2,3-4,1°C спровоцирует форсированное испарение с водного зеркала и переувлажненных земель. Расчеты на основе моделей ландшафтной гидрологии (Gurbanov, 2023) показывают, что при реализации пессимистического сценария RCP8.5 площадь постоянно затопленных территорий и мелководий может сократиться на 30-35%. При этом период сезонного пересыхания лагун и маршей увеличится на 20-40 дней, что критически нарушит жизненные циклы и условия воспроизводства гидробионтов.

2) Деграция биологического разнообразия. Прогнозы, базирующиеся на пространственно-временном анализе миграционных маршрутов (Smith et al., 2018), указывают на потенциальное снижение численности мигрирующих птиц на 15-25% из-за потери кормовой базы. Острый дефицит влаги приведет к сукцессионному замещению: влаголюбивые гидрофильные сообщества (тростник южный *Phragmites australis*, осоковые *Carex spp.*) будут вытесняться ксеро-

фитными и галофитными видами – такими как полынь душистая (*Artemisia fragrans*) и солянка содовая (*Salsola soda*). Подобная аридизация существенно упростит структуру фитоценозов и снизит общую первичную продуктивность водно-болотных угодий.

3) Активация экстремальных явлений и снижение экосистемных услуг. Несмотря на выраженную общую тенденцию к аридизации региона, из-за дестабилизации атмосферных фронтов вероятность внезапных интенсивных ливневых паводков возрастет на 25-40% (Gasanov, 2022). Это спровоцирует форсированную эрозию береговой линии и заиление остаточных лагун взвешенными наносами. В результате ослабления естественных буферных и защитных функций водно-болотных угодий локальные экосистемные услуги (в первую очередь – естественная фильтрация воды и секвестрация углерода) сократятся на 30-40% (Millennium Ecosystem Assessment, 2005).

Заключение

Гызылагачский национальный парк представляет собой уникальный природный комплекс прибрежно-водно-болотных угодий, обладающий исключительной экологической ценностью не только для Азербайджанской Республики, но и для всего Каспийского реги-

она. Результаты проведенного исследования подтверждают, что в условиях современного климатического кризиса экосистемы парка столкнулись с беспрецедентными комплексными вызовами: аномальным ростом приземных температур воздуха, прогрессирующим сокращением атмосферного увлажнения и форсированной регрессией Каспийского моря. На основе проведенного анализа и моделирования сформулированы следующие ключевые выводы:

1) Деградация гидрологического режима и потеря экосистемных функций. Согласно прогнозным сценариям RCP4.5 и RCP8.5, к 2060 году ожидается сокращение площади постоянно увлажненных территорий ГНП на 20-35%. Это неизбежно ведет к утрате фундаментальных экосистемных услуг: регуляции локального водного баланса, секвестрации атмосферного углерода и поддержания естественных биофильтрационных барьеров.

2) Кризис орнитологического биоразнообразия. Прогнозируемое снижение численности мигрирующей орнитофауны на 15-25% напрямую коррелирует с деградацией гнездовых станций, гидрофильных укрытий и ключевых кормовых биотопов. Смещение фенологических сроков миграции и неизбежный в этих условиях «трофический разрыв» (несовпадение периодов максимальной потребности птиц в пище с пиком продуктивности гидробионтов) ставят под угрозу статус Гызылагача как важнейшего узла Afro-Евразийского миграционного пути.

3) Ксерофитизация и галофитизация фитоценозов. Процессы аридизации и вторичного засоления почв провоцируют глубокую и практически необратимую сукцессию растительного покрова. Масштабное замещение автохтонных гидрофитных сообществ (*Phragmites spp.*, *Carex spp.*) ксерофитными и галофитными видами приводит к флористическому обеднению, упрощению пространственной структуры растительности и резкому снижению общей биологической продуктивности угодий.

Совокупность выявленных негативных трендов диктует необходимость немедленного перехода от пассивного резерватного режима к стратегии активного адаптивного менеджмента. Для минимизации климатических рисков и сохранения биоразнообразия ГНП первоочеред-

ной комплекс мер должен включать оптимизацию гидрологического баланса: модернизация и восстановление локальной гидротехнической инфраструктуры, а также научно обоснованное регулирование речного стока для искусственного поддержания оптимального уровня воды в лагунах и маршах в периоды экстремальных засух. Внедрение цифрового экологического мониторинга: создание интегрированной системы контроля на основе автоматических метеорологических станций, регулярного дрон-мониторинга гнездовой и оперативного спутникового анализа (включая оценку вегетационных индексов и динамики водного зеркала), что позволит корректировать управленческие решения в режиме реального времени. Синхронизацию международного взаимодействия: активизация трансграничного научно-методического сотрудничества в рамках Рамсарской конвенции и Международного союза охраны природы для координации усилий по сохранению биоразнообразия и мигрирующих видов Каспийского бассейна.

Будущее Гызылагачского национального парка как эталонной экосистемы международного значения целиком зависит от своевременности и системности внедрения научно обоснованных мер адаптации. Только комплексный междисциплинарный подход и сочетание фундаментальной науки с гибкими инструментами управления позволят сохранить этот уникальный природный рефугиум в условиях меняющегося климата.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Вклад авторов по таксономии CRediT:

Османова С.А.: Концептуализация, методология, программное обеспечение, формальный анализ, проведение исследования, обеспечение ресурсами, написание – первоначальный вариант, написание – рецензирование и редактирование, руководство исследованием, администрирование проекта.

Лиу Зихуан: Технический сбор данных, проведение исследования (помощь в полевых выездах, сборе материалов), техническое оформление таблиц.

Литературы

- Азгидромет. Годовой отчет о состоянии климата и водных ресурсов Азербайджана. Министерство Экологии и Природных Ресурсов Азербайджанской Республики. Баку. – 2023
- Алиев А.И., Мамедова Г.Н., Алиева С.А. Биологическое разнообразие водно-болотных угодий Гызылагачского национального парка // Журнал экосистем Каспийского региона. – 2019, – №4 (2), – С. 55-63
- AzFA. (2023). Monitoring of the Biological Diversity of the Gizilaghaj National Park for the Year 2023. Azerbaijan Biological Resources Agency, Baku.
- Azgizspace. (2023). Satellite Monitoring of the Wetland Areas of the Gizilaghaj National Park.
- BirdLife International. (2022). Important Bird Areas factsheet: Gizilaghaj State Reserve.
- Гараева Л. Изменения в структуре растительности в полусухих водно-болотных угодьях под воздействием климатического стресса в низменностях Прикаспия // Журнал «Экология засушливых земель». – 2020, – №12(4), – С. 109-123
- Гасанов Э. Климатические риски и адаптивное управление в охраняемых природных территориях Азербайджана // Кавказский журнал окружающей среды. – 2022, – №6(2), – С. 33-47
- Гасанова Л.Ш. Воздействие климатических изменений на водно-болотные экосистемы южного Каспия // Экологические исследования. – 2021, – №12(3), – С. 78-85
- Джамалов С, Рустамова Т. Изменение землепользования и деградация водно-болотных угодий в нижнем течении реки Кура // Экологический мониторинг и оценка. – 2021, – С. 193, 654
- Gurbanov, A., Gasanov, R. (2023). Assessment of Changes in the Hydrological Regime in the Kur-Araz Lowland and along the Caspian Sea Coast under Climate Variability Conditions. *Journal Ecological Science and Policy*, 45, 113-127
- International Commission for the Protection of the Caspian Sea (ICWC) (2023). Report on the Status of the Water Level and Water Quality of the Caspian Sea for 2023.
- IPCC, (2021). Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press.
- Мамедов Р.М., Аббасова С.Н., Ахундов В.Г. Изменения в растительности солончаков Гызылагача под воздействием климатических факторов // Ботанический вестник. – 2020, – №36(2), – С. 102-111
- Millennium Ecosystem Assessment, (2005). Ecosystems and Human Well-being: Wetlands and Water Synthesis. World Resources Institute.
- Ornithological Society of Azerbaijan, (2023). Ornithological Reports of Azerbaijan. State Ornithological Institute / Ornithological Society of Azerbaijan, Baku.
- Ramsar Convention Secretariat, (2016). An Introduction to the Ramsar Convention on Wetlands. Gland, Switzerland: Ramsar Secretariat.
- Smith, J., Thompson, L., Keller, B. (2018). Climate-driven changes in migration timing and population decline of waterbirds in Eurasian flyways. *Global Change Biology*, 24(3), 1375-1387
- UNEP, (2022). Caspian Sea Environment Programme: Vulnerability of Coastal Wetlands to Climate Change. Geneva: United Nations Environment Programme.
- Wetlands International, (2020). Waterbird Population Estimates – Fifth Edition.
- WMO (World Meteorological Organization), (2024). State of the Global Climate 2023. Geneva: WMO.
- Zöckler, C., Delany, S. (2019). The role of coastal wetlands in conserving migratory birds in the face of climate change. *Avian Conservation and Ecology*, 14(1), 22 p.

Романизированный список литературы

- Azgidromet. (2023) Godovoy otchet o sostoyanii klimata i vodnykh resursov Azerbaydzhana. [Annual report on the state of climate and water resources in Azerbaijan]. Ministerstvo Ekologii i Prirodnnykh Resursov Azerbaydzhanskoj Respubliki. Baku (In Russian)
- Aliiev A.I., Mamedova G.N., Alieva S.A. (2019) Biologicheskoe raznoobrazie vodno-bolotnyh ugodij Gyzylagachskogo nacionalnogo parka [Biodiversity of wetlands in the Gizilagach National Park] // Zhurnal ekosistem Kaspijskogo regiona. – №4 (2), – P. 55-63 (In Russian)
- AzFA. (2023). Monitoring of the Biological Diversity of the Gizilaghaj National Park for the Year 2023. Azerbaijan Biological Resources Agency, Baku.
- Azgizspace. (2023). Satellite Monitoring of the Wetland Areas of the Gizilaghaj National Park.
- BirdLife International. (2022). Important Bird Areas factsheet: Gizilaghaj State Reserve.
- Garaeva L. (2020) Izmeneniya v strukture rastitelnosti v poluzasushlivykh vodno-bolotnyh ugodyah pod vozdeystviem klimaticheskogo stressa v nizmennostyakh Prikaspiya [Changes in Vegetation Structure in Semi-Arid Wetlands Under Climate Stress in the Caspian Lowlands] // Zhurnal «Ekologiya zasushlivykh zemel». №12(4), – P. 109-123 (In Russian)
- Gasanov E. (2022) Klimaticheskie riski i adaptivnoe upravlenie v ohranyaemykh prirodnykh territoriyah Azerbaydzhana [Climate Risks and Adaptive Management in Protected Areas of Azerbaijan] // Kavkazskij zhurnal okruzhayushej sredy. №6(2), – P. 33-47 (In Russian)
- Gasanova L.Sh. (2021) Vozdeystvie klimaticheskikh izmenenij na vodno-bolotnye ekosistemy yuzhnogo Kaspiya [The Impact of Climate Change on Wetland Ecosystems in the Southern Caspian] // Ekologicheskie issledovaniya. №12(3), – P. 78-85 (In Russian)

- Dzhamalov S, Rustamova T. (2021) *Izmenenie zemlepolzovaniya i degradaciya vodno-bolotnyh ugodij v nizhnem techenii reki Kura* [Land Use Change and Wetland Degradation in the Lower Kura River] // *Ekologicheskij monitoring i ocenka*. -P. 193, 654 (In Russian)
- Gurbanov, A., Gasanov, R. (2023). Assessment of Changes in the Hydrological Regime in the Kur-Araz Lowland and along the Caspian Sea Coast under Climate Variability Conditions. *Journal Ecological Science and Policy*, 45, 113-127
- International Commission for the Protection of the Caspian Sea (ICWC) (2023). Report on the Status of the Water Level and Water Quality of the Caspian Sea for 2023.
- IPCC, (2021). Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press.
- Mamedov R.M., Abbasova S.N., Ahundov V.G. (2020) *Izmeneniya v rastitelnosti solonchakov Gyzylagacha pod vozdejstviem klimaticheskikh faktorov* [Changes in the vegetation of the Gyzylagach salt marshes under the influence of climatic factors] // *Botanicheskij vestnik*. №36(2), – P. 102-111 (In Russian)
- Millennium Ecosystem Assessment, (2005). Ecosystems and Human Well-being: Wetlands and Water Synthesis. World Resources Institute.
- Ornithological Society of Azerbaijan, (2023). Ornithological Reports of Azerbaijan. State Ornithological Institute / Ornithological Society of Azerbaijan, Baku.
- Ramsar Convention Secretariat, (2016). An Introduction to the Ramsar Convention on Wetlands. Gland, Switzerland: Ramsar Secretariat.
- Smith, J., Thompson, L., Keller, B. (2018). Climate-driven changes in migration timing and population decline of waterbirds in Eurasian flyways. *Global Change Biology*, 24(3), 1375-1387
- UNEP, (2022). Caspian Sea Environment Programme: Vulnerability of Coastal Wetlands to Climate Change. Geneva: United Nations Environment Programme.
- Wetlands International, (2020). Waterbird Population Estimates – Fifth Edition.
- WMO (World Meteorological Organization), (2024). State of the Global Climate 2023. Geneva: WMO.
- Zöckler, C., Delany, S. (2019). The role of coastal wetlands in conserving migratory birds in the face of climate change. *Avian Conservation and Ecology*, 14(1), 22 p.

Сведения об авторах:

Османова Сона Абхаз кызы (автор-корреспондент) – доктор философии по аграрным наукам, доцент кафедры Географической экологии Бакинского Государственного Университета (Баку, Азербайджан, e-mail: osmanova-sona@mail.ru).

Лиу Зихуан – магистрант кафедры Географической экологии Бакинского Государственного Университета (Баку, Азербайджан, e-mail: lzx5991223@gmail.com).

Information about the authors:

Sona Abkhaz gizi Osmanova (corresponding author) – PhD in Agricultural Sciences, Associate Professor, Department of Geographical Ecology, Baku State University (Baku, Azerbaijan, e-mail: osmanova-sona@mail.ru).

Zihuan Liu – Master's Student, Department of Geographical Ecology, Baku State University (Baku, Azerbaijan, e-mail: lzx5991223@gmail.com).

Авторлар туралы мәлімет:

Сона Абхаз кызы Османова (корреспонденттік автор) – ауыл шаруашылығы ғылымдарының PhD докторы, Баку мемлекеттік университетінің географиялық экология кафедрасының доценті (Баку, Әзірбайжан, e-mail: osmanova-sona@mail.ru).

Цзыхуан Лю – Баку мемлекеттік университетінің географиялық экология кафедрасының магистранты (Баку, Әзірбайжан, e-mail: lzx5991223@gmail.com).

Поступила: 15 декабря 2025 года

Принята: 10 апреля 2026 года

МРНТИ 87.19.09; 70.27.17; 37.27.02

<https://doi.org/10.26577/JGEM812202613>**С.М. Романова** , **А.С. Серикова*** , **Р.Е. Махмутова** 

РГП «Институт зоологии» КН МНВО РК, Алматы, Казахстан

*e-mail: aizada.serikova@zool.kz

БИОХИМИЧЕСКОЕ И ХИМИЧЕСКОЕ ПОТРЕБЛЕНИЕ КИСЛОРОДА В ВОДЕ ОЗЕРА БИЛИКОЛЬ (КАЗАХСТАН)

Представлены результаты химического анализа органического загрязнения озёрной воды (по ХПК(Cr), БПК₅) и растворенного кислорода в воде оз. Биликоль в многолетнем цикле (2007–2024 гг., лето 2025 г.). Режим и динамика показателей биологического и химического потребления кислорода воды оз. Биликоль зависит от сезона года, антропогенного воздействия прошлых лет и его гидрологических особенностей. Сезонная изменчивость определяется дополнительным поступлением органических веществ в озеро в виде паводковых вод весной, частоты и интенсивности попусков с вышерасположенного водохранилища Акколь на р. Аса, а также постоянно протекающими внутриводоемными процессами в системе «вода–донные отложения».

Среднее соотношение ХПК(Cr)/БПК₅ составило 4,24, что указывало на возможное присутствие в воде органических соединений, плохо поддающихся биологическому разложению. Явно выраженной закономерности величин ХПК(Cr) и БПК₅ в многолетнем цикле в различные сезоны года выявить не удалось. Однако прослеживается тенденция к постепенному снижению этой величины с 2013 г., обусловленная увеличением санитарных попусков воды в Биликоль с более низким содержанием органических веществ и усиливающимися внутриводоемными процессами, приводящими к самоочищению. Несмотря на это качество воды Биликоля по показателям ХПК(Cr) и БПК₅ не соответствует нормативным требованиям, установленным для водных объектов, используемых в рыбохозяйственных целях.

Ключевые слова: органические вещества, ХПК(Cr), БПК₅, загрязнение воды, растворенный кислород.

S.M. Romanova, A.S. Serikova*, R.E. Makhmutova

Institute of Zoology, Almaty, Kazakhstan

*e-mail: aizada.serikova@zool.kz

Biochemical and Chemical Oxygen Demand in the Water of Lake Bilikol (Kazakhstan)

The results of chemical analyses of organic pollution indicators (COD(Cr), BOD₅) and dissolved oxygen in the water of Lake Bilikol over a long-term period (2007–2024 and summer 2025) are presented. The regime and dynamics of biological and chemical oxygen demand in Lake Bilikol depend on seasonal variations, the anthropogenic impacts of previous years, and the hydrological characteristics of the lake. Seasonal variability is determined by the additional input of organic matter into the lake with spring floodwaters, the frequency and intensity of water releases from the upstream Akkol Reservoir on the Asa River, as well as by ongoing internal processes occurring within the “water–bottom sediments” system.

The average COD(Cr)/BOD₅ ratio was 4.24, indicating the possible presence of organic compounds that are resistant to biological degradation. No clear long-term pattern in COD(Cr) and BOD₅ values was identified across different seasons. However, a gradual decreasing trend has been observed since 2013. This trend is associated with increased sanitary water releases into Lake Bilikol containing lower concentrations of organic matter, as well as enhanced in-lake processes contributing to the self-purification of the water body. Nevertheless, the water quality of Lake Bilikol, based on COD(Cr) and BOD₅ indicators, does not comply with the regulatory standards established for water bodies used for fisheries purposes.

Keywords: organic matter, COD(Cr), BOD₅, water pollution, dissolved oxygen.

С.М. Романова, А.С. Серікова*, Р.Е. Махмутова
ҒЖБМ ҒК «Зоология институты» ШЖҚ РМК, Алматы, Қазақстан
*e-mail: aizada.serikova@zool.kz

Билікөл көлі суындағы оттегінің биологиялық және химиялық тұтынуы (Қазақстан)

Мақалада Билікөл көлінің суындағы органикалық ластану көрсеткіштерінің (ХПК(Сr), БПК₅) және еріген оттегінің көпжылдық (2007–2024 ж., 2025 жылдың жазы) өзгерістерін сипаттайтын химиялық талдау нәтижелері ұсынылды. Билікөл көліндегі биологиялық және химиялық оттегі тұтыну көрсеткіштерінің режимі мен динамикасы жыл мезгіліне, өткен жылдардағы антропогендік әсерге және көлдің гидрологиялық ерекшеліктеріне тәуелді. Маусымдық өзгергіштік көктемгі су тасқыны кезінде көлге органикалық заттардың қосымша түсуімен, Аса өзеніндегі жоғары орналасқан Ақкөл су қоймасынан жіберілетін су көлемінің жиілігі мен қарқындылығымен, сондай-ақ «су – түптік шөгінділер» жүйесінде үздіксіз жүретін ішкі суқоймалық үдерістермен байланысты.

ХПК(Сr)/БПК₅ қатынасының орташа мәні 4,24 болды, бұл суда биологиялық ыдырауы қиын органикалық қосылыстардың болуы мүмкін екенін көрсетеді. Өртүрлі маусымдардағы көпжылдық қатарда ХПК(Сr) мен БПК₅ көрсеткіштерінің айқын заңдылығы анықталған жоқ. Дегенмен, 2013 жылдан бастап бұл көрсеткіштердің біртіндеп төмендеу үрдісі байқалады. Бұл Билікөлге органикалық заттар мөлшері төмен санитарлық су жіберілімдерінің артуымен және суқоймадағы өзін-өзі тазарту үдерістерін күшейтетін ішкі гидробиохимиялық процестердің белсенділігімен түсіндіріледі. ХПК(Сr) және БПК₅ көрсеткіштері бойынша Билікөл суының сапасы балық шаруашылығы мақсатында пайдаланылатын су объектілеріне қойылатын нормативтік талаптарға сәйкес келмейді.

Түйін сөздер: органикалық заттар, ХПК(Сr), БПК₅, су ластануы, еріген оттегі.

Введение

Важность изучения величин ХПК(Сr) и БПК₅, а также растворенного в воде кислорода заключается в защите окружающей среды, которые применяются во всем мире (Alexander et al., 2024). Так, химическая потребность в кислороде (ХПК(Сr)) является одним из наиболее быстрых и информативных тестов, используемых для контроля качества воды при её очистке (Dedkov et al., 2000). Параметр ХПК(Сr) отражает степень загрязнения водоёмов органическими веществами и определяется как количество кислорода, эквивалентное содержанию органических веществ в образце, которые могут быть окислены сильными химическими окислителями, такими как перманганат калия или дихромат калия. Органические вещества влияют на органолептические, санитарно-гигиенические и токсикологические свойства водных систем.

В зависимости от характера воды используются различные модификации метода: ХПК(Мn) (перманганатная окисляемость) – для слабо загрязнённых вод, а ХПК(Сr) (дихроматная окисляемость) – для сильно загрязнённых или сточных вод, благодаря высокой окислительной способности реагента (Li et al., 2018). Показатель ХПК(Сr) широко применяется для характеристики степени загрязнения промышленных

сточных вод, поскольку охватывает как биоразлагаемые, так и устойчивые к биodeградации органические соединения (Aguilar-Torrejón et al., 2023). Биохимическое потребление кислорода (БПК₅) – это стандартный показатель, отражающий количество кислорода, необходимого микроорганизмам для разложения органических веществ в течение пяти суток (Семенов, 1977; Никаноров, 2001). Несмотря на общую направленность, ХПК(Сr) и БПК₅ характеризуют разные аспекты загрязнения воды, поэтому оба параметра используются при мониторинге качества водных объектов.

Высокие значения ХПК(Сr) и БПК₅ часто наблюдаются в промышленных и бытовых сточных водах, где в её состав попадают многочисленные органические и минеральные соединения, включая поверхностно-активные вещества (ПАВ), буферы, дезинфицирующие средства, щёлочи, окислители, отбеливатели, энзимы, консерванты и ароматизаторы (Nicolaidis and Vyrides, 2014; Ho et al., 2021).

Исследования легко – и трудно-окисляющихся органических веществ, растворенного кислорода и оценка экологического состояния озера Биликоль по этим параметрам в многолетнем цикле представляет актуальную задачу и до настоящего времени не было осуществлено. Данная работа частично восполняет этот пробел.

Целью работы являлось оценить режим и динамику ХПК(Mn), ХПК(Cr), БПК₅, содержания растворенного кислорода в воде оз. Биликоль за период 2007–2024 гг, 2025 г (июль) в зависимости от внешних факторов.

На режим и динамику исследуемых показателей в озере Биликоль заметное влияние оказывают физико-географические условия и антропогенный фактор. Основные типы рельефа Жамбылской области включают низкогорное волнистое плато, предгорную наклонную равнину и Биликольскую впадину (Рельеф Казахстана, 1991). Климат исследуемого региона характеризуется резко континентальными условиями: жарким солнечным летом, холодной зимой, низким количеством атмосферных осадков, интенсивным испарением и высокой инсоляцией. Кроме того, по мнению ряда ученых Казахстан уже испытывает последствия изменения климата (Чередниченко, 2009; Алимкулов и др., 2021.). Температура воздуха в Казахстане значительно повысилась за последние десятилетия. Так, среднегодовая температура увеличивалась на 0,32°C каждые 10 лет. Самая высокая температура была в 2020 г, когда средняя по территории аномалия составила 1,92°C. Это указывает на то, что в Казахстане среднегодовая температура воздуха растет быстрее, чем среднемировая (Dai et.al. 2009; Обновленный национальный вклад, 2023, Taylor et. al., 2024.).

Гидрологический и гидрохимический режим озера Биликоль зависят главным образом от объема паводковых вод, влияния притоков, а также частоты и интенсивности попусков с вышерасположенного водохранилища Акколь на р. Аса (Дүйсенбеков и др., 2016).

Озеро Биликоль – крупнейший и самый глубокий водоём в Жамбылской области, входящий в десятку крупнейших озёр Казахстана. Оно расположено в 75 км к юго-востоку от г. Тараза, у подножья гор Каратау (рис. 1), на территории Бериккаринского сельского округа, площадь которого составляет 40 589 га, из них 37630 га приходится на сельскохозяйственные угодья и 2959 га – на прочие земли (Дүйсенбеков и др., 2016). Озеро находится в аридной зоне и имеет уникальную экосистему. Площадь водосборной площади составляет 5170 км², площадь зеркала – 86,9 км², средняя глубина – 6,0–7,0 м. (Болатхан и др., 2016). Летом 2025 г. нами была зафиксирована максимальная глубина озера 7,45 м. Береговая линия почти полностью заросла камышом.

Уровень воды озера за период 2008–2023 гг изменялся в пределах от 2,17 м в октябре 2022 г. до опасной величины 5,20 м в апреле 2017 г., причем минимальные уровни 2,17–3,69 м приходились на осенне-зимний период, а максимальные 3,01–4,96 м – весной. По данным (Болатхан и др., 2016) максимальная отметка уровня воды достигала 8,35 м в 1985 г., а в 2016 году составляла в среднем около 3,69 м.

В озеро впадают небольшие степные реки Бериккара и Аса, однако приток воды по ним наблюдается преимущественно зимой и в начале весны. Наибольшее значение имеет река Аса, питающая озеро Биликоль; её сток в настоящее время полностью зарегулирован и используется для нужд орошения и водоснабжения промышленных предприятий г. Тараза.

Турданова М. с соавторами, изучая распределение выбросов загрязняющих веществ, определила ключевые источники загрязнения в различных урбосистемах Жамбылской области (Турданова и др., 2025). В частности, ими было выявлено, что г. Тараз и Заулинский район являются основными источниками выбросов загрязняющих веществ в окружающую среду, оказывая влияние на здоровье населения, биоразнообразии и изменении климата в регионе.

Следует отметить тот факт, что в 1980-х годах в результате аварийных сбросов сточных вод химических предприятий Жамбылской области в озеро были зафиксированы экстремально высокие концентрации загрязняющих веществ, что привело к массовой гибели водной флоры и фауны. С 1983 года озеро Биликоль перестало функционировать как естественный чистый водоём и вошло в перечень наиболее загрязнённых водных объектов Республики Казахстан (Заядан и др., 2015).

Первый залповый сброс сточных вод в озеро Биликоль произошёл в 1972 году с контрольных прудов ДПО «Химпром». В 1982 году более мощный аварийный сброс привёл к экологической катастрофе регионального масштаба. На протяжении нескольких лет так называемые «условно чистые» сточные воды поступали с контрольных карт предприятия в канал Талас–Аса и далее в реку Аса, которая питает озеро Биликоль. Существенный вклад в загрязнение также вносили стоки с полей фильтрации Джамбулского суперфосфатного завода (ныне ТОО «Казфосфат»).

В результате накопления токсичных веществ в водоёме произошла массовая гибель гидроби-

онтов. До аварийных сбросов в озере обитало более 30 видов рыб, однако в настоящее время сохранилось лишь около 13 (Сейтбаев и др., 2012, 2014; Середин, 2019). Но численность рыб и их рыбохозяйственное значение неодинаковы.

В Жамбылской области проводились исследования по оценке состояния озера, уровню загрязнения и разработке рекомендаций по его восстановлению за счёт регулирования стока реки Аса. Для предотвращения дальнейшего обмеления в 1989 г. была построена плотина, разделяющая водоём на большую и малую чаши (Сейтбаев и др., 2012).

В летний период озеро практически не получает притока пресной воды, что способствует повышению минерализации и концентрации токсичных веществ (Заядан и др., 2015). Вследствие экологической катастрофы вода озера Биликоль в настоящее время не используется для питьевых целей, а применяется лишь для рыболовства и орошения. Согласно данным Tengrinews (tengrinews.kz), в 2021 г. из-за снижения уровня береговая линия озера отступила на несколько сотен метров от первоначальных границ. Постепенное снижение уровня озера продолжалось и в последующие годы.

После длительного перерыва на озере Биликоль гидрологические и гидрохимические работы были возобновлены в 2007 году Казгидрометом.

По данным Заядан Б.К. с соавторами вода озера по-прежнему относилась к сульфатному классу с высокой минерализацией и значительным содержанием фторидов. Показатель БПК₅ превышал предельно допустимую концентрацию (ПДК) более чем в 22 раза. По степени сапробности вода характеризовалась как мезосапробная, что подтверждалось массовым развитием фитопланктона и свидетельствовало о высокой эвтрофности водоёма (Заядан и др., 2015).

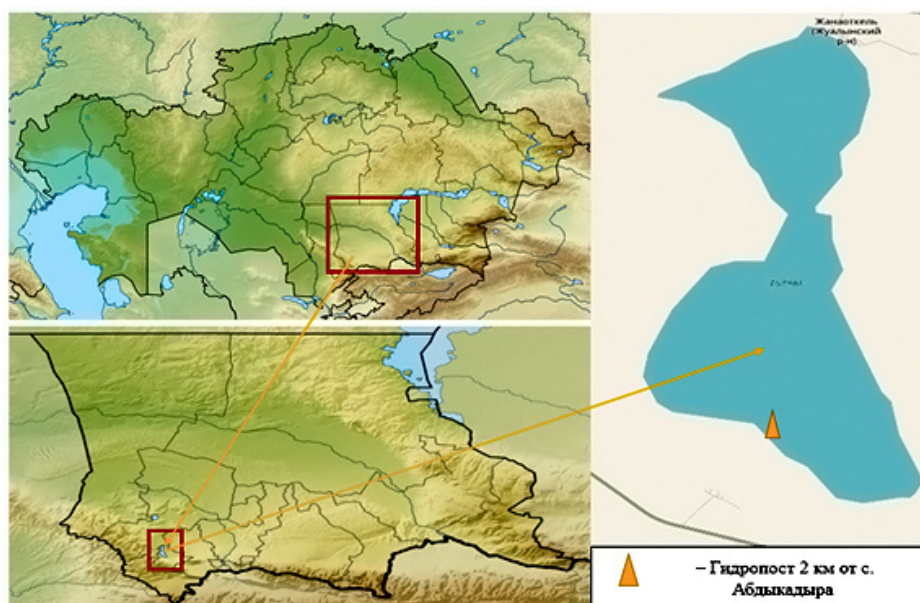
В сложившихся условиях изучение режима и динамики органических веществ по показателям ХПК(Сr), БПК₅ и растворенного в воде кислорода в воде озера Биликоль в многолетнем цикле представляет несомненный интерес, направленный на оценку современного состояния водоёма и выявление тенденций его изменения.

Материалы и методы

Материалом исследования послужили кадастровые и мониторинговые данные РГП «Казгидромет», находящегося в ведении Министерства энергетики Республики Казахстан, за период 2007–2024 гг. (Информационный бюллетень Казгидромет; Государственный водный кадастр), а также материалы авторов, полученные в экспедиционных и лабораторных условиях летом 2025 г.

Рисунок 1

Карта-схема расположения озера Биликоль



Примечание: составлено авторами.

Для исследования был выбран 1 участок, находящийся на юго-западной стороне большой чаши Биликоля, примерно в 2 км от села Абдыкадыр (координаты 42.987828...70.686098). С учетом относительно небольшого размера озера и отсутствия данных по всей акватории озера нами в июне 2025 г. были отобраны пробы воды в 8 условных станциях в пределах координат (42.98183...70.7366; 42.0884...70.68872). Координатная привязка станций выполнялась с помощью GPS-навигатора Garmin Garmin etrex 22x (Garmin Ltd., Taiwan). Измерение температуры и pH проводили с использованием прибора HORIBA (Ltd., Japan). Пробы воды для определения легко окисляющихся органических веществ ХПК(Mn) мы отбирали в стеклянные ёмкости объемом 0,250 мл и фиксировали химически чистой серной кислотой в разбавлении 1:3. Дальнейшее определение величины перманганатной окисляемости в кислой среде проводили в стационарной лаборатории по методу Кубеля (ГОСТ-2003; Об утверждении нормативов качества воды, 2016; Гусева, 2002). Пробы воды нами анализировались в трёхкратной повторности.

Рассчитаны средние значения величин ХПК(Cr) и БПК₅, концентрации растворенного кислорода и стандартное их отклонение (SD). Результаты отработаны программой Statistica 12 и excel, а анализ собственных полевых данных и интерполяция значений концентраций (by Nature Neighbour) по акватории озера были выполнены с использованием ArcGIS PRO 3.5.

Поскольку анализ ХПК(Cr) и БПК₅ обычно производится для определения корреляции между этими основными параметрами, характеризующими степень загрязнения водной среды, нами для всех проб воды было определено соотношение ХПК(Cr)/ БПК₅ (индекс биоразлагаемости). Данное соотношение считается «точкой отсчёта» между биоразлагаемыми и не биоразлагаемыми сточными водами (Rudaru et al., 2022).

В настоящее время оценка качества воды рек, водохранилищ по ряду компонентов химического состава производится по «Единой системе классификации воды» и не распространяются для морей и озёр (Единая система..., 2025). В связи с этим в работе мы сочли необходимым использовать один из распространенных гигиенических нормативов, а именно предельно-допустимую концентрацию изучаемых компонентов, превышение которой помогает оценивать степень загрязнения озерной воды.

Результаты и обсуждение

Вода озера Биликоль солоноватая (минерализация >1100 мг/дм³), жёсткая (общая жёсткость >15 мг-экв/дм³), по классификации О.А. Алекина (Алекин, 1970) сульфатного класса, магниевой группы, второго типа (S^{Mg}_{II}) (Информационный бюллетень Казгидромет; Государственный водный кадастр; Амиргалиев и др., 2018).

Величина водородного показателя (pH) за исследуемый период варьировала в пределах от 6,65 (близка к нейтральной реакции среды) до 8,70 (щелочная реакция среды). Относительно высокие значения величины pH были отмечены в октябре 2007 г. 8,65, ноябре 2008 г. 8,55, августе 2009 г. был максимум – 8,70, ноябре 2012 и 2020 гг. 8,60 и июне 2025 г. 8,62 (таблица 1).

Концентрация растворённого кислорода, как правило, находится в прямой зависимости от температуры воды и её солёности: с повышением температуры и минерализации растворимость кислорода обычно снижается. Минимальные значения растворённого кислорода наблюдались летом, весной и в сентябре, когда температура воды максимальна, тогда как в зимний период, при ледоставе, содержание кислорода возрастало до 11,10–13,0 мг/дм³. Минимальный уровень О₂ был 5,36 мг/дм³ в 2014 г. Степень насыщения воды кислородом изменялась в пределах 37–127%. Поскольку содержание растворённого кислорода в основном всегда превышало 6,0 мг/дм³, это является благоприятным фактором для жизнедеятельности гидробионтов.

Содержание трудно окисляющихся органических веществ ХПК(Cr) в 2007–2024 гг. изменялось в пределах 11,5–284,0 мгО₂/л при среднегодовых колебаниях 84,8±4,45 мгО₂/л. Этот показатель не нормируется для сброса в рыбохозяйственные водоёмы, а используется для оценки загрязнённости самой воды (ХПК(Cr) до 15 мг О₂/дм³ для питьевых водоёмов, до 30 мг О₂/дм³ для рекреационных). Отмечалось превышение ПДК для водоёмов, используемых в рекреационных целях во все периоды года в 0,4–9,5 раза. В этот период ХПК(Cr) не превышало ПДК только в мае 2007 г., августе 2010 г., июне 2012 г. и сентябре 2013 г. С 1996 г. по 2024 гг. наблюдалось постоянное превышение ПДК по этому показателю. Максимальное превышение было зафиксировано в марте–апреле в 2007 г. Судя по величине ХПК(Cr) воду озера Биликоль можно использовать только в рекреационных целях.

Таблица 1

Диапазон значений температуры, pH, концентрации O_2 , величин ХПК, БПК₅ в воде озера Биликоль за период 1996, 2007–2024 гг.

Год	t, °C	pH	Кислород		ХПК (Cr)	БПК ₅
			мг/дм ³	насыщение, %	мгО ₂ /дм ³	
1996	0,0	8,09	7,4	55	137,0	52,0
2007	3,2–27,3	7,62–8,65	6,80–12,20	77–108	22,1–284,0	14,0–55,0
2008	0,1–29,6	7,85–8,55	6,96–11,80	59–106	31,2–164,8	10,0–29,3
2009	0,8–26,2	8,00–8,70	7,68–10,90	72–115	34,7–121,0	15,8–26,0
2010	0,5–26,0	8,00–8,50	6,43–12,50	77–98	23,2–103,0	0,97–33,2
2011	0,5–26,7	7,95–8,40	6,49–12,90	56–105	77,8–218,0	15,2–42,0
2012	0,5–28,0	7,85–8,60	6,18–13,00	74–91	11,6–190,0	20,2–40,0
2013	0,5–25,0	7,40–8,45	6,46–12,80	57–99	11,5–198,0	30,2–41,0
2014	0,5–26,8	7,60–8,40	5,36–12,50	53–127	44,0–126,0	16,9–30,9
2015	2,1–28,4	7,80–8,50	7,07–11,00	59–107	41,4–90,0	15,1–26,2
2016	4,0–27,0	7,50–8,40	6,73–8,97	53–101	57,2–109,0	15,7–26,8
2017	3,5–28,5	7,80–8,30	6,92–11,90	75–93	45,5–124,0	6,4–17,4
2018	1,0–25,0	7,20–8,20	5,40–11,10	37–105	35,7–118,0	8,8–17,6
2019	2,0–28,6	7,50–8,54	6,64–9,70	59–99	39,1–96,1	6,9–15,5
2020	3,0–26,0	6,65–8,60	6,34–11,60	65–94	39,2–81,4	5,3–20,7
2021	4,0–32,0	6,85–8,00	6,23–7,97	42–78	31,8–72,4	6,2–17,8
2022	15,0–31,6	6,75–8,30	6,92–8,67	45–82	46,3–77,7	7,8–11,2
2023	18,0–29,0	7,85–8,20	6,61–8,21	62–84	41,6–53,2	9,5–19,1
2024	22,0–27,0	7,65–8,3	6,29–7,14	53–79	44,4–52,5	11,5–12,5

Примечание: на основе данных РГП «Казгидромет»

По сравнению с ХПК(Cr) размах варьирования величины БПК₅ значительно меньше и в разные годы не превышал 54,3 мг О₂/дм³. Практически постоянно наибольшая концентрация биохимического потребления кислорода и величины ХПК(Cr) были отмечены в апреле-мае месяцах, когда уровень воды в озере достигал максимальных отметок. В это время возрастает поверхностный сток с водосборной площади и в озеро вместе с талыми и дождевыми водами смывается большое количество гуминовых и других органических веществ, вызывая увеличение окисляемости воды.

Между показателями БПК₅ и ХПК(Cr) выявлена статистически значимая умеренная положительная корреляция средней силы ($r = 0,5913$). Данный результат является ожидаемым, поскольку оба параметра характеризуют содержание органических веществ в воде, хотя и основаны на различных методах определения (биологическом и химическом окислении) (Табл. 2). Выявлена слабая корреляционная связь между значением pH и величинами БПК₅ и ХПК(Cr), а

очень слабая и слабая отрицательная корреляция между температурой воды.

По нашим данным концентрация легко окисляющихся органических веществ ХПК(Mn) в июне 2025 г. варьировала в пределах от 8,55 до 11,82 мгО/дм³ при среднем значении $9,37 \pm 0,62$ мгО/дм³. Наименьшие значения наблюдались в малой чаше озера, тогда как в большой чаше величины были стабильно выше. Наличие органических веществ влияет на прозрачность воды. Прозрачность озерной воды была в этот период низкой (4–16 см), что указывало на образование коллоидных частиц органического и неорганического происхождения в результате попадания в воду пыли или продуктов жизнедеятельности живых существ и микроорганизмов. Стоит отметить, что в месте расположения гидропоста Казгидромета, близкого к нашей станции, концентрация ХПК(Mn) меньше, но этот показатель – 7,33 мгО/дм³ тоже не соответствует требованию ПДК, равному 10,00 мгО/дм³ (СанПиН 2.1.4.1175-02).

Таблица 2

Корреляционная зависимость между показателями органического загрязнения, растворённого кислорода, pH и температурой.

	t, °C	pH	БПК ₅	ХПК(Cr)	O ₂ , %	O ₂ , мг/дм ³
t, °C	1,0000	0,0392	-0,0241	-0,1008	0,5236	-0,6276
pH		1,0000	0,3339	0,1642	0,3587	0,2871
БПК ₅			1,0000	0,5913	0,0964	0,1139
ХПК				1,0000	0,0515	0,1762
O ₂ , %					1,0000	0,2478
O ₂ , мг/дм ³						1,0000

Примечание: составлено авторами.

Пространственное распределение показателей минерализации воды демонстрирует её увеличение по длине бессточного озера (рис. 2а). Меньшее значение минерализации в малой чаше (1173,0 мг/дм³) и 1572,3 мг/дм³ в большой чаше) вызвано впадением притока Асы с минерализацией 435,2 мг/дм³. Общая минерализация воды в большой чаше озера постепенно возрастала от 1549,9 мг/дм³ до 1614,0 мг/дм³. Показатели перманганатной окисляемости, наоборот, были выше в малой чаше (10,59–11,84 мгО/дм³, рис. 2б). Содержание легкоокисляющихся органических веществ в большой чаше озера изменялось в пределах 7,33–9,37 мгО/дм³, а в воде р. Аса не превышало 3,25 мгО/дм³. В большой чаше озера Биликоль очевидны процессы самоочищения воды, ведущие к снижению величины ПО до 7,33 мгО/дм³. Из-за узкого перешейка, соединяющего две чаши озера, не происходит полного смешивания воды, и каждая из частей существует практически как самостоятельный водный объект. В связи с этим предлагаем соорудить еще один гидрост у малой чаши для оценки ее состояния воды.

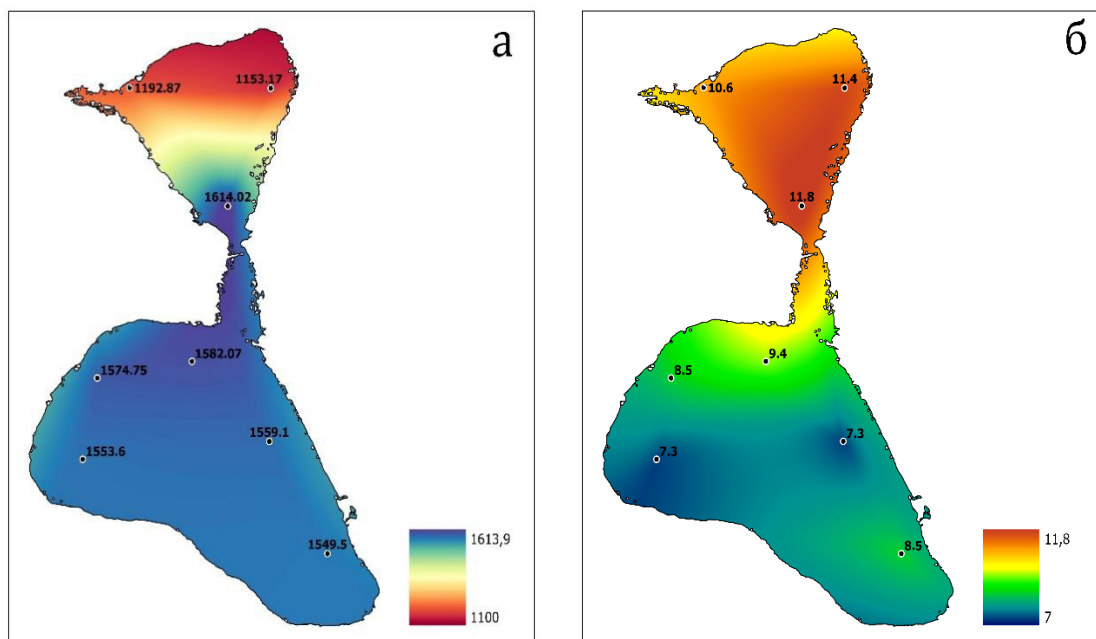
Специалисты Казгидромета ежемесячно определяли ХПК(Cr) и БПК₅ в воде р. Аса с 2014 по 2023 гг. Пределы изменения величин ХПК(Cr) и БПК₅ в речной воде были значительно ниже, чем в озерной воде и составляли, соответственно, 8,1–36,5 и 0,8–5,3 мгО₂/дм³. Минимальные и максимальные концентрации потребленного кислорода обнаружены в различные сезоны

года благодаря мелководности (глубина от 0,5 до 1,5 м, местами на перекатах до 30–40 см) и быстрому течению.

Четко выраженной закономерности величины ХПК(Cr) в многолетнем цикле в различные сезоны года выявить не удалось (рис. 3). Однако прослеживается тенденция к постепенному снижению этой величины с 2013 г., обусловленная увеличением санитарных попусков воды в Биликоль с более низким содержанием органических веществ и усиливающимися процессами самоочищения. Изучение физико-химических процессов в системе «вода-донные отложения», приводящих к убыли или накоплению органических веществ, является предметом самостоятельного исследования и в нашу задачу не входило. Наблюдалось как снижение, так и повышение содержания трудно окисляющихся органических веществ в разные периоды. Так, выявлены максимальные показатели ХПК в зимнее время в 2007, 2011–2014, 2016, 2018 и 2019 гг., летом – в 2007, 2010, 2013, 2015, 2018, 2020 и 2021 гг., весной в 2007, 2008, 2011, 2013 и 2017 г, а осенью – в 2007, 2012, 2013, 2009, 2022 и 2023 гг. Относительно низкие показатели ХПК(Cr) обнаружены в теплое время года всего периода исследования. Годовые минимумы приходятся на весенне-летние месяцы, в зимнее время этот показатель заметно больше. Особо выделяется 2007 год: 9 месяцев в году величина ХПК(Cr) изменялась в пределах от 109 до 284 мг О₂/дм³.

Рисунок 2

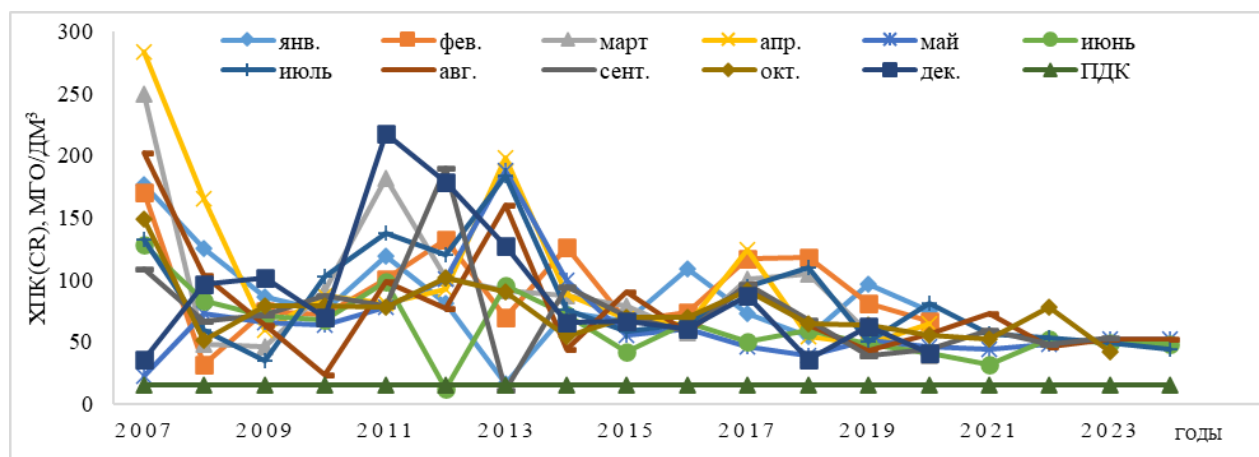
Пространственное изменение минерализации воды (а) и показателей ПО (б) в озере Биликоль, июнь 2025 г.



Примечание. Рисунок выполнен сотрудником института зоологии Д.В. Малаховым

Рисунок 3

Ежемесячные показатели ХПК(Cr) в оз. Биликоль, 2007–2024 гг.



Примечание: составлено автором

Показатель БПК₅ в биликольской воде в 2007–2024 гг. изменялся в широких пределах 0,97–55,00 мгО₂/л при среднегодовых колебаниях $21,20 \pm 0,70$ мгО₂/дм³. Отмечалось среднегодовое максимальное значение в 2013 г. ($37,1$ мгО₂/дм³ $\pm 1,14$), а минимальное – в 2019 г. ($11,30$ мгО₂/дм³ $\pm 0,80$). Найденные показатели БПК₅ превышали значения уста-

новленных потребностей для водоемов хозяйственно-питьевого и рыбохозяйственного водопользования практически в течение всего периода исследования. Для целей хозяйственно-бытового и культурного водопользования озерная вода соответствовала требованиям в августе 2010, апреле 2017–2019 гг., ноябре 2020 г. и июне 2021 г., имела значение, равное или меньше

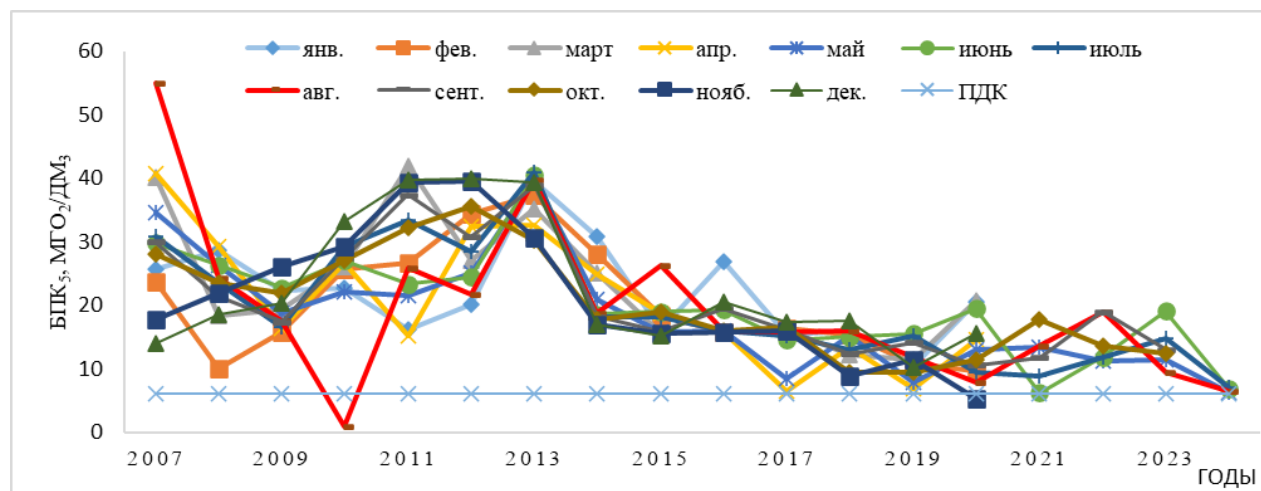
6,00 мгО₂/дм³. В другие сезоны года этот показатель превышал норму, и в случае использования воды необходимо проводить мероприятия по очистке воды (рис. 4).

В августе 2007 г. наблюдалось максимальное значение БПК₅—55,00 мгО₂/л, но в августе

2010 г. был отмечен минимум — 0,97 мгО₂/л. На основании расчета среднегодовых показателей БПК₅, также как и ХПК (Cr), прослеживалась тенденция к постепенному их снижению с 2013 г, свидетельствующее об улучшении качества озерной воды.

Рисунок 4

Среднегодовые показатели БПК₅ в оз. Биликоль, 2007–2024 гг.



Примечание: составлено автором

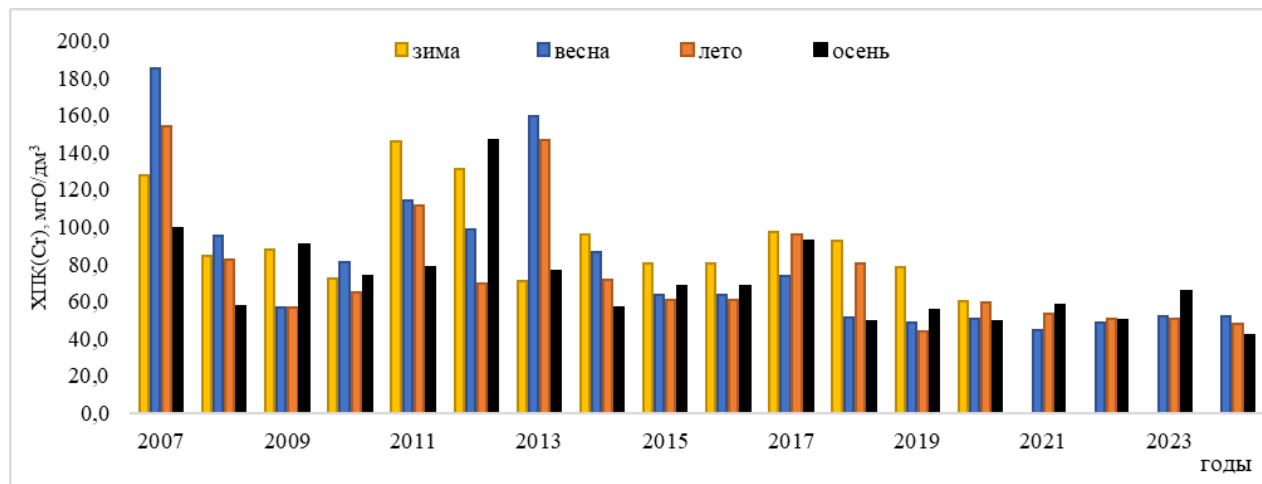
Наблюдающееся снижение среднегодовых значений показателей органических веществ (БПК₅, ХПК(Cr)) в летний период и их повышение весной, как правило, объясняется тем, что весной с водосборной площади озера тальми водами из почв вымывались органические соединения, которые поступали в водоём. В зимнее время их содержание обычно снижалось из-за понижения температуры воды и замедления процессов биохимического разложения органического вещества (Долматова и Гусева, 2005; Селезнев., 2024; Романова и Казангапова, 1991; Романова, 2007). Исследование величин БПК₅ и ХПК(Cr) в различные сезоны года позволило установить следующее. Показатели среднего сезонного ХПК(Cr) достигали максимальных значений в различные сезоны года: в 2007 г. зимой (127,6 мг/дм³), весной (185,3 мг/дм³) и летом (154), в 2011 г. зимой (146,0 мг/дм³), весной (113,8) и летом (111,3 мг/дм³), в 2012 г. зимой (130,7 мг/дм³) и осенью (146,33 мг/дм³), а также в 2013 г. весной (159,2) и летом (146,6) (рис. 5). В последующие годы, а именно в период 2020–

2023 гг. значения ХПК(Cr) заметно снизились, что свидетельствовало о некотором улучшении качества воды по этому показателю. Отметим, что в холодное время года 2021–2024 гг., отбор проб воды не производился. Не удалось выявить явно выраженной сезонной изменчивости показателя ХПК (Cr) в 2020–2023 гг.

По каталожным данным Казгидромета (2007–2024 гг.) установлено, что среди водоемов Жамбылской области только в озере Биликоль наблюдались заметные превышения показателей ХПК(Cr). Так, в оз. Алаколь (п. Кабанбай, 2016–2020 гг.) величина дихроматной окисляемости изменялась в пределах 9,0 – 50,2, оз. Сасыкколь (2016–2020 гг.) – 10,0–31,0, Тасоткельском водохранилище (2014–2023 гг.) – 23,3–31,7 мгО₂/дм³, причем максимальные значения обнаружены в весенне – летний период. Это объясняется постоянным антропогенным воздействием и поступлением загрязняющих веществ в оз. Биликоль, вследствие чего концентрация органических веществ независимо от сезона оставалась повышенной.

Рисунок 5

Сезонная изменчивость ХПК(Cr) в многолетнем цикле, 2007–2024 гг.

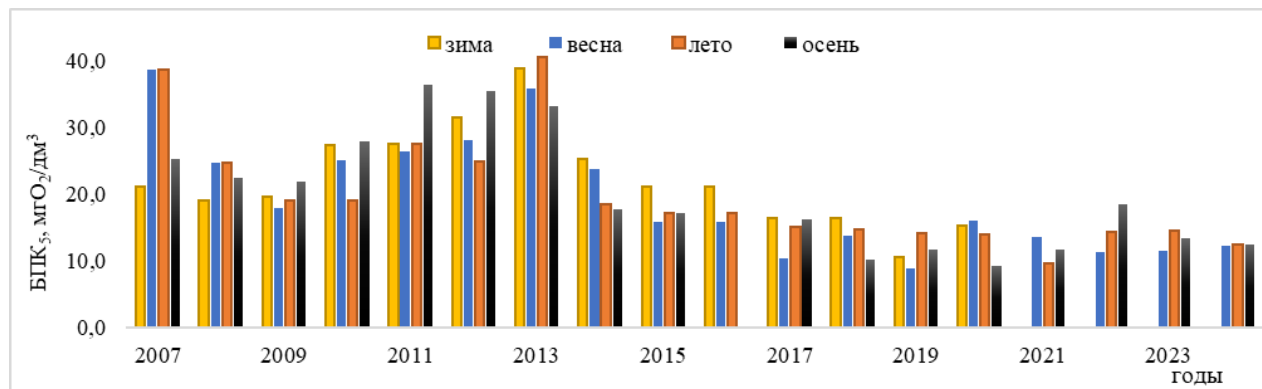


Примечание: составлено автором

Сезонная динамика биохимического потребления кислорода (БПК₅) в воде озера Биликоль выражена слабо. За весь исследуемый период минимумы были в холодное время года чаще: в декабре-феврале в 2007–2009 гг., 2011 г., 2014 г., 2018 г.; в августе 2010 г. В 2007, 2008, 2013 и 2020 гг. отмечены максимальные значения. Теоретически средние значения БПК₅ обычно повышаются от зимы к лету вследствие активизации биохимических процессов и увеличения количества органического вещества, а затем постепенно снижаются к зиме. Однако в рассматриваемом периоде наблюдений подобная зависимость была выражена не явно. Так, наибольшие сезон-

ные значения БПК₅ отмечались в 2007 году весной и летом по 38,53 мгО₂/дм³, осенью 2011 г. и 2012 г. – 36,33 и 35,33 мгО₂/дм³, соответственно. В 2013 году был максимум во все сезоны: зимой (38,8 мгО₂/дм³) и весной (35,9 мгО₂/дм³), летом (40,5 мгО₂/дм³) и осенний (33,2 мгО₂/дм³). Минимальные значения зафиксированы весной 2019 г. (8,7 мгО₂/дм³), летом 2021 года (9,6 мгО₂/дм³) и осенью 2020 года (9,15 мгО₂/дм³) (рис. 6).

Такая вариабельность БПК₅, вероятно, обусловлена нестабильным гидрологическим режимом озера, колебаниями уровня воды и различной интенсивностью поступления аллохтонных органических веществ в разные сезоны года.

Рисунок 6Сезонная изменчивость БПК₅ в многолетнем цикле, 2007–2024 гг.

Примечание: составлено автором

Выявлено, что годовая и сезонная динамика показателей химического (ХПК) и биохимического (БПК₅) потребления кислорода в воде озера Биликоль характеризовалась отсутствием ярко выраженной сезонной изменчивости. Изменения данных показателей в большинстве случаев не коррелировали с температурой воды, значениями pH, что указывало на преобладание антропогенных факторов над естественными сезонными процессами. Средние значения ХПК и БПК₅ значительно превышали нормативы, установленные для водных объектов, используемых в рыбохозяйственных целях, что свидетельствовало о высоком уровне органического загрязнения водоёма.

Соотношение ХПК/БПК₅ за исследуемый период составляло в среднем $4,23 \pm 0,15$ (при норме не более 2,50), что указывало на высокое содержание трудно разлагаемых органических соединений, о значительной доле антропогенных загрязнителей промышленного происхождения, которые трудно поддаются биологическому разложению и могут быть токсичными (Василискова, Кондратенко 2025, Andrio et al., 2019, Живетина и др., 2021). Подобные значения характерны для загрязнённых вод, содержащих синтетические моющие средства и поверхностно-активные вещества. Такие воды требуют предварительной физико-химической обработки перед проведением биологических процессов очистки. Полученные результаты также показывают, что соотношение БПК₅/ХПК(Cr) сопоставимо с показателями, характерными для природных вод, обогащённых аллохтонными (внешнего происхождения) органическими веществами. Это указывало на доминирование в системе именно аллохтонного органического вещества, поступающего в озеро преимущественно с поверхностным стоком и притоками.

Заключение

Исследование позволило выявить особенности сезонной и межгодовой динамики органических веществ, оценённых по ХПК(Cr) и БПК₅, растворенному кислороду, а также оценить современное состояние озера Биликоль и тенденции его изменения. Режим и динамика показателей биологического и химического потребления кислорода воды оз. Биликоль зависит от сезона года, антропогенного воздействия прошлых лет и его гидрологических особенностей. Сезонная изменчивость определяется дополнительным поступлением органических веществ в озеро в

виде паводковых вод весной, а также постоянно протекающими внутриводоемными процессами в системе «вода-донные отложения».

Содержание растворённого кислорода в основном всегда превышало $6,0 \text{ мг/дм}^3$, что является благоприятным фактором для жизнедеятельности гидробионтов. За период исследования (2007–2024 гг) в воде оз. Биликоль пределы изменения показателя ХПК(Cr) варьировали от 11,5 до $284,0 \text{ мгO}_2/\text{дм}^3$, при среднегодовой величине $84,8 \pm 4,45 \text{ мгO}_2/\text{дм}^3$, а величины БПК₅ от 0,97 до $55,0 \text{ мгO}_2/\text{дм}^3$ при среднегодовом значении $21,2 \pm 0,70 \text{ мгO}_2/\text{дм}^3$. Сезонная изменчивость показателей ХПК(Cr) и БПК₅ выражена слабо значительных различий между дождливым и сухим сезонами не наблюдалось.

Значения перманганатной окисляемости (ПО) для биликольской воды в большинстве случаев не выходили за пределы средних их значений для природных вод аридных зон ($5\text{--}10 \text{ мгO}/\text{л}$) и легкоокисляющиеся органические вещества подвержены сезонным и годовым колебаниям.

Среднее соотношение ХПК(Cr)/БПК₅ составило 4,23, что указывало на присутствие в воде органических соединений, плохо поддающихся биологическому разложению. Явно выраженной закономерности величин ХПК(Cr) и БПК₅ в многолетнем цикле в различные сезоны года выявить не удалось. Однако прослеживается тенденция к постепенному снижению этой величины с 2013 г., обусловленная увеличением санитарных попусков воды в Биликоль с более низким содержанием органических веществ и усиливающимися внутриводоемными процессами, приводящими к самоочищению. Несмотря на это качество воды Биликоля по показателям ХПК(Cr) и БПК₅ не соответствует нормативным требованиям, установленным для водных объектов, используемых в рыбохозяйственных целях.

Благодарность

Мы выражаем признательность РГП «Казгидромет» за поддержку в предоставлении гидрохимических данных.

Исследование выполнено в рамках проекта BR24993060 «Разработка информационной системы для ведения кадастра диких животных Западного Тянь-Шаня с целью их сохранения и устойчивого использования». Проект поддержан Министерством науки и высшего образования Комитетом науки Республики Казахстан.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Литература

- Aguilar-Torrejón, J. A., Balderas-Hernández, P., Roa-Morales, G., Barrera-Díaz, C. E., Rodríguez-Torres, I., & Torres-Blancas, T. (2023). Relationship, importance, and development of analytical techniques: COD, BOD, and TOC in water—An overview through time. *SN Applied Sciences*, 5(4), 118. <https://doi.org/10.1007/s42452-023-05318-7>
- Alexander, V., Nova, S., & Burmana, A. D. (2024). Inlet diverters and oil collectors in distillation columns for reducing COD and BOD5 in biodiesel plants. *Case Studies in Chemical and Environmental Engineering*, 10, 100908. <https://doi.org/10.1016/j.cscee.2024.100908>
- Алекин, О. А. (1970). Основы гидрохимии. Гидрометеиздат.
- Алимкулов, С. А., Турсунова, А. А., & Сапарова, А. А. (2021). Ресурсы речного стока Казахстана в условиях будущих климатических и антропогенных изменений. *Гидрометеорология и экология*, (1), 59–67. <https://cyberleninka.ru/article/n/resursy-rechnogo-stoka-kazahstana-v-usloviyah-buduschih-klimaticheskikh-i-antropogennyh-izmeneniy>
- Амиргалиев, Н. А., Мадиебеков, А. С., Мүсақұлызы, А., Исмуханова, Л. Т., Кулбекова, Р. А., & Жәди, А. □. (2018). Оценка качества вод по гидрохимическим параметрам. *География и водные ресурсы*, (2), 77–85. <https://cyberleninka.ru/article/n/otsenka-kachestva-vod-po-gidroximicheskim-parametram>
- Болатхан, К., Акмуханова, Н. Р., Садвакасова, А. К., Бауенова, М. О., & Заядан, Б. К. (2016). Продуцируемые цианобактериями токсины в период цветения воды озера Биликоль. *Eurasian Journal of Ecology*, 47(2), 14–22.
- Василискова, А. В., Кондратенко, С. В. (2025) Вариабельность химических показателей фильтрационных вод полигона твердых коммунальных отходов г. Калининграда, *Вестник Камчатского государственного технического университета*, 74, 116–126.
- ГОСТ РК 51592-2003. (2003). Общие требования к отбору проб.
- Государственный водный кадастр Республики Казахстан. (2007–2024). Поверхностные воды суши. Каталогные данные. Казгидромет.
- Гусева, Т. В. (2002). Гидрохимические показатели состава окружающей среды. Социально-экологический союз.
- Dai, A., Qian, T., Trenberth, K. E., & Milliman, J. D. (2009). Changes in continental freshwater discharge from 1948 to 2004. *Journal of Climate*, 22(10), 2773–2792. <https://doi.org/10.1175/2008JCLI2592.1>
- Dedkov, Y., Elizarova, O., & Kel'ina, S. (2000). Dichromate method for the determination of chemical oxygen demand. *Journal of Analytical Chemistry*, 55(8), 777–778. <https://doi.org/10.1007/BF02757915>
- Долматова, Л. А., & Гусева, М. А. (2005). Сезонная изменчивость содержания органических веществ в воде и донных отложениях р. Барнаулки. *Известия АлмГУ*, (3), 17–20. <https://cyberleninka.ru/article/n/sezonnaya-izmenchivost-soderzhaniya-organicheskikh-veschestv-v-vode-i-donnyh-otlozheniyah-r-barnaulki>
- Дүйсенбеков, С. Л., Куатбаев, А. Т., Назарбекова, С. Т., Таирова, С. К., Жаниязов, Ж. А., Калимбетова, А. Т., & Нармуратова, Ж. (2016). Общая характеристика и классификация природных кормовых угодий Бериккаринского сельского округа Жамбылской области. *Eurasian Journal of Ecology*, 41(2), 69–73.
- Живетина, А. В., Нохрин, Д. Ю., Дерхо, М. А., & Мухамедьярова, Л. Г. (2021). Сезонные особенности химического состава и качества воды в водохранилище руслового типа. *Ученые записки Крымского федерального университета имени В. И. Вернадского. Биология. Химия*, 7(73), 1.
- Заядан, Б. К., Акмуханова, Н. Р., Садвакасова, А. К., Кирбаева, Д. К., Болатхан, К., Бауенова, М. О., & Сейілбек, С. Н. (2015). Изучение качественного и количественного состава альгофлоры оз. Биликоль. *Experimental Biology*, 65(3), 196–202.
- Информационный бюллетень о состоянии окружающей среды. (2007–2024). Казгидромет.
- Li, J., Luo, G., He, L., Xu, J., & Lyu, J. (2018). Analytical approaches for determining chemical oxygen demand in water bodies: A review. *Critical Reviews in Analytical Chemistry*, 48(1), 47–65. <https://doi.org/10.1080/10408347.2017.1370670>
- Министр водных ресурсов и ирригации Республики Казахстан. (2025). Единая система классификации качества воды в водных объектах (Приказ № 111-НҚ от 4 июня 2025 года). <https://adilet.zan.kz/rus/docs/G25MA000111>
- Министерство сельского хозяйства Российской Федерации. (2016). Об утверждении нормативов качества воды водных объектов рыбохозяйственного значения (Приказ № 552 от 13 декабря 2016 г.).
- Nicolaidis, C., & Vyrides, I. (2014). Closing the water cycle for industrial laundries: An operational performance and technoeconomic evaluation of a full-scale membrane bioreactor system. *Resources, Conservation and Recycling*, 92, 128–135. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2014.09.001>
- Никаноров, А. М. (2001). Гидрохимия (2-е изд.). Гидрометеиздат.
- Правительство Республики Казахстан. (2023). Обновленный национальный вклад Республики Казахстан в глобальное реагирование на изменение климата (Постановление № 313 от 19 апреля 2023 года). <https://adilet.zan.kz/rus/docs/P2300000313>
- Рельеф Казахстана. (1991). Пояснительная записка к геоморфологической карте Казахской ССР масштаба 1:1500000. Фылым.
- Романова, С.М. (2007). Характеристика гидрохимического режима канала Ертис-Караганда. *Гидрометеорология и экология*, (4), 63–73.
- Романова, С. М., & Казангапова, Н. Б. (1991). Органические вещества воды озера Балхаш. В *Экологические проблемы Казахстана* (с. 139–143).

Rudaru, D. G., Lucaciu, I. E., & Fulgheci, A. M. (2022). Correlation between BOD5 and COD–biodegradability indicator of wastewater. *Romanian Journal of Ecology & Environmental Chemistry*, 4(2), 80–86.

СанПиН 2.1.4.1175-02 «Гигиенические требования к качеству воды нецентрализованного водоснабжения. Санитарная охрана источников. Санитарноэпидемиологические правила и нормы» [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://www.consultant.ru>.

Сейтбаев, К. Ж., Базарбаева, Ж. М., Решетова, О. А., & Бектурганов, Б. Б. (2012). Гистологическое изучение жабр и органов желудочно-кишечного тракта судака, обитающего в озере Биликоль. *Eurasian Journal of Ecology*, 35(3), 202–208.

Сейтбаев, К. Ж., Жанилова, А.Т., Момбаева, Б.К. (2014г). Состав ихтиофауны и пути её формирования в водоёмах Жамбылской области. https://www.rusnauka.com/3_ANR_2014/Biologia/7_157221.doc.html

Селезнев, В. А. (2024). Особенности сезонной изменчивости интегральных показателей содержания растворенных органических веществ. *Известия Иркутского государственного университета. Серия: Науки о Земле*, (50), 126–140. <https://cyberleninka.ru/article/n/osobennosti-sezonnoy-izmenchivosti-integralnyh-pokazateley-soderzhaniya-rastvorenyh-organicheskikh-veschestv-v-usloviyah-massovogo>

Семенов, А. Д. (1977). *Руководство по химическому анализу поверхностных вод суши*. Гидрометеоздат.

Середин, В. А. (2019). Изучение биоразнообразия флоры и фауны озера Биликоль. *Евразийский Союз Ученых*, (9–3), 8–10.

Taylor, K. E., Stouffer, R. J., & Meehl, G. A. (2012). An overview of CMIP5 and the experiment design. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 93(4), 485–498. <https://doi.org/10.1175/BAMS-D-11-00094.1>

Tengrinews. (n.d.). Озеро Жамбылской области повторит судьбу Аральского моря. https://tengrinews.kz/kazakhstan_news/ozero-jambylskoj-oblasti-povtorit-sudbu-aralskogo-morya-429787/

Турданова, М., Муздыбаева, К., Мухтаров, У., Асанбаева, А., & Қожабекова, Z. (2025). Эколого-географические проблемы развития урбосистем Жамбылской области. *Journal of Geography and Environmental Management*, 75(4), 47–56. <https://doi.org/10.26577/JGEM.2024.v75.i4.4>

Ho, K. C., Teow, Y. H., Sum, J. Y., Ng, Z. J., & Mohammad, A. W. (2021). Water pathways through the ages: Integrated laundry wastewater treatment for pollution prevention. *Science of the Total Environment*, 760, 143966. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.143966>

Чередниченко, А. В. (2009). Климат Казахстана как отклик на глобальное изменение климата. *Гидрометеорология и экология*, (4), 7–20.

References

Aguilar-Torrejón, J. A., Balderas-Hernández, P., Roa-Morales, G., Barrera-Díaz, C. E., Rodríguez-Torres, I., & Torres-Blancas, T. (2023). Relationship, importance, and development of analytical techniques: COD, BOD, and TOC in water—An overview through time. *SN Applied Sciences*, 5(4), 118. <https://doi.org/10.1007/s42452-023-05318-7>

Alexander, V., Nova, S., & Burmana, A. D. (2024). Inlet diverters and oil collectors in distillation columns for reducing COD and BOD5 in biodiesel plants. *Case Studies in Chemical and Environmental Engineering*, 10, 100908. <https://doi.org/10.1016/j.csee.2024.100908>

Alekin, O. A. (1970). *Osnovy gidrokhimii*. Gidrometeoizdat.

Alimkulov, S. A., Tursunova, A. A., & Saparova, A. A. (2021). Resursy rechnogo stoka Kazakhstana v usloviyakh budushchikh klimaticheskikh i antropogennykh izmeneniy [Water runoff resources of Kazakhstan under future climatic and anthropogenic changes]. *Gidrometeorologiya i Ekologiya*, (1), 59–67. <https://cyberleninka.ru/article/n/resursy-rechnogo-stoka-kazakhstana-v-usloviyakh-buduschih-klimaticheskikh-i-antropogennykh-izmeneniy>

Amirgaliev, N. A., Madibekov, A. S., Mussakulkyzy, A., Ismukhanova, L. T., Kulbekova, R. A., & Zhadi, A. O. (2018). Assessment of water quality based on hydrochemical parameters. *Geography and Natural Resources*, (2), 77–85. <https://cyberleninka.ru/article/n/otsenka-kachestva-vod-ozer-kazakhstana-po-gidrohimicheskim-parametram>

Bolatkhon, K., Akmukhanova, N. R., Sadvakasova, A. K., Bauyenova, M. O., & Zayadan, B. K. (2016). Cyanobacterial toxins produced during the blooming period of Lake Bilikol. *Eurasian Journal of Ecology*, 47(2), 14–22.

Cherednichenko, A. V. (2009). Klimat Kazakhstana kak otklik na global'noe izmenenie klimata [Climate of Kazakhstan as a response to global climate change]. *Gidrometeorologiya i Ekologiya*, (4), 7–20.

GOST RK 51592-2003. (2003). General requirements for sampling.

Government of the Republic of Kazakhstan. (2023). *Updated nationally determined contribution of the Republic of Kazakhstan to the global response to climate change* (Resolution No. 313, April 19, 2023). <https://adilet.zan.kz/rus/docs/P2300000313>

Dai, A., Qian, T., Trenberth, K. E., & Milliman, J. D. (2009). Changes in continental freshwater discharge from 1948 to 2004. *Journal of Climate*, 22(10), 2773–2792. <https://doi.org/10.1175/2008JCLI2592.1>

State Water Cadastre of the Republic of Kazakhstan. (2007–2024). Surface waters of land: Catalog data. Kazhydromet.

Guseva, T. V. (2002). *Hydrochemical indicators of environmental composition*. Social-Ecological Union.

Dedkov, Y., Elizarova, O., & Kel'ina, S. (2000). Dichromate method for the determination of chemical oxygen demand. *Journal of Analytical Chemistry*, 55(8), 777–778. <https://doi.org/10.1007/BF02757915>

- Dolmatova, L. A., & Guseva, M. A. (2005). Seasonal variability of organic matter content in water and bottom sediments of the Barnaulka River. *Izvestiya Altai State University*, (3), 17–20. <https://cyberleninka.ru/article/n/sezonnaya-izmenchivost-soderzhaniya-organicheskikh-veschestv-v-vode-i-donnyh-otlozheniyah-r-barnaulki>
- Duisenbekov, S. L., Kuatbayev, A. T., Nazarbekova, S. T., Tairova, S. K., Zhanyazov, Z. A., Kalimbetova, A. T., & Narmuratova, Z. (2016). General characteristics and classification of natural forage lands of the Berikkarin rural district of Zhambyl region. *Eurasian Journal of Ecology*, 41(2), 69–73.
- Zayadan, B. K., Akmuhanova, N. R., Sadvakasova, A. K., Kirbayeva, D. K., Bolatkhan, K., Bauyenova, M. O., & Seilbek, S. N. (2015). Study of qualitative and quantitative composition of algoflora of Lake Bilikol. *Experimental Biology*, 65(3), 196–202.
- Information bulletin on the state of the environment. (2007–2024). Kazhydromet
- Ho, K. C., Teow, Y. H., Sum, J. Y., Ng, Z. J., & Mohammad, A. W. (2021). Water pathways through the ages: Integrated laundry wastewater treatment for pollution prevention. *Science of the Total Environment*, 760, 143966. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.143966>
- Li, J., Luo, G., He, L., Xu, J., & Lyu, J. (2018). Analytical approaches for determining chemical oxygen demand in water bodies: A review. *Critical Reviews in Analytical Chemistry*, 48(1), 47–65. <https://doi.org/10.1080/10408347.2017.1370670>
- Ministry of Agriculture of the Russian Federation. (2016). On approval of water quality standards for fisheries water bodies (Order No. 552 of December 13, 2016).
- Ministry of Water Resources and Irrigation of the Republic of Kazakhstan. (2025). *Unified system for water quality classification in water bodies* (Order No. 111-NQ, June 4, 2025). Retrieved from <https://adilet.zan.kz/rus/docs/G25MA000111>
- Nicolaidis, C., & Vyrides, I. (2014). Closing the water cycle for industrial laundries: An operational performance and techno-economic evaluation of a full-scale membrane bioreactor system. *Resources, Conservation and Recycling*, 92, 128–135. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2014.09.001>
- Nikanorov, A. M. (2001). *Hydrochemistry* (2nd ed.). Gidrometeoizdat.
- Relief of Kazakhstan. (1991). Explanatory note to the geomorphological map of the Kazakh SSR (scale 1:1,500,000). Gylym.
- Romanova, S. M. (2007). Characteristics of the hydrochemical regime of the Irtysh–Karaganda canal. *Hydrometeorology and Ecology*, (4), 63–73.
- Romanova, S. M., & Kazangapova, N. B. (1991). Organic matter of Lake Balkhash water. In *Ecological problems of Kazakhstan* (pp. 139–143).
- Rudaru, D. G., Lucaci, I. E., & Fulgheci, A. M. (2022). Correlation between BOD5 and COD—Biodegradability indicator of wastewater. *Romanian Journal of Ecology & Environmental Chemistry*, 4(2), 80–86.
- SanPiN 2.1.4.1175-02. Hygienic requirements for water quality of non-centralized water supply. <http://www.consultant.ru>
- Seitbayev, K. Z., Bazarbayeva, Z. M., Reshetova, O. A., & Bekturganov, B. B. (2012). Histological study of gills and gastrointestinal organs of pike-perch from Lake Bilikol. *Eurasian Journal of Ecology*, 35(3), 202–208.
- Seitbayev, K. Z., Zhanilova, A. T., & Mombayeva, B. K. (2014). Composition of ichthyofauna and its formation in water bodies of Zhambyl region. https://www.rusnauka.com/3_ANR_2014/Biologia/7_157221.doc.html
- Seleznev, V. A. (2024). Features of seasonal variability of integral indicators of dissolved organic matter. *Proceedings of Irkutsk State University. Earth Sciences Series*, (50), 126–140. <https://cyberleninka.ru/article/n/osobennosti-sezonnoy-izmenchivosti-integralnyh-pokazateley-soderzhaniya-rastvorenykh-organicheskikh-veschestv-v-usloviyah-massovogo>
- Semenov, A. D. (1977). *Guide to chemical analysis of surface waters*. Gidrometeoizdat.
- Seredin, V. A. (2019). Study of biodiversity of flora and fauna of Lake Bilikol. *Eurasian Union of Scientists*, (9–3), 8–10.
- Tengrinews. (n.d.). Lake in Zhambyl region may repeat the fate of the Aral Sea. https://tengrinews.kz/kazakhstan_news/ozero-jambylskoy-oblasti-povtorit-sudbu-aralskogo-morya-429787/
- Turdanova, M., Muzdybayeva, K., Mukhtarov, U., Asanbayeva, A., & Kozhabekova, Z. (2025). Ecological and geographical problems of urban systems development in Zhambyl region. *Journal of Geography and Environmental Management*, 75(4), 47–56. <https://doi.org/10.26577/JGEM.2024.v75.i4.4>
- Vasiliskova, A. V., & Kondratenko, S. V. (2025). Variability of chemical indicators of filtration waters from the municipal solid waste landfill of Kaliningrad. *Vestnik Kamchatskogo Gosudarstvennogo Tekhnicheskogo Universiteta*, 74, 116–126.
- Zhivetina, A. V., Nokhrin, D. Yu., Derkho, M. A., & Mukhamedyarova, L. G. (2021). Seasonal features of the chemical composition and water quality in a river-type reservoir. *Scientific Notes of V. I. Vernadsky Crimean Federal University. Biology. Chemistry*, 7(73).

Сведения об авторах:

- София М. Романова – доктор географических наук, главный научный сотрудник лаборатории гидробиологии и экотоксикологии РГП на ПХВ «Институт зоологии» КН МНВО РК (Алматы, Казахстан, e-mail: sofiyarom@mail.ru).
- Айзада С. Серикова – младший научный сотрудник лаборатории гидробиологии и экотоксикологии РГП на ПХВ «Институт зоологии» КН МНВО РК (Алматы, Казахстан, e-mail: aizada.serikova@zool.kz).
- Рабат Е. Махмудова – младший научный сотрудник лаборатории гидробиологии и экотоксикологии РГП на ПХВ «Институт зоологии» КН МНВО РК (Алматы, Казахстан, e-mail: rabat.makhutova@zool.kz).

Information about the authors:

Sofiya Romanova – doctor of geographical sciences, leading researcher of the laboratory of hydrobiology and ecotoxicology, «Institute of Zoology» (Almaty, Kazakhstan, e-mail: sofiyarom@mail.ru).

Aizada Serikova – Junior researcher at the Laboratory of Hydrobiology and Ecotoxicology, «Institute of Zoology» (Almaty, Kazakhstan, e-mail: aizada.serikova@zool.kz).

Rabat Makhmutova – Junior researcher at the laboratory of hydrobiology and ecotoxicology, «Institute of Zoology» (Almaty, Kazakhstan, e-mail: rabat.makhutova@zool.kz).

Авторлар туралы мәлімет:

София М. Романова – география ғылымдарының докторы, ҚР ҒЖБМ ҒК «Зоология институты» ШЖҚ РМК гидро-биология және экотоксикология зертханасының бас ғылыми қызметкері (Алматы, Қазақстан, e-mail: sofiyarom@mail.ru).

Айзада С. Серікова – ҚР ҒЖБМ ҒК «Зоология институты» ШЖҚ РМК гидробиология және экотоксикология зертханасының кіші ғылыми қызметкері (Алматы, Қазақстан, e-mail: aizada.serikova@zool.kz).

Рабат Е. Махмұтова – ҚР ҒЖБМ ҒК «Зоология институты» ШЖҚ РМК гидробиология және экотоксикология зертханасының кіші ғылыми қызметкері (Алматы, Қазақстан, e-mail: rabat.makhutova@zool.kz).

Поступила: 15 января 2026 года

Принята: 25 мая 2026 года

3-бөлім
**КАРТОГРАФИЯ ЖӘНЕ
ГЕОИНФОРМАТИКА**

Section 3
**CARTOGRAPHY AND
GEOINFORMATICS**

Раздел 3
**КАРТОГРАФИЯ
И ГЕОИНФОРМАТИКА**

А. Бекетова* , Ж. Берденов 

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

*e-mail: taterovaaidana@mail.ru

ОҢТҮСТІК ОРАЛ ТАУЛЫ ЖҮЙЕСІНІҢ ҚАЗАҚСТАНДЫҚ БӨЛІГІНІҢ ТЕХНОГЕНЕЗ ЖАҒДАЙЫНДАҒЫ ЛАНДШАФТТЫ-ЭКОЛОГИЯЛЫҚ ТҰРАҚТЫЛЫҒЫНЫҢ КАРТОГРАФИЯЛЫҚ ТАЛДАУЫ

Ұсынылып отырған мақалада Оңтүстік Орал таулы жүйесінің Қазақстандық бөлігіндегі аумағында ұзақ мерзімді және қарқынды техногендік әсер жағдайында қалыптасқан геожүйелердің ландшафттық-экологиялық тұрақтылығына кешенді картографиялық талдау жүргізілген. Зерттеменің өзектілігі аумақтың көпжылдық тау-кен өндіру және өңдеуші өнеркәсіптің дамуымен, сондай-ақ бұзылған жерлерді рекультивациялау мен экологиялық қалпына келтіру шараларының жеткіліксіз жүзеге асырылуымен байланысты антропогендік трансформациясының жоғары деңгейімен айқындалады.

Жүргізілген зерттеу барысында геожүйелердің тұрақтылық көрсеткіштерінің айқын кеңістіктік дифференциациясы айқындалды. Салыстырмалы түрде жоғары тұрақтылыққа ие аймақтар негізінен топырақ-гидрологиялық жағдайлары қолайлы және техногендік жүктемесі төмен аумақтармен байланысты екені анықталды. Сонымен қатар зерттелетін өңірдің едәуір бөлігі табиғи ортаның техногендік трансформациясының жалпы аясын көрсететін, орташа және төмен тұрақтылық деңгейімен сипатталады. Өте төмен тұрақтылық аймақтары өнеркәсіптік тораптар мен пайдалы қазбаларды қарқынды игеру аудандары шегінде шоғырланған, мұнда топырақ жамылғысының құрылымы бұзылып, өсімдік жамылғысы деградацияға ұшыраған техногендік геожүйелер қалыптасқан.

Алынған нәтижелер техногенездің геожүйелер тұрақтылығының төмендеуіндегі негізгі фактор ретіндегі жетекші рөлін дәлелдейді және табиғатты пайдалануды басқаруда дифференциаланған тәсілді қолданудың қажеттілігін негіздейді. Зерттеудің практикалық маңызы әзірленген картографиялық модельдерді аумақты экологиялық аудандастыруда, қалпына келтіру шараларын жоспарлауда және өңірдің тұрақты дамуын қамтамасыз ету үдерістерінде пайдалануға мүмкіндік беруімен айқындалады.

Түйін сөздер: GIS, ландшафт тұрақтылығы, техногенез, Оңтүстік Орал, Қазақстан, геоэкология, картографиялау, экологиялық бағалау.

A. Beketova*, Zh. Berdenov

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

*e-mail: taterovaaidana@mail.ru

Cartographic analysis of landscape-ecological stability of the Kazakhstan part of the Southern Urals under conditions of technogenesis

The article presents a comprehensive cartographic analysis of the landscape-ecological stability of geosystems in the Kazakhstan part of the Southern Urals, formed under conditions of long-term and intensive technogenic impact. The relevance of the study is determined by the high degree of anthropogenic transformation of the territory, caused by decades of mining and processing industry development, as well as the insufficient implementation of land reclamation and ecological restoration measures in disturbed areas.

The conducted research revealed a pronounced spatial differentiation of geosystem stability indicators. It was established that areas with relatively high stability are mainly associated with territories characterized by favorable soil-hydrological conditions and minimal technogenic load. At the same time, a significant part of the study region is characterized by moderate and low stability, reflecting the overall background of technogenic transformation of the natural environment. Zones of extremely low stability are localized within industrial hubs and areas of intensive mineral resource extraction, where technogenic geosystems with disturbed soil structure and degraded vegetation cover have been formed.

The obtained results confirm the leading role of technogenesis as a key factor in reducing geosystem stability and substantiate the need for a differentiated approach to environmental management. The practical significance of the study lies in the possibility of using the developed cartographic models for

ecological zoning, planning of restoration measures, and ensuring the principles of sustainable regional development.

Keywords: GIS, landscape stability, technogenesis, South Urals, Kazakhstan, geoecology, mapping, environmental assessment.

А. Бекетова*, Ж. Берденов

Евразийский национальный университет имени Л.Н. Гумилева, Астана, Казахстан

*e-mail: taterovaaidana@mail.ru

Картографический анализ ландшафтно-экологической устойчивости казахстанской части Южного Урала в условиях техногенеза

В представленной статье выполнен комплексный картографический анализ ландшафтно-экологической устойчивости геосистем казахстанской части Южного Урала, сформировавшихся в условиях длительного и интенсивного техногенного воздействия. Актуальность исследования определяется значительной степенью антропогенной трансформации территории, обусловленной многолетним развитием горнодобывающей и перерабатывающей промышленности, а также недостаточной реализацией мероприятий по рекультивации и экологическому восстановлению нарушенных земель.

В ходе проведенного исследования выявлена существенная пространственная дифференциация показателей устойчивости геосистем. Установлено, что участки с относительно высокой устойчивостью приурочены преимущественно к территориям с благоприятными почвенно-гидрологическими условиями и минимальным уровнем техногенной нагрузки. Вместе с тем значительная часть исследуемого региона характеризуется средней и пониженной устойчивостью, что отражает общий фон техногенной трансформации природной среды. Зоны крайне низкой устойчивости локализуются в пределах промышленных узлов и районов активной добычи полезных ископаемых, где сформированы техногенные геосистемы с нарушенной структурой почвенного покрова и деградированным растительным компонентом.

Полученные результаты подтверждают ведущую роль техногенеза как ключевого фактора снижения устойчивости геосистем и обосновывают необходимость применения дифференцированного подхода к управлению природопользованием. Практическая значимость исследования заключается в возможности использования разработанных картографических моделей при экологическом зонировании территории, планировании восстановительных мероприятий и обеспечении принципов устойчивого развития региона.

Ключевые слова: ГИС, устойчивость ландшафтов, техногенез, Южный Урал, Казахстан, геоэкология, картографирование, экологическая оценка.

Кіріспе

Географиялық ғылымның қазіргі даму кезеңі «техногенез» (Berdenov, 2025) ұғымымен біріктірілетін, табиғи геожүйелердің антропогендік факторлардың әсерінен трансформациялану мәселелеріне назардың күшеюімен сипатталады. Шаруашылық қызметтің жаһандануы және табиғи ресурстарды жедел игеру жағдайында техногенез ландшафттардың құрылымы, қызметі мен тұрақтылығының өзгеруіндегі негізгі факторлардың біріне айналууда. Жаһандық деңгейде техногендік үдерістер топырақ жамылғысының деградациясы, гидрологиялық режимнің бұзылуы, биоауантүрліліктің төмендеуі және биогеохимиялық циклдердің өзгеруі арқылы көрініс табады. Бұл үрдістер шетелдің индустриалды дамыған елдерінде де, сондай-ақ табиғи жүйелер ұзақ уақыт бойы экологиялық салдарларды жеткілікті ескермей қарқынды пайдалануға ұшыраған посткеңестік жер аймақтарында да байқалады.

Америка Құрама Штаттары, Канада, Германия және Қытай сияқты елдерде ландшафттарға антропогендік әсерді зерттеу тұрақты даму тұжырымдамалары, ландшафт экологиясы және геоақпараттық модельдеу шеңберінде белсенді дамып келеді. Дәлірек айтқанда, қазіргі заманғы зерттемелер геожүйелердің тұрақтылығын интегралды индекстерді, Жерді қашықтықтан зондауды (ЖҚЗ) және кеңістіктік талдауды қолдана отырып бағалауға бағытталған. Бұл зерттемелер ландшафттардың тұрақтылығы тек табиғи факторлармен ғана емес, сонымен қатар индустриаландыруды, урбанизацияны және тау-кен өндірісін қоса алғанда, антропогендік қысым деңгейімен де анықталатынын атап көрсетеді (Kovalchuk & Naraykin, 2016; Beketova et al., 2025).

Көршілес орналасқан елдерде, соның ішінде Ресейде, Қазақстанда және басқа да Орталық

Азия мемлекеттерінде техногенездің экономикалық даму тарихымен шартталған өзіндік ерекшеліктері бар. Оңтүстік Орал және оған іргелес аймақтар Еуразияның ең көне индустрияландырылған аймақтарының бірі болып табылады, онда XVIII ғасырдан бері қарай минералды шикізат өндіру қарқынды жүргізіліп келеді. Тіпті сол кезеңнің өзінде де табиғи жүйелерге деген анағұрлым әсерлер байқалды, соның ішінде ормандардың жойылуы, судың ластануы және ландшафттың бұзылуы секілді өзгерістерді айтуға болады. XX ғасырда тау-кен өнеркәсібінің, металлургияның және көлік инфрақұрылымының дамуына байланысты антропогендік жүктеме арттып, бұл экологиялық күйзеліске ие аймақтардың пайда болуына әкелді (Berdenov et al., 2021).

Ұзақ мерзімді антропогендік әсерге ұшыраған аумақтардың ландшафттық және экологиялық тұрақтылығын (Beketova et al., 2020) зерттеу айрықша өзектілікке ие. Ландшафттың тұрақтылығы ландшафттардың сыртқы әсерлер кезінде өз құрылымы мен функцияларын сақтау, сондай-ақ бұзылулардан кейін қалпына келу қабілеті ретінде қарастырылады. Осыған байланысты, картаға түсіру талдаудың маңызды құралына айналады, бұл бізге геожүйелердің трансформациясының кеңістіктік заңдылықтарын, сонымен қатар әртүрлі тұрақтылық дәрежесіндегі аймақтарды анықтауға мүмкіндік береді (Chibilev, 2011).

Бұл зерттеудің мақсаты – техногенез жағдайындағы Оңтүстік Оралдың Қазақстан бөлігінің ландшафттық және экологиялық тұрақтылығын картографиялық талдау болып табылады. Бұл мақсатқа жету үшін ландшафттардың табиғи құрылымын талдау, антропогендік әсерлерді бағалау, интеграцияланған тұрақтылық көрсеткіштерін есептеу және тақырыптық карталар жасау сияқты бірқатар міндеттерді шешу қажет етеді.

Оңтүстік Оралдың Қазақстандық бөлігі (Koshim et al., 2015) әртүрлі табиғи жағдайлар мен антропогендік трансформацияның жоғары дәрежесінің үйлесімімен сипатталатын ерекше геоэкологиялық аймақ. Аумақ далалық, орманды далалық және таулы ландшафттарды қамтиды, олардың әрқайсысының биологиялық және ресурстық әлеуеті айтарлықтай. Дегенмен, хромит, никель, мұнай және басқа да пайдалы қазбаларды өндіруді қоса алғанда, табиғи ресурстарды пайдаланудың ұзақтылығы қоршаған ортаның айтарлықтай өзгерістеріне әкелді.

Бұл аймақ қоршаған ортаға айтарлықтай әсер ететін Дөң тау-кен байыту комбинаты (Berdenov et al., 2019) сияқты ірі тау-кен кәсіпорындарының болуымен сипатталады. Зерттеулер антропогендік әсерлер өсімдіктердің түрлік құрамының өзгеруінде ғана емес, сонымен қатар оның физиологиялық жағдайының нашарлауында, биомассаның азаюында және фитоценоздар құрылымының бұзылуында да көрінетінін анықтайды. Сонымен қатар, ластану көздерінен айтарлықтай қашықтықта деградация үрдістері байқалады, бұл аймақтың табиғи жүйелерінің жоғары осалдылығын көрсетеді.

Зерттеулер техногендік әсердің тек қана өсімдіктердің түрлік құрамының өзгеруімен ғана емес, сонымен қатар олардың физиологиялық жағдайының нашарлауымен, биомассасының азаюымен және фитоценоздар құрылымының бұзылуымен де көрінетінін көрсетеді. Сонымен қатар, деградация үдерістері ластану көздерінен едәуір қашықтықта да байқалады, бұл аймақтың табиғи жүйелерінің жоғары осалдық деңгейін дәлелдейді.

Қосалқы қауіп – қатер себепшарты – бұзылған жерлердің жеткіліксіз қалпына келтірілуі (Berdenov et al., 2025). Өнеркәсіптік пайдалануға ұшыраған көптеген аудандарда топырақ жамылғысын, өсімдіктерді және гидрологиялық жағдайларды қалпына келтіру бойынша жүйелі шаралар жеткіліксіз болып табылады. Бұл экожүйе өнімділігінің төмендеуімен, эрозия үрдістерінің жоғарылауымен және табиғи ресурстардың тозуымен сипатталатын қоршаған ортаның деградациясының тұрақты ошақтарының пайда болуына әкеліп соғады.

Осылайша, Оңтүстік Орал таулы жүйесінің Қазақстандағы бөлігі жоғары экологиялық тәуекел аймағы деп санауға болады, мұнда қарқынды техногендік факторлар табиғи экожүйелердің жеткіліксіз қалпына келуімен үйлеседі. Бұл жағдайлар заманауи геоақпараттық талдау және картаға түсіру әдістерін қолдана отырып, ландшафттың тұрақтылығын (төзімділігін) кешенді бағалауды қажет етеді (Berdenov et al., 2021).

Отандық және шетелдік зерттеушілер аймақтағы ландшафттық-экологиялық процестерді зерттеуге айтарлықтай үлес қосты. Атап айтқанда, Е.Кабиев (Kabiye et al., 2018) Жайық өзені атырабының ландшафттық-экологиялық талдамасын ГАЖ-технологияларын пайдаға асыру арқылы қарастырып, бұның өзі геожүйелердің антропогендік трансформация деңгейін бағалап қана қоймай, төзімділіктің картографиялық үл-

гілерін әзірлеуге мүмкіндік берді. Осыған ұқсас тәсілдер өзен алабының геожүйелерін антропогендік жүктеме мен туристік әлеуетті ескере отырып талдаған, Ж. Г. Берденов (Berdenov et al., 2016) зерттеулерінде де қолданылады.

Тау-кен өндіру аймақтарындағы антропогендік жүктемелер мен ландшафттың тұрақтылығын бағалауға арналған зерттеулер маңызды маңызға ие. Мысалы, В. Б. Михно (Mikhno et al., 2014) геожүйелердің тұрақтылығын табиғи және антропогендік факторлардың өзара әрекеттесуін көрсететін интегралды белгісі ретінде қарастырады. Ал Б.И. Кочуров (Kochurov, 2003) болса, аумақтардың экологиялық ахуалын, соның ішінде топырақ көрсеткіштерін, өсімдіктерді және гидрографиялық режимді бағалау үшін кешенді индикаторларды пайдалану керектілігін атап өтеді.

Шетел ғылыми әдебиеттерінде ландшафттың тұрақтылығын кеңістіктік талдауға айтарлықтай көңіл бөлінген. Forman & Godron (Forman & Godron, 1986), Monica G. Turner, Robert H. Gardner, Robert V. O'Neill (Turner et al., 2001) және J. Wu (Wu, 2013) жұмыстары ландшафт экологиясының теориялық негіздерін қалай отырып, және геожүйелердің кеңістіктік құрылымы мен өсіңкілігін есепке алудың қажеттілігін атап көрсетеді. J.A. Foley (Foley et al., 2005) мен Ellis (Ellis, 2015) зерттемелерінде жерді қолданудағы өзгерістер мен биосфераның трансформациясын қоса алғанда, табиғи жүйелерге антропогендік әсердің жаһандық салдарын зерттейді.

Қазіргі заманғы зерттеулерде ландшафттың тұрақтылығын бағалау үшін геоакпараттық технологиялар мен қашықтықтан зондтауды пайдалануға баса назар аударады. Атап айтқанда, D'Ambrosio et al. (2022) мен Li et al. (2020) қоршаған ортаның деградация аймақтарын анықтау және табиғи жүйелердегі өзгерістерді болжау үшін спутниктік деректер мен кеңістіктік талдау модельдерін біріктірудің әлеуетін көрсетеді.

Ландшафттық-экологиялық процестерге арналған айтарлықтай зерттеулерге қарамастан, Оңтүстік Орал таулы жүйесінің Қазақстандық бөлігі ландшафтарының тұрақтылығы кешенді картографиялық талдау тұрғысынан әлі де толық зерделенбеген. Зерттемелердің көпшілігі қоршаған ортаның жеке компоненттеріне немесе жергілікті аумақтарға бағытталған, бұл геожүйелік тұрақтылықтың кеңістіктік құрылымын кешенді түсінуге мүмкіншілік бермейді.

Сонымен, беріліп отырған зерттеменің көкейкестілігі геоакпараттық талдау мен картаға түсірудің заманауи әдістерін қолдана отырып,

аймақтың ландшафттық және экологиялық тұрақтылығын бағалауға кешенді тәсілді әзірлеу қажеттілігімен анықталады. Пайда болған қорытындылар табиғатты ұтымды пайдалану шараларын негіздеу, қоршаған ортаны қалпына келтіру стратегияларын әзірлеу және аймақтың тұрақты дамуын қамтамасыз ету үшін пайдаланылуы мүмкін.

Зерттеу аумағы және әдістері

Зерттеулер Орал тауларының оңтүстік шеткі бөліктерінде жүргізілді (Dzhanaleeva, 2010). Оңтүстік Оралдың тау етектері абсолюттік биіктіктері 250-ден 600–700 м-ге дейінгі аралықта орналасқан және бөктерлі аласа таулар мен биік үстірттерден тұрады. Орал тауларының негізгі жер бедері пішіндері тау етегінің оңтүстігіне дейін дерлік сақталған. Рельефтің басты ерекшелігі – кристалдық жыныстардан құралған үстірт тәрізді қыраттар мен төбелі жазықтардың алмасып келуі.

Оңтүстігінде аумақ силур және девон жастағы эффузив жыныстардан құралған Мұғалжар тауларының солтүстік сілемдерімен шектеледі (EcoProject LLP., 2019). Орск ойысының еңсіз, жазық жазығы Оңтүстік Оралдың тау етегіндегі жоталарды жиектеп, абсолюттік биіктіктері 240 – 420 м – ге ие.

Гидрологиялық тұрғыдан бұл провинция қарқынды беткі ағын мен таяз айналымдағы жерасты суларының қалыптасу аймағы болып табылады. Суайрықтарда жерасты сулары негізінен кембрийге дейінгі және төменгі палеозойдың күшті метаморфтанған жарықшақты жыныстарына тән. Олардың минералдануы әдетте 1–1,5 г/л-ден аспайды, ал бұлақ көздерінің шығыны 100-170 м³/тәулік аралығында болады (Sacred geography of Aktobe region, 2021).

Жоғарғы ағын Ырғыз, Елек, Ор, Ембі өзендерінің жоғарғы ағыстарымен сипатталады. Ұсақ көлдер кең таралған (Berdenov et al., 2017).

Зерттелетін аумақта топырақ жамылғысының сипатына қарай келесі табиғи зоналар мен кіші зоналарды бөліп көрсетуге болады:

- оңтүстік қара топырақтардағы қоңыржай құрғақ далалар мен қара-қоңыр топырақтардағы құрғақ далаларды қамтитын дала зонасы, соның ішінде гумусы аз (орташа қара-қоңыр) топырақтар;

- ашық қара-қоңыр топырақтарда қалыптасқан шөлейт (жартылай шөл) зонасы (Berdenov et al., 2024; Beketova et al., 2025).

Зоналар арасындағы шекаралар өте ирек пішінді. Мысалы, қара топырақтар зонасы Оңтүстік Орал сілемдері бойымен $50^{\circ}10'$ ендікке дейін енсе, Мұғалжар тауларында қоңыр топырақтар зонасы 48° ендікте қалыптасқан.

Зерттеулер 2023–2025 жылдары, жаз мезгілінде жүргізілді. Далалық зерттеулердің негізіне сынама учаскелерде геоботаникалық алаңдар салумен жүзеге асырылатын ландшафттық профильдеу әдісі алынды. Сынама учаскелерде жер бедері мен геоморфологиялық элементтер сипатталып, метеорологиялық бақылаулар жүргізілді, топырақ қималары мен геоботаникалық алаңдар салынды және сипатталды (Berdenov et al., 2015). Далалық зерттеулер материалдары кешенді түрде статистикалық, математикалық және геоакпараттық өңдеуден өткізілді. Бұл ретте корреляциялық, салыстырмалы және кеңістіктік талдау әдістері, сондай-ақ геоакпараттық модельдеу қолданылды, бұл геожүйелер тұрақтылығының кеңістіктік дифференциациясының заңдылықтарын анықтауға мүмкіндік берді.

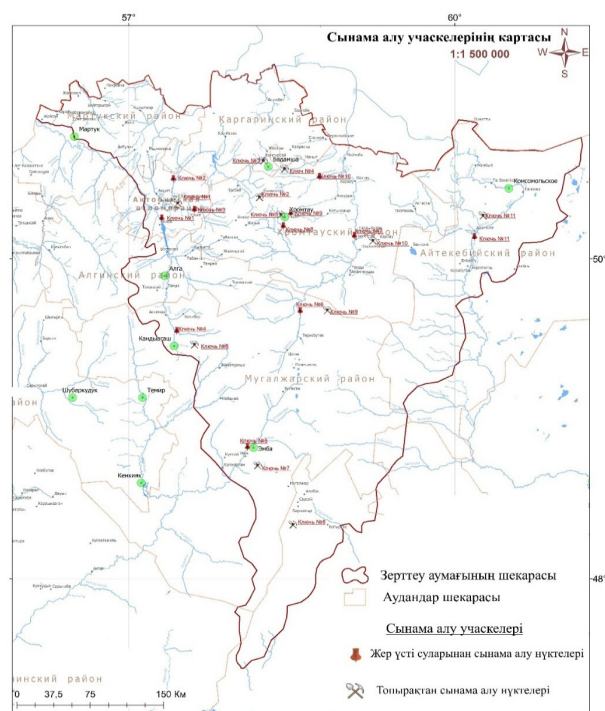
Зерттелетін өңір аумағында жүргізілген далалық жұмыстар барысында негізгі жерүсті топырақ және су учаскелері (1-сурет) белгіленіп, олардың шегінде ландшафттық профильдеу орындалды. Әрбір учаске үшін физикалық-географиялық жағдайларға сипаттама беріліп, зерттелетін жер типтерінің топырақ-климаттық ерекшеліктері айқындалды.

Табиғи кешендердің тұрақтылығы, яғни жүйелердің табиғи немесе антропогендік әсерден кейін өзін-өзі реттеу және қалпына келтіру қабілеті біздің тарапымыздан экожүйе компоненттерінің геохимиялық, биологиялық және механикалық тұрақтылықтарын қамтитын интегралдық шама арқылы анықталды (Berdenov et al., 2016). Ландшафттардың антропогендік әсерге тұрақтылығын интегралдық бағалау кезінде М.А. Глазовская (Glazovskaya, 1976), И.В. Орлова (Orlova, 2006), Т.В. Антюфеева (Antyufeeva, 2004) ұсынған тұрақтылықты бағалау қағидаттары пайдаланылды (1-кесте).

Тұрақтылықты бағалау қағидаттары көрсеткіштерді нормалау және оларды баллдық жүйені пайдаланып қорытындылау әдістеріне негізделген, бұл тұрақтылықты кешенді бағалауға мүмкіндік береді. Геожүйелердің антропогендік әсерлерге төзімділігі 1-кестеде көрсетілген көрсеткіштермен сипатталады. Қарастырылып отырған үрдісті ең жақсы сипаттайтын көрсеткішті таңдай отыра, өзара байланысты мәндерді пайдаланудан қашық болдық.

1-сурет

Топырақ және жерүсті су объектілерінің сынама алаңдарының картасы



Ескерту: авторлармен құрастырған.

Жер бедері ландшафттардың тұрақтылығының маңызды құрамдас бөліктерінің бірі болып табылады, себебі ол компоненттердің өзара әрекеттесу жүйесінде энергия мен заттардың қайта бөлінуіне ықпалын тигізеді. Жер бедерінің сипаты құрғатылған дәрежесін, эрозиялық үдерістердің қарқындылығын, гравитациялық денудацияны, жерүсті және жерасты ағындарын айқындайды. Ең жоғары тұрақтылық жазық, жайпақ және шамлы белесті жазықтарға, ал ең төменгі тұрақтылық – тік еңісті, қатты тілімденген беткейлерге тән (Antyufeeva, 2004). Беткейдің еңістігі мен ұзындығы артқан сайын су ағынының бұзушы энергиясы күшейіп, топырақ шайылуы артады және эрозиялық үдерістер қарқынды дамиды.

Беткейдің еңістігі геожүйенің тұрақтылығына маңызды әсер етеді, себебі оның артуымен жерүсті ағыны күшейіп, қатты бөлшектердің механикалық шайылу қаупі артады, соның нәтижесінде топырақ эрозиясы дамиды. Сонымен қатар, беткей еңістігі топырақтағы қарашірік қабатының қалыптасу қарқынына да әсерін тигізеді.

Геожүйелердің антропогендік жүктемелерге тұрақтылығын бағалауда маңызды факторлардың бірі – олардың геохимиялық жағдайы

болып табылады, ол заттардың миграциялық ағындарының сипаты мен қарқындылығын айқындайды.

Бұл көрсеткішті бағалау барысында Glazovskaya (1983) ландшафт типтерінің жіктесі негізге алынды. Геохимиялық автономды ландшафттар транзиттік (бағынышты) ландшафттарға қарағанда жоғары тұрақтылыққа ие. Ал ең төменгі тұрақтылық барлық сырттан келетін заттардың жиналу аймақтарында орналасқан аккумулятивті ландшафттарға тән.

Геожүйе компоненттері ішінде түйінді орынды топырақ жамылғысы алады. Ландшафттардың антропогендік әсерлерге тұрақтылығын бағалау кезінде біз келесі топырақ-геохимиялық көрсеткіштерді ескердік: топырақтың механикалық құрамы, гумустық горизонттың қалыңдығы, топырақтың қышқылдық және тұздылық дәрежесі және гумус мөлшері.

Топырақтың кеуектілігі, ауа және су өткізгіштігі, гидроскоптылығы, сіңіру қабілеті мен температуралық режимі оның механикалық құрамына тікелей байланысты. Саздауыт пен ауыр саздауыт құмды және құмдақ топырақтарға қарағанда жақсы сипаттамаларға ие.

Гумус горизонтының қалыңдығы топырақтың әртүрлі физикалық және механикалық әсерлерге, сондай-ақ эрозия мен дефляция процесстеріне төзімділігін анықтайды. Гумуста көптеген химиялық элементтер жиналады; сондықтан топырақта гумус неғұрлым көп болса, оның микроэлементтерінің мөлшері соғұрлым жоғары болады. Гумустың мөлшері де топырақтың сіңіру қабілетін айтарлықтай анықтайды. Гумустың мөлшері жоғары топырақтар сыртқы әсерлерге айтарлықтай қарсы тұра алады.

Қышқылдылығының дәрежесіне байланысты топырақтар ластаушы заттарға әртүрлі әсер етеді.

Су тәртібінің түрі заттардың геожүйе шегінен шығарылу қарқындылығын, олардың же-

рүсті және жерасты ағындарымен, сондай-ақ ауа ағындары арқылы таралу дәрежесін айқындап, бұл өз кезегінде топырақтардың геохимиялық тұрақтылығын барынша сипаттайды. Шайылатын түрлер техногенез өнімдерінің шығарылуына әсер етеді, ал жалқаяқ және десуктивті-жалқаяқ жағдайларда ластаушы заттар топырақ кескінінде жинақталады.

Геожүйелердегі топырақтың ылғалдылығы олардың геохимиялық тұрақтылығын сипаттайды, бұл көбінесе химиялық миграцияның қарқындылығын анықтайды және жер бедеріндегі орналасуы мен ылғалдылық жағдайларына байланысты.

Өсімдік жамылғысы топырақты эрозиядан қорғайды, гидрофизикалық қасиеттерін жақсартады және ылғалды сақтайды. Өсімдіктердің жікқабаттылығы мен проективтік жамылғысы неғұрлым көп болса, ландшафттар сыртқы әсерлерге соғұрлым төзімді келеді.

Талданған көрсеткіштердің бағалауларын қорытындылау арқылы геожүйелердің антропогендік әсерлерге төзімділігінің кешенді бағасы алынды. Табиғи кешендердің тұрақтылығының интегралдық көрсеткіші келесі формула (1) бойынша анықталды:

$$C = \frac{100 \sum_{g=0}^n C_g}{Q} \quad (1)$$

мұнда C – ландшафтың тұрақтылығы, %; C_g – әрбір көрсеткіш бойынша аумаққа берілген балл саны; Q – мүмкін болатын ең жоғары баллдар жиынтығы; g – көрсеткіштің реттік нөмірі; n – көрсеткіштер саны.

Нәтижесінде геожүйелердің келесі топтары ажыратылды, мұнда градация жалпы баллдар жиынтығына (%) негізделді: салыстырмалы түрде тұрақты геожүйелер – 100–90, орташа тұрақты – 90–80, әлсіз тұрақты – 80–70, өте әлсіз тұрақты – 70-тен төмен.

1-кесте

Геожүйелердің тұрақтылығын балдық бағалау шкаласы

Көрсеткіш	Тұрақтылық баллдары				
	1 балл (тұрақсыз)	2 балл (өте әлсіз тұрақты)	3 балл (әлсіз тұрақты)	4 балл (орташа тұрақты)	5 балл (тұрақты)
Жер бедері. Еңіс бұрышы, градус	20-дан жоғары	5,1–20	3,1–5	1,1–3	0–1
Геохимиялық жағдайы	аккумулятивті	–	транзитті	–	элювиалды
Топырақтың механикалық құрамы	құм	құмдақ	жеңіл саздақ	орташа саздақ	ауыр саздақ
А қабатындағы гумус мөлшері, %	2-ден төмен	2,0–4,0	4,1–6,0	6,1–9,0	9,0-ден жоғары

Көрсеткіш	Тұрақтылық баллдары				
	1 балл (тұрақсыз)	2 балл (өте әлсіз тұрақты)	3 балл (әлсіз тұрақты)	4 балл (орташа тұрақты)	5 балл (тұрақты)
Топырақ ерітіндісінің pH	≤4,5 немесе ≥8,5	4,5–5,0 немесе 7,5–8,5	5,0–5,5 немесе 7,0–7,5	6–6,5 немесе 7,5–8,0	6,5–7,5
Гумустық горизонттың қалыңдығы	3-тен аз	3–9	10–25	26–50	50-ден жоғары
Топырақтың тұздану дәрежесі, %	өте күшті және күшті (0,6)	орташа (0,3– 0,6)	әлсіз (0,2–0,3)	өте әлсіз (0,15– 0,2)	тұзданбаған (<0,15)
Судың минералдану дәрежесі	3 және жоғары	1,5–2,5	1,0–1,5	0,5–1,0	0,5-тен төмен
Су режимінің типі	десуктивті- выпоттық	выпоттық	шайылмайтын	кезендік шайылатын	шайылатын
Өсімдіктердің проективті жабыны, %	20-дан төмен	20–40	41–60	61–80	80-нен жоғары
Өнімділік, ц/га	0,5–2	2–2,5	2,5–3,5	3,5–5,5	≥5,5
Симпсон бойынша түрлік өртүрлілік индексі	=0 немесе ≥0,1	≤0,1 немесе ≥0,35	≤0,35 немесе ≥0,55	≤0,55 немесе ≥0,85	≤0,85 немесе ≥1
Құрлық экожүйелерінің гамма- өртүрлілігі	өте төмен	салыстырмалы төмен	орташа	ортадан жоғары	жоғары
%-ға қайта есептеу	20%-дан төмен	20–40%	40–60%	60–80%	80%-дан жоғары

Ескерту: авторлармен құрастырған.

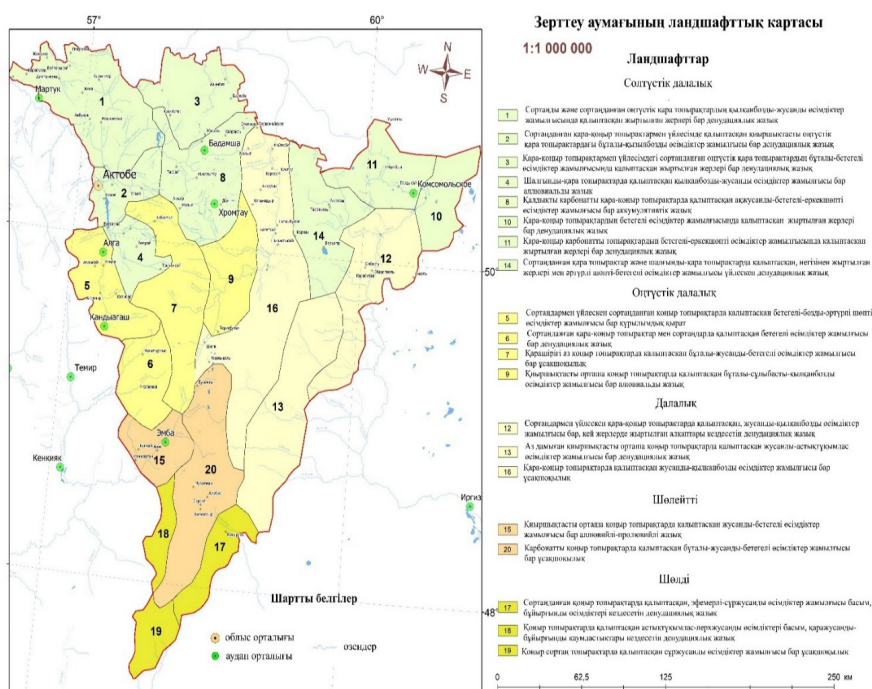
Нәтижелер және талқылау

Алынған деректерді талдау және жалпылау негізінде зерттелетін аумақтың ландшафттық

картасы (2-сурет) және Оңтүстік Оралдың Қазақстандық бөлігінің геожүйелерінің антропогендік әсерге ландшафттық-экологиялық тұрақтылығының картасы (3-сурет) құрастырылды.

2-сурет

Оңтүстік Орал тауларының қазақстандық бөлігіндегі ландшафттық картасы

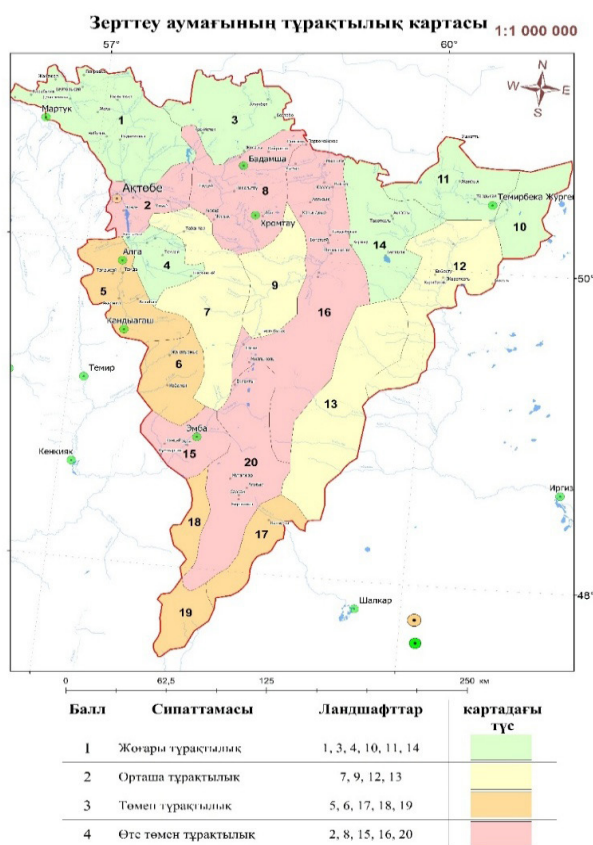


Ескерту: авторлармен құрастырған.

Зертелген территорияда жоғары табиғи тұрақтылыққа ие ландшафттарға №1, 3, 4, 10, 11 және 14 жатады. Аталған нөмірлеудегі ландшафттар иелері негізінен элювиалдық және транзиттік геохимиялық жайғасымдарда орналасып, қолайлы морфометриялық жағдайлары бар денудациялық және аккумулятивтік жазықтармен сипатталады. Топырақ жамылғысы балмасу қабілеті жоғары, қарашірікке бай оңтүстік және карбонатты кара топырақтардан құралған. Өсімдік жамылғысы жоғары проекциялық жабындылыққа ие, құрамында алуантүрлі шөпті және бетеге-бозды далалармен ұсынылған, бұл геожүйелердің биологиялық тұрақтылығын қамтамасыз етеді. Аталған ықпалдардың жиынтығы геожүйелердің өзін-өзі реттеу және қалпына келу қабілетінің жоғары екенін көрсетеді.

3-сурет

Оңтүстік Орал ландшафттарының тұрақтылық картасы



Ескерту: авторлармен құрастырған.

Орташа табиғи тұрақтылық №7, 9, 12, 13 және 16 ландшафттарына тән. Олар суайрықтар мен төмендеген аккумулятивтік территориялар арасындағы өтпелі аймақтарда орналасып, де-

нудациялық және аллювиалдық жазықтармен сипатталады. Топырақ жамылғысы негізінен кара-қоңыр және орташа қоңыр, кей жерлерде сортаңданған топырақтар құрамын қамтиды, бұның өзі олардың алмасу қабілеттерің азайтады. Өсімдік жамылғысынан ішінара түрлендірілген бетеге-қылқанбозды және бұталы-дала қауымдастықтары басым. Бұл геожүйелер қайта қалпына келу қабілетін сақтағанымен, техногендік ықпал күшейген жағдайда деградациялық процестердің даму қауіп-қатері жоғарылайды.

Алынған нәтижелердің қорытындысы бойынша төмен табиғи тұрақтылықты №5, 6, 17, 18 және 19 ландшафттары қамтиды. Олар ұсақшоқылы бедерге, құрылымдық үстірттерге және жартылай шөлді жазықтарға тән, сонымен қатар қолайсыз морфометриялық әрі топырақ-геохимиялық жағдайларымен ерекшеленеді. Топырақтары жұқа қабатты, қиыршықтасты және сортаңдау, өсімдік жамылғысы сирек, негізінен жусанды-қылқанбозды және галофитті қауымдастықтармен ұсынылған. Осының барысында қайта қалпына келу үдерістері баяу жүріп, геожүйелердің техногендік әсерге осалдылығы арта түседі.

№2, 8, 15 және 20 ландшафттары өте төмен табиғи тұрақтылыққа ие ерекше топты біріктіріп отыр. Олар қарқынды тау-кен игеру және өнеркәсіптік қызмет аймақтарына сәйкес келіп отыр және антропогендік өзгеріске ұшыраған ландшафттармен айқындалады. Бұл аумақтарда топырақ жамылғысы техноземдер мен урбаноземдерден құралып, өсімдік жамылғысы бұзылған немесе екіншілік сипатқа ие. Бұл таңда табиғи тұрақтылық іс жүзінде жойылып, салыстырмалы тұрақтылық тек инженерлік және шаруашылық іс-шаралар жүзінен ғана қамтамасыздандырылады.

Қорытынды

Жасалынған картограммалу және геоэкологиялық талдау нәтижесі барысында Оңтүстік Орал таулы жүйесінің Қазақстан бөлігіндегі геожүйелерінің техногенез жағдайындағы ландшафттық-экологиялық тұрақтылығының пайда болу және кеңістіктік саралау заңнамалары белгіленді.

Біріншіден, зерттелетін аумақ табиғи осалдық пен ұзақ мерзімді антропогендік әсердің үйлесімімен сипатталатыны дәлелденді, бұл геожүйелік трансформацияның ерекше үлгісін жасайды. Континентальды климат, күрделі геологиялық және геоморфологиялық құрылым,

топырақ пен өсімдік жамылғысының алуандылығы, пайдалы қазбаларды ұзақ мерзімді игеру – табиғи жүйелердің өзін-өзі реттеу және өзін-өзі қалпына келтіру қабілетілігін төмендеуіне әкелді.

Геохимиялық, биологиялық және морфометриялық көрсеткіштерге негізделген тұрақтылықты кешенді бағалау геожүйелердің төзімділігінде айтарлықтай кеңістіктік әртектілікті анықтауға мүмкіншілік етті. Төзімді геожүйелер қолайлы топырақ жамылғысы мен гидрографиялық жағдайлары, қарашірік мөлшері жоғары және биологиялық алмасуды қамтамасыз ететін өсімдік жамылғысы айтарлықтай дамыған аймақтармен шектелетіні анықталды. Сонымен қатар, аймақтағы антропогендік трансформацияның фондық дәрежесін көрсететін, аумақтың айтарлықтай бөлігі орташа және әлсіз тұрақты ландшафттар деп жіктеледі.

Зерттеудің негізгі нәтижесі – антропогендік жүктеме дәрежесі мен ландшафт пен экологиялық тұрақтылықтың төмендеуі арасындағы тұрақты байланысты анықтау. Қатты деградацияға ұшыраған геожүйелер кеңістіктік тұрғыдан қарқынды тау-кен және өнеркәсіптік даму аймақтарымен сәйкес келеді, онда топырақ құрылымының бұзылуымен, өсімдіктердің деградациясымен және ластанудың жоғары деңгейімен сипатталатын, антропогендік трансформацияланған кешендер (техноземдар, урбоземдар) пайда болады. Мұндай жағдайларда табиғи тұрақтылық іс жүзінде жоғалады, ал геожүйелердің жұмыс істеуі негізінен антропогендік (техногендік) факторлармен анықталады.

Ластаушы заттар жинақталып, эрозия үрдістері күшейетін аккумулятивті және беткейлік бедер элементтеріне ыңғайластырылған геожүйелер ерекше осал екені анықталды. Бұл тұрақтылықты бағалау және қоршаған ортаны басқаруды жоспарлау кезінде морфометриялық жағдайларды ескеру қажеттілігін көрсетеді.

Дайындалған ландшафттық-экологиялық тұрақтылық картасы алынған нәтижелердің кеңістіктік түсіндіру құралы болып табылады және салыстырмалы түрде тұрақтыдан бастап қатты зақымдалғанға дейінгі әртүрлі экологиялық күйдегі аймақтарды анықтауға мүмкіндік береді. Бұл картограммалық үлгі аумақты экологиялық аймақтарға бөлу және басқарушылық шешімдер қабылдау үшін негіз бола алады.

Зерттеудің маңыздылығы аймақ бойынша геожүйелердің тұрақтылығын бағалау үшін далалық, геоақпараттық және аналитикалық әдіс-

намаларды кешенді интеграциясында жатыр, бұл табиғи және антропогендік факторлардың бірлескен әсерін ескере отырып, тұрақтылықтың кеңістіктік заңдылықтарын бірінші болып анықтауға мүмкіндік берді.

Берілген зерттеудің практикалық мәнділігі алынған нәтижелердің қорытындысын қоршаған ортаны басқарудың сараланған стратегияларын әзірлеу үшін пайдалану мүмкіндігінде жатыр. Атап айтқанда, тұрақтылығы төмен және өте төмен аумақтар қалпына келтіру шараларын, экономикалық қызметтерге шектеулерді енгізуді және қоршаған ортаны қайта жаңғырту технологияларын енгізуді талап етеді. Екінші жағынан, тұрақты геожүйелерді экологиялық стандарттары сақталған жағдайда реттелетін қоршаған ортаны басқару аймақтары ретінде қарастыруға болады.

Жалпы алғанда, зерттеу нәтижелері техногенез жағдайында ландшафттардың тұрақтылығы аумақтың экологиялық жағдайының негізгі индикаторы болып табылатынын және қарқынды өнеркәсіптік жүктемесі бар өңірлердің тұрақты дамуын жоспарлау кезінде базалық критерий ретінде қарастырылуы тиіс екенін дәлелдейді.

Мүдделер қақтығысы: Мүдделер қақтығысы жоқ деп мәлімдейміз.

Алғыс сөз: алғыс айтылмайды.

Қаржыландыру көзі: Бұл зерттеу Қазақстан Республикасы Ғылым және жоғары білім министрлігі Ғылым комитетінің гранты есебінен қаржыландырылатын «Жас Ғылым» ғылыми жоба аясында жүзеге асырылды (AP25795613).

Авторлардың үлесі

Концептуализация – А. Бекетова; деректерге жетекшілік ету – А. Бекетова. Ж. Берденов; формалды талдау – А. Бекетова, Ж. Берденов; қаржыландыру – А. Бекетова; зерттеу – А. Бекетова; әдістемесі – А. Бекетова; жобаны басқару – А. Бекетова; ресурстар – А. Бекетова., Ж. Берденов; бағдарламалық қамтамасыз ету – Ж. Берденов; ғылыми жетекшілік – А. Бекетова; валидация – Ж. Берденов; визуализация – Ж. Берденов; жазу-түпнұсқа жобасын дайындау – Ж. Берденов; жазу-шолу және өңдеу – Ж. Берденов. Барлық авторлар қолжазбаның жарияланған нұсқасымен танысып, келісті.

References

- Antyufeeva T.V. (2004). Antropogennaya transformatsiya prirodnkh kompleksov v gornorudnykh rayonakh [Anthropogenic transformation of natural complexes in mining regions]: Extended abstract of PhD dissertation. 25.00.23. Barnaul. 20 p.
- Beketova, A. T., Makhanova, N. B., Abildinov, K. K., Yesenova, Z. K., Berdenov, Z. G., & Ilies, A. (2020). Analiz dannykh distantsionnogo zondirovaniya Zemli pri izuchenii i kartografirovanii prirodnoy sredy [Analysis of remote sensing data in studying and mapping the natural environment]. *Vestnik Evraziyskogo natsional'nogo universiteta imeni L. N. Gumilyeva*, 2(131), 68–77. <http://rep.enu.kz/handle/enu/5207>
- Beketova, A., Berdenov, Z., Kabiyeu, Y., Satybaldieva, A., Atasoy, E., & Kholov, Y. (2025). Cultural heritage preservation in resource-rich territories: Challenges and sustainable development pathways. *GeoJournal of Tourism and Geosites*, 63(4spl), 2811–2819. <https://doi.org/10.30892/gtg.634spl25-1640>
- Beketova, A., Mendybaev, E., Gataulina, G. (2025). Ontustik Oral zhotalarynyn osimdik kauymdastyktaryna tekhnogendik ykpaldy bagalau [Assessment of technogenic impact on plant communities of the Southern Ural ridges]. *Vestnik ENU im. L.N. Gumileva. Chemistry. Geography. Ecology series*. 152(3):175–190.
- Berdenov, Z. G. (2019). *Sovremennoe sostoyanie i geoeologicheskii analiz geosistem basseyna reki Ilek* [Current state and geoeological analysis of geosystems of the Ilek River basin]. Monograph. Almaty: Epigraf. 172 p.
- Berdenov, Z. G. (2025). *Transformatsiya ekosistem: Tekhnogennye izmeneniya i ustoychivoe razvitie stepey Aktyubinskoy oblasti* [Transformation of ecosystems: Technogenic changes and sustainable development of the steppes of Aktobe region]. Astana. Monograph. Astana. 239 p.
- Berdenov, Z. G., Atasoy, E., Mendybaev, E. H., Ataeva, G., & Wendt, J. A. (2016). Geosystems geoeological assessment of the basin of rivers for tourist valorization: Case study of Ilek river basin. *GeoJournal of Tourism and Geosites*, 18(2), 187–195.
- Berdenov, Z. G., Yeginbayeva, A., Zinabdin, N., Beketova, A., Mendybaeva, G., Assylbekova, A., & Önal, H. (2024). Recreational and functional zoning of territories with technogenic impact for the purpose of sustainable development of the region. *GeoJournal of Tourism and Geosites*, 55(3), 1354–1363. <https://doi.org/10.30892/gtg.55336-1308>
- Berdenov, Z., Mendibayev, E. H., Ataeva, G., & Atasoy, E. (2016). Geosystems geoeological assessment of the basin of rivers for tourist valorization: Case study of Ilek river basin. *GeoJournal of Tourism and Geosites*, 18(2), 187–195.
- Berdenov, Z., Mendibayev, E., Salikhov, T., Akhmedenov, K., & Ataeva, G. (2017). Geoeological analysis of industrial cities: On the example of Aktobe agglomeration. *Chemistry*, 26(6), 890–902.
- Berdenov, Z., Mendybaev, E. H., Ataeva, G. M., & Dzhanaaleeva, G. M. (2015). Landscape and geochemical features of man-made pollution zones of Aktobe agglomerations. *Oxidation Communications*, 38(2), 852–859.
- Berdenov, Z., Mendybaev, E., Beketova, A., Satkarova, N., & Gozner, M. (2021). Assessment of the Southern Urals recreational potential for the development of the Aktobe tourism industry. *GeoJournal of Tourism and Geosites*, 38(4), 1274–1279. <https://doi.org/10.30892/gtg.38435-769>
- Berdenov, Z., Mendybaeva, G., Beketova, A., Sadvakassova, S., Laikhanov, S., Kara, T., & Kholov, Y. (2025). Technogenesis as a driver in the development of recreational areas for sustainable development and biodiversity conservation. *GeoJournal of Tourism and Geosites*, 61(3), 1454–1461. <https://doi.org/10.30892/gtg.61305-1515>
- Chibilev, A. A. (2011). *Ural – granitsa Evropy i Azii: Materialy ekspeditsii Russkogo geograficheskogo obshchestva 2010 goda* [The Urals – boundary of Europe and Asia: Materials of the Russian Geographical Society expedition of 2010]. Moscow. 166 p.
- D'Ambrosio, V., Di Martino, F., & Rigillo, M. (2022). GIS-based model for constructing ecological efficiency maps of urban green areas: The case study of Western Naples, Italy. *Sustainability*, 14(11), 6830. <https://doi.org/10.3390/su14116830>
- Dzhanaaleeva, K. M. (2010). *Fizicheskaya geografiya Respubliki Kazakhstan* [Physical geography of the Republic of Kazakhstan]. Textbook. Astana. 592 p.
- EcoProject LLP. (2019). *Prirodnye usloviya Aktyubinskoy oblasti* [Natural conditions of Aktobe region]. Almaty. 205 p.
- Ellis, E. C. (2015). Ecology in an anthropogenic biosphere. *Ecological Monographs*, 85(3), 287–331. <https://doi.org/10.1890/14-2274.1>
- Foley, J. A., DeFries, R., Asner, G. P., Barford, C., Bonan, G., Carpenter, S. R., Chapin, F. S., Coe, M. T., Daily, G. C., Gibbs, H. K., Helkowski, J. H., Holloway, T., Howard, E. A., Kucharik, C. J., Monfreda, C., Patz, J. A., Prentice, I. C., Ramankutty, N., & Snyder, P. K. (2005). Global consequences of land use. *Science*, 309(5734), 570–574. <https://doi.org/10.1126/science.1111772>
- Forman, R. T. T., & Godron, M. (1986). *Landscape ecology*. New York, NY: Wiley.
- Glazovskaya, M. A. (1976). Landshaftno-geokhimicheskie sistemy i ikh ustoychivost' k tekhnogenezu [Landscape-geochemical systems and their resistance to technogenesis]. In: *Biogeokhimicheskie tsikli v biosfere* (pp. 99–118). Moscow: Nauka.
- Glazovskaya, M.A. Printsipy (1983). Klassifikatsii prirodnkh geosistem po ustoychivosti k tekhnogenezu i prognoznnoe landshaftno-geokhimicheskoe rayonirovanie [Principles of classification of natural geosystems by resistance to technogenesis and predictive landscape-geochemical zoning]. In: *Ustoychivost geosistem: collected papers*. Moscow: Nauka. 61–78.
- Kabiyeu, Y. S., Berdenov, Z. G., Dzhanaaleeva, K. M., Atasoy, E., & Wendt, J. A. (2018). Landscape ecological analysis of the Ural delta. *GeoJournal of Tourism and Geosites*, 23(3), 644–655. <https://doi.org/10.30892/gtg.23302-316>
- Kochurov, B. I. (2003). *Ecodiagnostic and balanced development*. Smolensk: Magenta.
- Koshim, A. G., Sergeeva, A., Umirzakova, Z., & Baidrakhmanova, G. (2015). Geoeologicheskoe sostoyanie mestorozhdeniya Khromtau i ego kartografirovaniye po raznovremennym kosmosnimkam Landsat [Geoeological state of the Khromtau deposit and its mapping using multi-temporal Landsat images]. *KazNU Bulletin. Geography Series*, 2(41), 310–315.
- Kovalchuk, M. V., & Naraykin, O. S. (2016). Prirodopodobnye tekhnologii – novye vozmozhnosti i novye ugrozy. *Indeks bezopasnosti*, 22(3–4), 103–104.

- Li, J., Pei, Y., Zhao, S., Xiao, R., Sang, X., & Zhang, C. (2020). A review of remote sensing for environmental monitoring in China. *Remote Sensing*, 12(7), 1130. <https://doi.org/10.3390/rs12071130>
- Mikhno, V. B., Bevez, V. N., Gorbunov, A. S., & Bykovskaya, O. P. (2014). Landscape-ecological analysis of municipal districts territory. *VSU Reporter, Series: Geography. Geoecologiya*, 3, 40–48, 245–260.
- Orlova, I. V. (2006). Landshaftnoe planirovanie dlya tseley sbalansirovannogo sel'skokhozyaystvennogo prirodopol'zovaniya [Landscape planning for sustainable agricultural land use]. *Geografiya i prirodnye resursy*, 2, 124–131.
- Sacred geography of Aktobe region: Register of objects of nature, archaeology, architecture, and ethnography*. (2021). Алматы: A. Kh. Margulan Archaeology Institute.
- Turner, M. G., Gardner, R. H., & O'Neill, R. V. (2001). *Landscape ecology in theory and practice*. New York, NY: Springer.
- Wu, J. (2013). Landscape sustainability science: Ecosystem services and human well-being in changing landscapes. *Landscape Ecology*, 28(6), 999–1023. <https://doi.org/10.1007/s10980-013-9894-9>

Авторлар туралы мәлімет:

Бекетова Айдана – зерттеуші, PhD-студент, Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті (Қажымұқан көш., 13, Астана, Қазақстан, 010000; e-mail: taterovaaidana@mail.ru).

Берденов Жарас – PhD, қауымдыстырылған профессор, Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті (Қажымұқан көш., 13, Астана, Қазақстан, 010000; e-mail: berdenov_zhg_1@enu.kz).

Information about the authors:

Beketova Aidana – researcher, PhD-doctoral student, L.N. Gumilyov Eurasian National University (13 Kazhymukan str., Astana, Kazakhstan, 010000; e-mail: taterovaaidana@mail.ru).

Berdenov Zharas – PhD, Associate Professor, L.N. Gumilyov Eurasian National University (13 Kazhymukan St., Astana, Kazakhstan, 010000; e-mail: berdenov_zhg_1@enu.kz).

Сведения об авторах:

Бекетова Айдана – исследователь, PhD-докторант, Евразийский национальный университет имени Л.Н. Гумилёва (ул. Кажымукана, 13, Астана, Казахстан, 010000; e-mail: taterovaaidana@mail.ru).

Берденов Жарас – PhD, ассоциированный профессор, Евразийский национальный университет имени Л.Н. Гумилёва (ул. Кажымукана, 13, Астана, Казахстан, 010000; e-mail: berdenov_zhg_1@enu.kz).

Келіп түсті: 23 қаңтар 2026 жыл
Қабылданды: 14 маусым 2026 жыл

4-бөлім
**МЕТЕОРОЛОГИЯ
ЖӘНЕ ГИДРОЛОГИЯ**

Section 4
**METEOROLOGY
AND HYDROLOGY**

Раздел 4
**МЕТЕОРОЛОГИЯ
И ГИДРОЛОГИЯ**

A.R. Zhumalipov¹ , Y. Nuruly^{1,2*} ,
A.Z. Shyryntay^{1,2} , A.M. Serikbol^{1,2} 

¹Al-Farabi Kazakh National University, Almaty, Kazakhstan

²PolyU-KazNU Centre for Sustainable Development in Central Asia, Almaty, Kazakhstan

*e-mail: yeldar.nuruly@kaznu.edu.kz

CURRENT STATE AND ASSESSMENT OF HYDROCHEMICAL AND TOXICOLOGICAL PARAMETERS OF LAKES IMANTAU AND SHALKAR

The aim of this study was to determine the current hydrochemical and toxicological status of two contrasting lakes in the Ayyrtau district of Northern Kazakhstan, Lake Imantau and Lake Shalkar, and to identify potential risks associated with pollution by biogenic substances and heavy metals. Field work, including water sampling and morphometric measurements, was carried out in October 2024; samples were taken in the central part of the water areas at a depth of 0.5 m. pH, temperature and dissolved oxygen were measured with a portable HQ40D device (HACH-LANGE), major ions titrimetrically, biogenic compounds with a DR 3900 spectrophotometer, and heavy metals (Cu, Zn, Pb, Cd, Co, Ni) by atomic absorption spectrometry (AA-7000, Shimadzu), with analytical accuracy verified through the ionic balance. Lake Imantau is characterised by a slightly alkaline reaction, moderate mineralisation (1231 mg/L) and phosphate concentrations exceeding the regulatory standard, whereas Lake Shalkar shows high alkalinity (pH 9.1), considerable mineralisation (17,076 mg/L) and water hardness. Heavy-metal concentrations in both water bodies do not exceed the maximum permissible values; by oxygen regime and biogenic-substance content, both lakes are classified as mesotrophic, while Lake Imantau shows initial signs of a trophic transition. The direct comparison of two hydrochemically contrasting lakes within a single district links differences in water quality to the water-balance features of their basins rather than to recreational load. The results address the data gap on the region's water bodies and provide a basis for further monitoring.

Keywords: water quality, heavy metals, nutrients, mineralisation, contrasting lakes.

А.Р. Жумалипов¹, Е. Нұрұлы^{1,2*},
Ә.Ж. Шырынтай^{1,2}, А.М. Серікбол^{1,2}

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

²PolyU-ҚазҰУ Орталық Азиядағы тұрақты даму орталығы, Алматы, Қазақстан

*e-mail: yeldar.nuruly@kaznu.edu.kz

Имантау және Шалқар көлдерінің гидрохимиялық және токсикологиялық параметрлерінің қазіргі жағдайы мен бағалануы

Зерттеудің мақсаты – Солтүстік Қазақстанның Айыртау ауданында орналасқан екі контрастты көлдердің, Имантау мен Шалқардың, қазіргі гидрохимиялық және токсикологиялық жағдайын анықтау және биогенді заттар мен ауыр металдармен ластануға байланысты ықтимал қауіптерді айқындау. Далалық жұмыстар, соның ішінде су сынамаларын іріктеу мен морфометриялық өлшемдер, 2024 жылдың қазан айында жүргізілді; сынамалар акваторияның орталық бөлігінен 0,5 м тереңдіктен алынды. рН, температура және еріген оттегі көрсеткіштері портативті HQ40D (HACH-LANGE) аспабымен өлшенді, негізгі иондар титриметриялық әдіспен, биогенді қосылыстар – DR 3900 спектрофотометрімен, ал ауыр металдар (Cu, Zn, Pb, Cd, Co, Ni) – атомдық-абсорбциялық спектрометрия әдісімен (AA-7000, Shimadzu) анықталды; талдаудың дұрыстығы иондар балансы бойынша бақыланды. Имантау көлі әлсіз сілтілі реакциясымен, орташа минералдануымен (1231 мг/л) және фосфаттар бойынша нормативтің асып кетуімен сипатталатыны, ал Шалқар көлі айқын сілтілі реакциямен (рН 9,1), минералданудың едәуір жоғары деңгейімен (17076 мг/л) және судың қаттылығымен ерекшеленетіні анықталды. Екі су айдынында да ауыр металдардың концентрациясы шекті рұқсат етілген шамалардан аспайды; оттегі режимі мен биогенді заттардың мөлшері бойынша екі көл де мезотрофты типке жатқызылды, бұл ретте Имантауда трофикалық ауысудың бастапқы белгілері байқалды. Бір ауданда орналасқан, гидрохимиялық тұрғыдан ерекшеленетін екі көлді тікелей салыстыру су

реациялық жүктемемен емес, олардың бассейндерінің су балансы ерекшеліктерімен байланыстыруға мүмкіндік берді. Алынған нәтижелер өңір көлдері бойынша деректердің жетіспеушілігін толықтырып, болашақ мониторинг үшін негіз қалайды.

Түйін сөздер: су сапасы, ауыр металдар, биогенді заттар, минералдану, контрастты көлдер.

А.Р. Жумалипов¹, Е. Нурулы^{1,2*},
А.Ж. Шырынтай^{1, 2}, А.М. Серикбол^{1, 2}

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

²PolyU-КазНУ Центр устойчивого развития в Центральной Азии, Алматы, Казахстан

*e-mail: yeldar.nuruly@kaznu.edu.kz

Современное состояние и оценка гидрохимических и токсикологических параметров озер Имантау и Шалкар

Цель исследования – определить современное гидрохимическое и токсикологическое состояние двух контрастных озёр Айыртауского района Северного Казахстана, Имантау и Шалкар, и выявить потенциальные риски, связанные с загрязнением биогенными веществами и тяжёлыми металлами. Полевые работы, включая отбор проб воды и морфометрические измерения, проводились в октябре 2024 года; пробы отбирались в центральной части акваторий с глубины 0,5 м. Показатели pH, температуры и растворённого кислорода измерялись портативным прибором HQ40D (HACH-LANGE), основные ионы определялись титриметрически, биогенные соединения – на спектрофотометре DR 3900, а тяжёлые металлы (Cu, Zn, Pb, Cd, Co, Ni) – методом атомно-абсорбционной спектроскопии (AA-7000, Shimadzu); корректность анализа контролировалась по балансу ионов. Установлено, что озеро Имантау характеризуется слабощелочной реакцией, умеренной минерализацией (1231 мг/л) и превышением норматива по фосфатам, тогда как озеро Шалкар отличается высокой щёлочностью (pH 9,1), значительной минерализацией (17076 мг/л) и жёсткостью воды. Концентрации тяжёлых металлов в обоих водоёмах не превышают предельно допустимых значений; по кислородному режиму и содержанию биогенных веществ оба озера отнесены к мезотрофному типу, при этом в Имантау отмечены начальные признаки трофического перехода. Прямое сравнение двух гидрохимически различающихся озёр одного района позволило связать различия качества воды с особенностями водного баланса их бассейнов, а не с рекреационной нагрузкой. Полученные результаты восполняют дефицит данных по водоёмам региона и формируют основу для дальнейшего мониторинга.

Ключевые слова: качество воды, тяжёлые металлы, биогенные вещества, минерализация, контрастные озёра.

Introduction

Lakes are an important element of the internal water balance, ensuring the stability of ecosystems and water supply in various natural conditions. Within the framework of the limnological approach, they are considered as slowly renewing systems in which interrelated physical, chemical and biological processes take place (Bogoslavsky, 1960). Despite the significant contribution of classical studies (Forel, 1912; Berg, 1945; Welch, 1952) and others, small lakes remain insufficiently covered by systematic monitoring in modern conditions. The relevance of studying such water bodies is increasing in the northern steppe regions of Kazakhstan, where freshwater lakes are particularly vulnerable due to a combination of continental climate, seasonal stratification and characteristic ionic composition (Na^+ , SO_4^{2-}). At the same time, about 123,000 km³ of the world's freshwater reserves are concentrated in lake ecosystems, which highlights their importance

as natural reservoirs and priority conservation sites (Bogoslavsky & Voskresensky, 1974).

In this context, special attention should be paid to Lake Imantau and Lake Shalkar, located in the Ayyrtau district of Northern Kazakhstan within a rapidly developing resort area. These water bodies are of high environmental and socio-economic importance, but their current hydrochemical and toxicological status remains poorly studied. Given their regional role and growing anthropogenic pressure, the need for a scientific analysis of the aquatic environment is becoming particularly urgent. Assessing the carrying capacity of such nature-based destinations is a recognised tool for balancing tourism development with ecosystem conservation (Aktymbayeva et al., 2023). This study provides an instrumentally based hydrochemical and toxicological comparison of two lakes of contrasting mineralisation within a single landscape-climatic zone of the Ayyrtau district: the fresh, $\text{HCO}_3\text{-Na}$ Lake Imantau and the hypermineralised, Cl-Na Lake Shalkar.

Freshwater ecosystems under conditions of limited hydrological dynamics serve as indicators of climatic and anthropogenic change. For Lake Imantau, the literature offers only fragmentary data on seasonal fluctuations in pH, ion composition, and signs of local pollution (Zhumay et al., 2021), whereas for Lake Shalkar no systematic hydrochemical or toxicological studies are available in the accessible sources. Neighbouring water bodies of the same landscape-climatic zone have been studied more fully, and their results define the expected background. For Lake Burabay, instrumental monitoring over 2018-2022 recorded a rise in mineralisation from 160 to 321 mg/L, accompanied by a measured contraction in the lake's area and depth that the authors link to evaporation exceeding precipitation (Shulembayeva et al., 2023); the reduction in lake surface area within the Shchuchinsk-Burabay resort zone under recreational pressure has been independently recorded by remote sensing (Ramazanova et al., 2019). For the Esil River basin, to which both studied lakes belong, a semi-arid regime has been established (precipitation 250-450 mm/year) along with heightened vulnerability of surface waters to climatic change, the surveyed lakes including the neighbouring resort-zone water body Burabay (Bahetnur & Lee, 2023). The granulometric and chemical composition of bottom sediments in the water bodies of the North Kazakhstan region has been characterised separately (Yskak et al., 2025). Comprehensive studies of Lakes Imantau and Shalkar themselves, using instrumental methods, quantitative indices, and spatial analysis, are absent.

The international literature emphasises the need for an integrated assessment of water quality that accounts for the spatial and temporal variability of indicators such as pH, dissolved oxygen, electrical conductivity, mineralisation, and the content of biogenic compounds and heavy metals (Daniszewski, 2013; Sharma et al., 2016; Cieřliński & Major, 2012). Such assessment is increasingly supplemented by integrated indices that reduce heterogeneous data to a comparable form: trophic status is characterised by the Carlson index (TSI), whose component indicators frequently diverge and whose phosphorus index tends to overestimate the trophic state of lowland lakes (Karpowicz et al., 2025; Badamian et al., 2025); heavy-metal pollution is assessed by the HPI and HEI indices (Biedunkova & Kuznietsov, 2024), and the combined load by the Nemerow index (Su et al., 2022). The threshold values established by the WHO and USEPA set maximum permissible levels for key parameters: pH 6.5-8.5 (World Health

Organization, 2017), dissolved oxygen no less than 5 mg/L (U.S. Environmental Protection Agency, 1986), TDS up to 1000 mg/L (World Health Organization, 2003), and BOD₅ 3-5 mg/L (World Health Organization, 2017). Exceedances of these values may result from engineering modifications, wastewater discharge, agricultural diffuse runoff, and tourism activity (Krupa et al., 2016).

The methodology of modern research includes titrimetry (main ions), spectrophotometry (biogenic compounds) and atomic absorption spectroscopy (metals) (Shirokova et al., 2020). Spatial monitoring is supplemented by GIS technologies that allow monitoring the condition of hard-to-reach areas of water bodies (El-Zeiny & El-Kafrawy, 2017; Ramazanova et al., 2019), but for small water bodies, direct field measurements remain more accurate and representative (Ngamile et al., 2025).

Scientific literature pays particular attention to the accumulation of heavy metals (Pb, Cd, As, Ni, Zn) entering water bodies with precipitation, wastewater, and surface runoff. For a number of Kazakhstani water bodies, exceedances of MPCs for individual metals have been recorded, usually linked to specific geological or technogenic sources: copper in the Kolsai Lakes, where it reflects an elevated natural geochemical background rather than pollution (Krupa et al., 2016); lead and cadmium associated with ore-enrichment plant tailings on the shore of Lake Balkhash (Muratkhanov et al., 2024); and lead, cobalt and nickel in Lake Markakol, where concentrations reach up to 16.2, 69.2 and 49.0 µg/L respectively, well above the regional fishery thresholds, owing to the polymetallic deposits of the surrounding catchment (Ismukhanova et al., 2024). This gives grounds to expect that in water bodies without ore or industrial sources the metal load remains at background level. For the natural lakes of the North Kazakhstan region, however, such instrumental assessments are still absent, which constitutes a substantial gap given the growing agricultural and recreational pressure (Su et al., 2022).

Despite the wide variety of available methods of analysis, assessments of the aquatic environment at the level of small and moderately transformed lakes are still characterised by fragmentation and a lack of systematic approaches, especially with regard to natural water bodies in Northern Kazakhstan. At the same time, the influence of seasonal fluctuations, local sources of pollution and the specifics of ion composition remains insufficiently taken into account in the context of both the hydrochemical regime and the toxicological load. The study of Lake Imantau

and Lake Shalkar, which differ in morphology, mineralisation and anthropogenic impact, allows us to trace the characteristic patterns of water quality formation within a single landscape-climatic zone. The selection of a comprehensive set of indicators and reliance on instrumental methods of analysis ensure the representativeness of the data obtained and allow for the assessment of the trophic status of water bodies in a comparable format. The results obtained are considered as a basis for updating regional monitoring, developing standards and environmentally sound water use in conditions of growing recreational load.

Materials and methods

This study aims to assess the hydrochemical and toxicological status of two natural lakes, Imantau and Shalkar, located in the Ayyrtau district of North Kazakhstan region. The study was conducted within the framework of applied aquatic geography and ecology using instrumental methods of field sampling, laboratory analysis and normative interpretation in accordance with international and national standards.

The aim of the study was to identify differences in pollution levels and hydrochemical profiles between two lakes subject to varying degrees of natural and anthropogenic stress. The hypothesis was that Lake Shalkar, due to its morphometric characteristics and potential recreational pressure, would demonstrate higher levels of mineralisation and organic

pollution compared to Lake Imantau. To achieve this goal, the following tasks were formulated:

(1) to carry out field measurements and laboratory analysis of water samples to determine key physico-chemical indicators, ion composition, and the content of biogenic substances and heavy metals;

(2) to conduct a comparative assessment of the data obtained with current standards (MPC) and historical sources to determine the degree of deviation from environmental standards;

(3) determine the typological characteristics of lake waters (hardness, mineralisation, ion composition) and identify inter-lake differences in the context of their natural conditions and anthropogenic load.

The study was carried out in three stages: preparatory (sampling, logging), field (sampling and rapid measurements) and analytical-interpretative (laboratory processing, analysis and comparison of results).

Study Area. The study covered two natural water bodies – Lake Imantau and Lake Shalkar, located in the Ayyrtau district of the North Kazakhstan region. Lake Imantau is a large lake system with an elongated shape along the north-west – south-east axis. It is 13.3 km long, with a maximum width of 4.8 km, a maximum depth of 10.0 m, an average depth of 5.7 m, a coastline length of 35.5 km, and a water level of 323.6 m above sea level. The volume of water at a stable long-term level is estimated at 279 million m³. The coastline stretches for 35.5 km (Figure 1).

Figure 1
Lake Imantau



Note: compiled by the authors

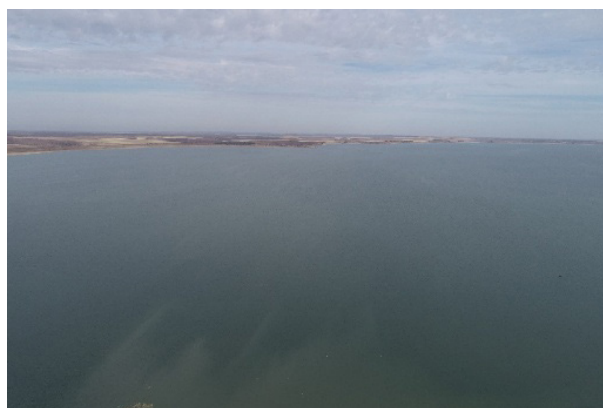
The Lower Burluk River (Kishi Borlyk) flows out of the western part of the lake. A dam has been built at its source, which means that water only leaves the lake in particularly wet years when the level rises above the crest. The southern and eastern parts of the lake are fed by the Zhylandy stream, the Kenesary river, and seven temporary watercourses (logs) that carry water only during the spring snowmelt.

The surface of the lake is mostly open. The south-western shore is rocky and covered with forest (predominantly coniferous), while other areas are characterised by gentle steppe slopes. (Committee for Forestry and Wildlife of the Ministry of Ecology and Natural Resources of the Republic of Kazakhstan, 2023). The fish fauna includes typical

eurybionts: perch, pike, chebak, bream, peled, etc.; the presence of crayfish is an indicator of a moderately favourable ecological situation. In terms of its composition, the water is of the hydrocarbonate-sodium type. Lake water is actively used for the water supply needs of the population.

Lake Shalkar is located at an absolute elevation of 309.5 metres above sea level. Its catchment area covers 209 square kilometres, mainly consisting of gently rolling hills with average heights of 30–50 metres. The lake stretches from west to east: its length reaches 12 km, and its width reaches 3.3 km. The water surface covers an area of 35.4 km², with a maximum depth of 15 metres. The average volume of water over many years is estimated at 277 million m³. The length of the coastline is 39.6 km (Figure 2).

Figure 2
Lake Shalkar



Note: compiled by the authors

The surface of the lake is free of aquatic vegetation. The bottom is mostly flat, sandy and rocky, with a gentle slope towards the central part of the basin. Near the shore, it is slightly silted up. The lake is drainless: there is no outflow, and it is fed by temporary streams, five of which flow in from the south-western and south-eastern sides. These watercourses are active only during the spring snowmelt period. Water level fluctuations throughout the year are insignificant and do not exceed 0.6 m, but over a long period of time, fluctuations of up to 3.5–4 m have been observed. In terms of ion composition, the water is of the chloride-sodium type. It is brackish and unsuitable for drinking, but is used for technical needs and sanitary and recreational bathing (Committee for Forestry and Wildlife of the Ministry of

Ecology and Natural Resources of the Republic of Kazakhstan, 2023).

In-situ Measurements. Field studies were conducted between 3 and 26 October 2024. During the course of the work, morphometric characteristics were measured and water samples were taken. Samples were taken manually from the central part of each lake at a depth of 0.5 m, i.e. from the surface layer. This was done in accordance with the requirements of the current standard (ST RK GOST R 51592-2003 “Water. General requirements for sampling.” Astana, 2003). Before starting, each sampler and storage container was washed to prevent secondary contamination.

Temperature, pH and dissolved oxygen concentration were measured using a portable two-channel

multi-parameter device HACH HQ40D (HACH LANGE, Germany) equipped with IntelliCAL digital sensors. Simultaneous determination of pH, dissolved oxygen (DO) and temperature was carried out. The pH measurement range was 0.00–14.00 with a resolution of up to 0.001 pH; for dissolved oxygen, the range was 0 to 20.00 mg/L with a resolution of 0.01 mg/L, with automatic temperature and barometric compensation. The temperature was measured in the range from 0 to 60 °C with an accuracy of ± 0.3 °C. The pH electrodes were calibrated using a 4-point scheme with standard buffers (pH 4.01 and pH 7.00 buffers), and the DO sensor was calibrated using a single-point scheme. The temperature channel did not require calibration.

Hydrochemical parameters were analysed in laboratory conditions in the following areas. The main ions (Ca^{2+} , Mg^{2+} , $\text{Na}^{+}+\text{K}^{+}$, Cl^{-} , SO_4^{2-} , HCO_3^{-}) were determined by titrimetric method using standard solutions. (according to the methodology (Alekin, 1970; Lurie, 1973; Kishkinova et al., 1977)). The content of biogenic substances, including ammonium, nitrite, nitrate nitrogen and phosphates, was determined spectrophotometrically using a DR 3900 (HACH-LANGE) device and appropriate reagents. The device undergoes annual verification at the National Centre for Expertise and Certification, which guarantees the reliability of the values obtained.

Atomic absorption spectroscopy (AAS) was used to assess toxicological characteristics, implemented on a Shimadzu AA-7000 spectrophotometer (Japan). The concentrations of Cu, Zn, Pb, Cd, Co, and Ni were determined. The methodology was consistent with (ST RK ISO 8288-2005 “Water quality. Determination of cobalt, nickel, copper, zinc, cadmium and lead. Flame atomic absorption spectrometric methods”) (ISO 8288:1986).

The results were interpreted by comparing the actual concentrations with the maximum permissible values established by Order of the Minister of Health of the Republic of Kazakhstan No. RoK MoH-138 dated 24 November 2022 ‘On the approval of hygienic standards for the safety of domestic, drinking and cultural water use.’ In addition, classical ecological classifications were used (Alekin, 1970; Berg, 1945; Forel, 1912) for contextual interpretation of water types and trophic status. The use of comparative thresholds in historical and modern interpretation allows us to identify not only absolute deviations, but also potential long-term changes in the ecological status of lakes.

Quality control. The reliability of the major-ion determinations was checked by the ionic charge

balance, computed as the relative difference between the sums of cations (Ca^{2+} , Mg^{2+} , $\text{Na}^{+}+\text{K}^{+}$) and anions (Cl^{-} , SO_4^{2-} , HCO_3^{-}) expressed in milliequivalents per litre. The balance error was $+0.1\%$ for Lake Imantau and below 0.1% for Lake Shalkar, well within the $\pm 5\%$ range conventionally regarded as acceptable for natural waters; since potassium was determined together with sodium, the combined $\text{Na}^{+}+\text{K}^{+}$ value was treated as sodium for this calculation. Instrumental accuracy was defined by the manufacturers’ specifications: the HACH HQ40D meter measured temperature to ± 0.3 °C, pH to a resolution of 0.001 units, and dissolved oxygen to 0.01 mg/L, with automatic temperature and barometric compensation.

Results

Lake Imantau. The surface water temperature is typical for the autumn season and was up to 11.6 °C at a depth of 8.0 m with a transparency of 1.2 m (Table 1). The aquatic environment is slightly alkaline with a pH of 8.6. The content of organic substances determined by permanganate oxidizability was 12.8 mg O_2 /L, COD – 23.7 mg/L, and classified (Forel, 1912; Berg, 1945) as polluted water. The concentration of suspended solids was 13.0 mg/L, which also indicates moderate anthropogenic impact. These indicators testify to increased trophicity, which may be associated with the inflow of organic matter from coastal areas. The COD indicator is at the upper limit of acceptable values, which requires constant monitoring.

The dissolved oxygen content was 8.7 mg/L with a saturation of 84.2%, which indicates favourable conditions for the life of aquatic organisms. The total oxygen regime meets the criteria for mesotrophic water bodies, with no signs of oxygen deficiency characteristic of stagnant systems.

In terms of overall hardness, lake water is classified (Alekin, 1970) as “very hard” – 7.20 meq/L with mineralisation of 1231 mg/L (Table 2). The mineralisation index is above the limit level (1000 mg/L), which allows the water to be classified as brackish. This indicates a possible increase in evaporation and a limited inflow of fresh water in the autumn period.

The chemical composition of the lake water is determined as hydrocarbonate class, sodium group, type I (C^{Na}_1) and belongs to brackish lakes (Forel, 1912; Berg, 1945). The ionic composition of both lakes and the contrast in their mineralization are illustrated by the Stiff diagrams in Figure 3.

Table 1
Hydrochemical Parameters of Lakes

Lake	T, °C	pH	Permanganate oxidizability, mg O ₂ /L	COD, mg O ₂ /L	Suspended solids, mg/L	Dissolved oxygen		Total hardness, meq/L
						mg O ₂ /L	% saturation	
Imantau	11,6	8,6	12,8	23,7	13,0	8,7	84,2	7,2
Shalkar	10,9	9,1	16,8	31,1	88,0	9,4	88,5	88,0
MAC	-	6-9	5,0	15,0-30,0	< 30 mg/L	4,0	-	7,0

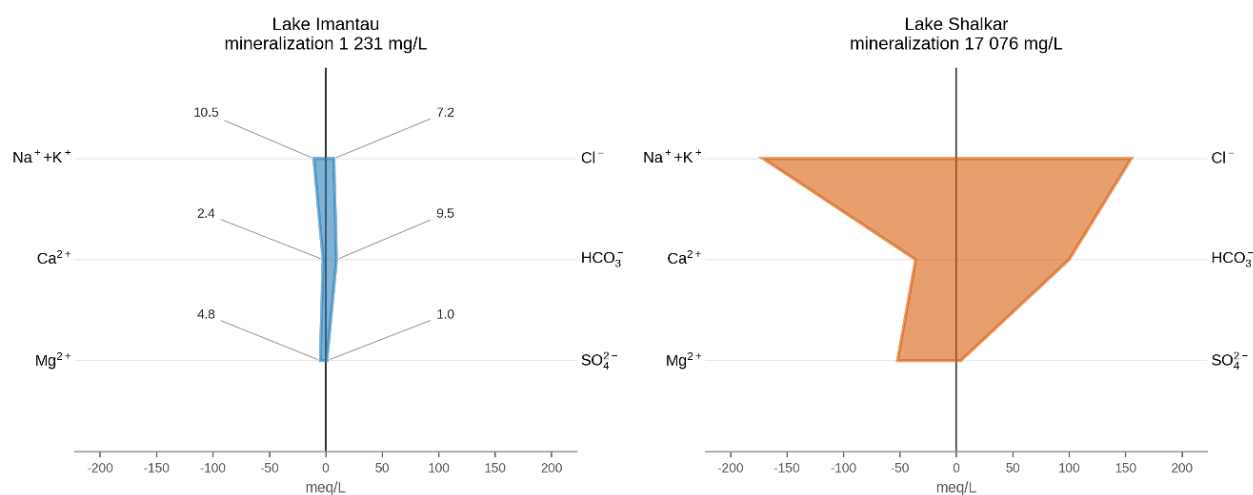
Note – compiled by the authors

Table 2
Ion Composition and Mineralisation of Lake Water

Lake	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺ +K ⁺	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	HCO ₃ ⁻	Mineralisation, (mg/L)
	(mg/L)						
Imantau	48,0	58,4	242	255	48,0	580	1231
Shalkar	721	632	3933	5496	192	6102	17076
MAC	-	-	-	350	500	-	1000
<i>Note – compiled by the authors</i>							

Note – compiled by the authors

Figure 3
Stiff Diagrams of the Ionic Composition of Lake Imantau and Lake Shalkar (October 2024)



Note – compiled by the authors.

The content of biogenic substances in the water of Lake Imantau varied within the following limits: NO₂⁻ – 0.011 mg/L, NO₃⁻ – 0.40 mg/L, PO₄³⁻ – 0.08 mg/L; ammonium ion absent (Table 3). The phosphate content exceeded the standards by up to 1.6 MPC (Forel, 1912). The recorded exceedance of the MPC for phosphates, despite the absence of

ammonium nitrogen, may be a marker of the initial stage of eutrophication.

The concentrations of heavy metals did not exceed the regulatory values (Table 4) (Ryanzhin, 2003, 2005). Only trace levels were recorded: zinc – 2.5 µg/L, lead – 1.0 µg/L, nickel – 6.9 µg/L. Copper, cadmium and cobalt were not de-

tected. This confirms the relative stability of the system with regard to anthropogenic pollution, although retrospective assessments indicate probable fluctuations. The concentrations of all ana-

lysed metals relative to the maximum allowable concentrations are summarized in Figure 4, where all values remain below 7% of the MAC for both lakes.

Table 3
Content of Biogenic Substances in Water

Lake	NH ₄ ⁺	NO ₂ ⁻	NO ₃ ⁻	PO ₄ ³⁻
	mg/L			
Imantau	0,0	0,011	0,4	0,08
Shalkar	0,03	0,009	1,0	0,0
MAC	0,5	40	0,08	0,05

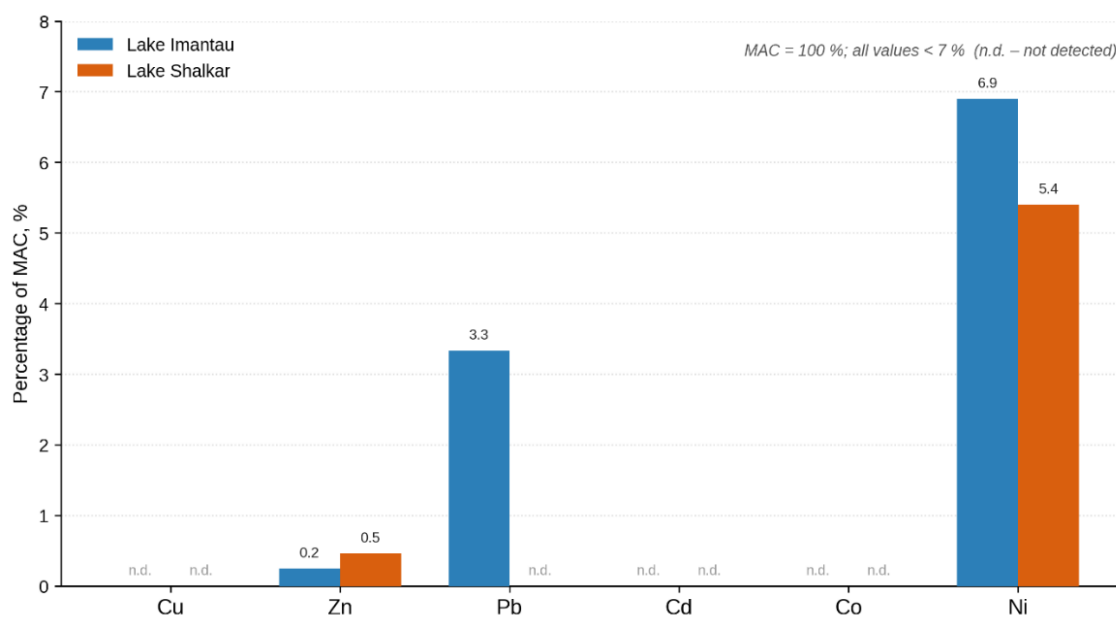
Note – compiled by the authors

Table 4
Concentration of Heavy Metals in Water

Lake	Cu	Zn	Pb	Cd	Co	Ni
	µg/L					
Imantau	0,0	2,5	1,0	0,0	0,0	6,9
Shalkar	0,0	4,6	0,0	0,0	0,0	5,4
MAC	1000	1000	30	1,0	100	100

Note – compiled by the authors

Figure 4
Heavy Metal Concentrations as a Percentage of MAC (%)



Note: compiled by the authors

Lake Shalkar. The water temperature warmed up to 10.9 °C at a depth of 2.6 m. The water environment was strongly alkaline, with a pH of 9.1, which may be associated with high photosynthetic activity in shallow water areas (Table 1). This is also confirmed by the low transparency of the water – 0.1 m. The content of organic substances was 16.8 mg O₂/L, suspended solids – 88.0 mg/L. COD reached 31.1 mg/L, which is classified as polluted water (Forel, 1912; Berg, 1945). The oxygen regime is characterised by a concentration of 9.4 mg/L at 88.5% saturation. High COD and suspended solids values may indicate an external inflow of organic matter and the initial stages of biogenic transformation, but the preservation of the oxygen balance indicates self-purification potential.

In terms of its technical properties, the lake water is very hard – 88.0 meq/L. In terms of the amount of salts dissolved in the water, the lake is classified as saline, with a mineralisation of 17,076 mg/L, chloride-sodium composition, type I (ClNaI) (Table 2) (Alekin, 1970; Forel, 1912). Mineralisation exceeds the MPC threshold values by more than 17 times, which may be due to both natural conditions and processes of evaporation and weak water exchange. Under such conditions, the lake's biosystem functions as a hypermineralised environment.

In terms of biogenic substances in lake water, only nitrate levels exceed the standards: 1.0 mg/L, which is equivalent to 0.08 MPC (Table 3) (Ryanzhin, 2005). A stable phosphorus regime (no phosphates detected), combined with a moderate nitrogen load, indicates that the lake is in a stable state in terms of biogenic substances.

Spectrometric analysis showed that heavy metal concentrations in Lake Shalkar water do not exceed maximum permissible concentrations (Ryanzhin, 2003, 2005). According to Table 4, there is no copper, lead, cadmium or cobalt. Small concentrations of zinc (4.6 µg/L) and nickel (5.4 µg/L) were recorded, which is below the MPC (10 µg/L). Thus, Lake Shalkar is characterised by extremely high mineralisation and elevated organic matter and suspended solids of largely natural origin, while its nutrient and heavy-metal load remains stable.

According to research (Goryunova et al., 1978), mineralisation in Lake Imantau fluctuated between 536 and 758 mg/L between 1964 and 1978, and in 1976, 1977 and 2011-2013, it increased to 1256-2010 mg/L. Such fluctuations in the salt regime are probably due to varying volumes of freshwater inflow in the spring, which makes it necessary to continue monitoring seasonal dynamics.

The above-mentioned literature sources contain fairly detailed information on the concentration of biogenic compounds in lake waters. During the growing season, they were recorded within the maximum permissible concentration (MPC) for fish farming reservoirs. Data on heavy metals in lake waters are extremely scarce. In the waters of Lake Imantau in 2015, the concentration was within 2.5-3.0 MPC, with zinc, manganese and nickel recorded at levels below the MPC standards.

When assessing the trophic status of water bodies based on dissolved oxygen concentration and saturation percentage, Lake Imantau and Lake Shalkar are classified as mesotrophic, with trophic type indicators ranging from 50 to 155% (Tsvetkova et al., 2012; Frumin & Huang, 2012). However, based on phosphate concentrations, Lake Imantau is transitioning to an eutrophic state, while Lake Shalkar remains stable. These observations suggest that nutrient input from the shoreline is raising biogenic concentrations in Lake Imantau, which may accelerate overgrowth by higher aquatic vegetation and alter the ecosystem.

Discussion

The two lakes studied here occupy a single landscape-climatic zone of the Ayyrtau district yet diverge sharply in their hydrochemical character. Lake Imantau is a fresh, hydrocarbonate-sodium water body with a mineralisation of 1231 mg/L, whereas Lake Shalkar is a hypermineralised, chloride-sodium system at 17076 mg/L, more than an order of magnitude higher. The Stiff diagrams (Figure 3) make this contrast explicit: Imantau retains a balanced ionic profile dominated by hydrocarbonate, while Shalkar is governed by sodium and chloride. Such a divergence between adjacent lakes of the same region reflects the difference between a through-flow basin with periodic outflow (Imantau) and a closed, drainless basin (Shalkar), where the absence of outflow allows dissolved salts to concentrate over time.

These results confirm the initial hypothesis only in part. Lake Shalkar does show far higher mineralisation than Lake Imantau, but this difference follows from its closed, evaporative basin rather than from recreational pressure. While adaptive monitoring of recreational capacity remains an important management tool for nature-based lake destinations of this type (Tankibayeva et al., 2023), the present data indicate that the anthropogenic signal the hypothesis associated with Shalkar appears instead at

Lake Imantau, where phosphate enrichment points to early eutrophication. The contrast between the two lakes is therefore governed primarily by basin hydrology, with the anthropogenic component concentrated in the through-flow lake rather than the saline one.

This pattern is consistent with the regional hydroclimatic setting. Both lakes belong to the Esil River basin, for which a semi-arid regime with annual precipitation of 250–450 mm and a heightened vulnerability of surface waters to climatic change have been established (Bahetnur & Lee, 2023). Under such conditions, evaporative concentration becomes a leading control on the salt balance of poorly drained lakes. The neighbouring Lake Burabay illustrates the same mechanism within this zone: instrumental monitoring recorded a rise in mineralisation from 160 to 321 mg/L over 2018–2022, attributed to evaporation exceeding precipitation (Shulembayeva et al., 2023), while remote sensing independently documented a contraction in the surface area of the main Shchuchinsk-Burabay lakes under recreational pressure (Ramazanova et al., 2019). The extreme mineralisation of Shalkar is therefore best read as the end-member of a regional gradient driven by aridity, weak water exchange, and a closed basin, rather than as an isolated anomaly. The historical record for Imantau, where mineralisation fluctuated between 536–758 mg/L in 1964–1978 and rose to 1256–2010 mg/L in individual years (Goryunova et al., 1978), confirms that even the fresher of the two lakes is sensitive to these inter-annual swings.

The toxicological picture stands in clear contrast to lakes affected by ore-related sources. In both Imantau and Shalkar, every analysed metal remained below 7% of its maximum allowable concentration (Figure 4), with copper, cadmium and cobalt undetected. This background-level load is what would be expected for water bodies lacking ore or industrial sources nearby. Elsewhere in Kazakhstan, the exceedances noted in the Introduction are each tied to a specific geological or technogenic source: a natural geochemical background in the Kolsai Lakes, ore-enrichment tailings at Lake Balkhash, and polymetallic deposits around Lake Markakol. None of these source types is present in the catchments of Imantau or Shalkar. Against these cases, the trace metal levels in Imantau and Shalkar place both lakes firmly in the natural background range and confirm the absence of a toxicological risk from metals at the time of sampling. At metal levels of a few percent of the MAC, direct comparison with regulatory thresholds character-

ises the toxicological state more meaningfully than aggregated heavy-metal indices, which converge toward uniformly low values under such conditions (Biedunkova & Kuznietsov, 2024).

The biogenic signal sets the two lakes apart once more. In Shalkar, phosphates were not detected and nitrogen remained moderate, indicating a stable nutrient regime. In Imantau, phosphate reached 1.6 MPC in the absence of ammonium nitrogen, a pattern that may mark the initial stage of eutrophication driven by phosphorus input from the shoreline. This reading is supported by the longer record for Imantau, where a complex pollution index rose markedly between 2014 and 2019 alongside increasing nitrogen forms, in close correlation with the growth of tourist numbers (Zhumay et al., 2021), and by independent measurements in 2022–2023 that recorded rising ammonium and sodium-potassium concentrations in the same lake (Zadagali et al., 2024). The location of Imantau within an active resort zone makes this trajectory plausible, since even the low-level nutrient input characteristic of tourism can trigger a measurable biological response in otherwise clean protected lakes (Cao et al., 2016). The phosphate exceedance recorded in October 2024 thus appears to be one point on a longer eutrophication trend rather than an isolated reading. Accordingly, trophic status here is assessed from dissolved oxygen, nutrients and transparency rather than from a single composite trophic index, an approach better suited to the present dataset and consistent with reported divergences among quality and trophic indices applied to the same water body (Shiretorova et al., 2025).

Limitations

This study is a pilot (case-study) assessment, and several limitations define the scope within which its results should be interpreted.

First, sampling was carried out once, within a single hydrological season (3–26 October 2024). The data reflect the state of the lakes during the autumn period of low biological activity and do not capture seasonal dynamics, including spring snowmelt and meltwater inflow, the summer productivity maximum, and winter under-ice stratification. Given that Lake Imantau has previously shown considerable inter-annual and seasonal fluctuations in mineralisation (536–758 mg/L in 1964–1978, rising to 1256–2010 mg/L in individual years), the present values should be regarded as an instantaneous snapshot rather than an averaged characteristic of the water bodies.

Second, at each lake sampling was performed at a single point, in the central part of the water area, at a depth of 0.5 m. This design ensures comparability between the two lakes but does not allow the spatial heterogeneity to be assessed: the littoral zones, the inflow areas of temporary watercourses, the near-dam section of Lake Imantau, and the silted near-shore zones of Lake Shalkar, where hydrochemical parameters may differ substantially from those at the centre of the basin. Extrapolation of the obtained values to the entire lake area is therefore limited.

Third, the study covers only the surface horizon (0.5 m) and does not include vertical profiling. For Lake Shalkar, with a maximum depth of 15 m, and for Lake Imantau, with a depth of up to 10 m, this means an absence of data on possible vertical stratification in temperature, oxygen, and mineralisation.

These limitations define the status of the results as a reference point for regional monitoring rather than diminishing their value: the work provides an instrumentally confirmed profile hydrochemical and toxicological profile of two contrasting lakes in the Ayyrtau district, against which further changes can be tracked.

Conclusion

Lake Imantau and Lake Shalkar demonstrate differences in hydrochemical composition, reflecting the characteristics of their morphometry, sources of nutrition and anthropogenic load. Lake Imantau is characterised by a slightly alkaline reaction, moderate mineralisation and insignificant levels of organic matter and suspended particles. However, phosphate levels exceed established standards, which may indicate a potential transition to eutrophication. At the same time, Lake Shalkar is characterised by signs of hypermineralised water with extreme total hardness and chloride-sodium type waters. The high alkalinity of the environment and the significant content of organic and suspended substances may be the result of both internal biochemical processes, including photosynthesis, and the external influx of organic matter. Despite this, no exceedances of heavy metal content were recorded in either water body.

Based on the analysis of biogenic compounds and oxygen regime, both lakes can be classified as mesotrophic. However, Lake Imantau shows initial signs of trophic transition, which requires additional attention to coastal loading and nutrient input intensity. Given the identified deviations in certain parameters, there is a need for regular monitoring

of water composition, with a focus on phosphorus compounds, organic matter and fluctuations in mineralisation in seasonal dynamics.

The data obtained can serve as a basis for updating environmental regulation – including the application of the unified water-quality classification system for surface water bodies (Ministry of Water Resources and Irrigation of the Republic of Kazakhstan, 2025) – and for protecting water bodies in northern Kazakhstan according to their typological differences. Future work should add seasonal sampling across spring, summer and winter, several sampling points per lake including littoral and inflow zones, vertical profiling in the deeper basins, and measurements of chlorophyll-a and total phosphorus that would allow the Carlson trophic index to be applied to Lake Imantau. These steps would extend the present pilot assessment toward continuous regional monitoring.

Author Contributions

Conceptualization, Y. Nuruly, A.R. Zhumalipov; Methodology, A.R. Zhumalipov and Y. Nuruly; Software, Y. Nuruly, A.M. Serikbol; Validation, A.R. Zhumalipov, Y. Nuruly and A.M.S.; Formal Analysis, A.R. Zhumalipov and A.Z. Shyryntay; Investigation, A.R. Zhumalipov; Resources, A.R. Zhumalipov, A.M. Serikbol; Data Curation, A.Z. Shyryntay, A.M. Serikbol; Writing – Original Draft Preparation, A.R. Zhumalipov; Writing – Review & Editing, Y. Nuruly and A.M. Serikbol; Visualization, A.Z. Shyryntay; Supervision, Y. Nuruly; Project Administration, Y. Nuruly; Funding Acquisition, A.R. Zhumalipov, Y. Nuruly. All authors have read and agreed to the published version of the manuscript.

Funding

This research was funded by the Science Committee of the Ministry of Science and Higher Education of the Republic of Kazakhstan (Grant No. AP23490620, title: “Implementation of Sustainable Tourism Management in the Imantau-Shalkar Resort Area Based on the Application of Smart Technologies”).

Declaration of interest statement

The authors have no conflict of interest to declare.

Declaration on the use of GenAI

During the preparation of this work, the authors used Claude (Anthropic) for editing and language refinement of the English text and for

checking the formatting and consistency of the references. After using this tool, the authors reviewed and edited the content as necessary and take full responsibility for the content of the publication.

References

- Aktymbayeva, A., Nuruly, Y., Artemyev, A., Kaliyeva, A., Sapiyeva, A., & Assipova, Z. (2023). Balancing nature and visitors for sustainable development: Assessing the tourism carrying capacities of Katon-Karagay National Park, Kazakhstan. *Sustainability*, 15(22), 15989. <https://doi.org/10.3390/su152215989>
- Alekin, O. A. (1970). *Osnovy gidrokhimii* [Foundations of hydrochemistry]. Gidrometeoizdat.
- Badamian, M. R., Noori, R., Jun, C., Bateni, S. M., Heidari, S., Bahrami, B., Mortazavi, M., Vesali Naseh, M. R., & Zhu, S. (2025). New insights on biomass production in lakes: Integration of Carlson trophic state index and vertically generalized production model. *Ecological Indicators*, 174, 113450. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2025.113450>
- Bahetnur, Y., & Lee, W. (2023). Trace heavy metal contamination of urban water bodies in Central Asia: Its distribution, source detection, and probabilistic health risk assessment for recreational and household use of water. *ACS ES&T Water*, 3(8), 2765–2775. <https://doi.org/10.1021/acsestwater.3c00268>
- Berg, L. S. (1945). Sovremennoe sostoyanie i zadachi ozerovedeniya v SSSR [Current state and tasks of lake studies in the USSR]. *Izvestiya AN SSSR. Seriya geologicheskaya*, (1), 54–60.
- Biedunkova, O., & Kuznetsov, P. (2024). Dataset on heavy metal pollution assessment in freshwater ecosystems. *Scientific Data*, 11(1), 1241. <https://doi.org/10.1038/s41597-024-04116-z>
- Bogoslavsky, B. B. (1960). *Ozerovedenie* [Lake studies]. Izdatel'stvo Moskovskogo universiteta.
- Bogoslavsky, B. B., & Voskresensky, K. A. (1974). Ozera [Lakes]. In *Bol'shaya sovetskaya entsiklopediya* (Vol. 18). Sovetskaya entsiklopediya.
- Cao, Y., Wang, B., Zhang, J., Wang, L., Pan, Y., Wang, Q., Jian, D., & Deng, G. (2016). Lake macroinvertebrate assemblages and relationship with natural environment and tourism stress in Jiuzhaigou Natural Reserve, China. *Ecological Indicators*, 62, 182–190. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2015.11.023>
- Cieřliński, R., & Major, M. (2012). Differences in the abiotic parameters of water in coastal lakes in the light of the EU Water Framework Directive: An example of the Polish southern Baltic coast. *Acta Geophysica*, 60(4), 1159–1179. <https://doi.org/10.2478/s11600-012-0018-8>
- Daniszewski, P. (2013). Evaluation of chemical and physico-chemical indicators of water of the lakes in the city of Szczecin on the basis of the EU Water Framework Directive. *Journal of Ecological Engineering*, 14(3), 24–30. <https://doi.org/10.5604/2081139X.1055822>
- El-Zeiny, A., & El-Kafrawy, S. (2017). Assessment of water pollution induced by human activities in Burullus Lake using Landsat 8 Operational Land Imager and GIS. *The Egyptian Journal of Remote Sensing and Space Sciences*, 20, S49–S56. <https://doi.org/10.1016/j.ejrs.2016.10.002>
- Forel, F. A. (1912). *Rukovodstvo po ozerovedeniyu (Obshchaya limnologiya)* [Handbook of lake studies (General limnology)] (K. P. Aleksandrov, Trans.; I. D. Kuznetsov, Ed.). Departament zemledeliya; Tipografiya V. F. Kirshbauma.
- Frumin, G. T., & Huang, Zh.-Zh. (2012). *Veroyatnostnaya otsenka troficheskogo statusa vodnykh ob'ektov: Metodicheskoe posobie* [Probabilistic assessment of the trophic status of water bodies: A methodical guide]. RGGMU.
- Goryunova, A. I., Kiseleva, V. A., Shustov, A. I., Pichkily, L. O., & Sumbaeva, L. N. (1978). *Razrabotka normativov po biotekhnike vyrashchivaniya tsennykh vidov ryb v Imantaukom ozerno-tovarnom khozyaistve: Otchet o NIR* [Development of standards for the biotechnology of rearing valuable fish species in the Imantau lake-commercial farm: R&D report]. KazNIIRKh.
- Ismukhanova, L., Madibekov, A., Opp, C., Zhadi, A., Sultanbekova, B., & Zhumatayev, S. (2024). Status and migration activity of lead, cobalt and nickel in water and in bottom sediments of Lake Markakol, Kazakhstan. *Applied Sciences*, 14(17), 7487. <https://doi.org/10.3390/app14177487>
- Karpowicz, M., Kuczyńska-Kippen, N., Sługocki, Ł., Czerniawski, R., Bogacka-Kapusta, E., & Ejsmont-Karabin, J. (2025). Trophic status index discrepancies as a tool for improving lake management: Insights from 160 Polish lakes. *Science of the Total Environment*, 981, 179581. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2025.179581>
- Kishkinova, T. S., Kaplin, V. T., Stradomskaya, A. G., et al. (1977). *Rukovodstvo po khimicheskomu analizu poverkhnostnykh vod sushi* [Manual on the chemical analysis of inland surface waters] (A. D. Semenov, Ed.). Gidrometeoizdat.
- Komitet lesnogo khozyaistva i zhivotnogo mira Ministerstva ekologii i prirodnnykh resursov Respubliki Kazakhstan. (2023). *Plan upravleniya RGU «Gosudarstvennyi natsionalnyi prirodnyi park “Kokshetau”» na 2024–2028 gody* [Management plan of the State National Nature Park “Kokshetau” for 2024–2028]. Kokshetau.
- Komitet po tekhnicheskomu regulirovaniyu i metrologii Ministerstva industrii i trgovli Respubliki Kazakhstan. (2003). *ST RK GOST R 51592-2003. Voda. Obshchie trebovaniya k otboru prob* [Water. General requirements for sampling]. Astana.
- Komitet po tekhnicheskomu regulirovaniyu i metrologii Ministerstva industrii i trgovli Respubliki Kazakhstan. (2005). *ST RK ISO 8288-2005. Kachestvo vody. Opredelenie kobalta, nikelya, medi, tsinka, kadmiya i svintsa. Plamennyye atomno-absorbtsionnyye spektrometricheskie metody (ISO 8288:1986)* [Water quality. Determination of cobalt, nickel, copper, zinc, cadmium and lead. Flame atomic absorption spectrometric methods]. Astana.

- Krupa, E. G., Romanova, S. M., & Imentai, A. K. (2016). Hidrokhimicheskaya i toksikologicheskaya kharakteristika ozer Gosudarstvennogo natsional'nogo prirodnogo parka «Kölsai kölderі» (Kungei Alatau, Yugo-Vostochnyi Kazakhstan) [Hydrochemical and toxicological characteristics of the lakes of the Kolsai Lakes State National Nature Park (Kungei Alatau, South-Eastern Kazakhstan)]. *Nature Conservation Research. Zapovednaya nauka*, 1(1), 2–10. <https://dx.doi.org/10.24189/ncr.2016.001>
- Lurie, Yu. Yu. (Ed.). (1973). *Unifitsirovannyye metody analiza vod* [Unified methods of water analysis]. Khimiya.
- Ministerstvo vodnykh resursov i irrigatsii Respubliki Kazakhstan. (2025). *Ob utverzhdenii edinoi sistemy klassifikatsii kachestva vody v poverkhnostnykh vodnykh ob'ektakh i (ili) ikh chastyakh: Prikaz № 111-NQ ot 4 iyunya 2025 g* [On approval of a unified system for classifying water quality in surface water bodies and (or) their parts: Order No. 111-NQ of June 4, 2025]. <https://adilet.zan.kz/rus/docs/G25MA000111>
- Ministerstvo zdavookhraneniya Respubliki Kazakhstan. (2022). *Ob utverzhdenii gigienicheskikh normativov pokazatelei bezopasnosti khozyaistvenno-pit'evogo i kul'turno-bytovogo vodopol'zovaniya: Prikaz № KR DSM-138 ot 24 noyabrya 2022 g* [On approval of hygienic standards for the safety of drinking-water and recreational water use: Order No. KR DSM-138 of November 24, 2022]. <https://adilet.zan.kz/rus/docs/V2200030713>
- Muratkhonov, D., Mirlas, V., Anker, Y., Miroshnichenko, O., Smolyar, V., Rakhimov, T., Sotnikov, Y., & Rakhimova, V. (2024). Heavy metal groundwater transport mitigation from an ore enrichment plant tailing at Kazakhstan's Balkhash Lake. *Sustainability*, 16(16), 6816. <https://doi.org/10.3390/su16166816>
- Ngamile, S., Madonsela, S., & Kganyago, M. (2025). Trends in remote sensing of water quality parameters in inland water bodies: A systematic review. *Frontiers in Environmental Science*, 13, 1549301. <https://doi.org/10.3389/fenvs.2025.1549301>
- Ramazanova, M., Bulai, M., Ursu, A., Tortella, B., & Kakabayev, A. (2019). Effects of tourism development on surface area of main lakes of Shchuchinsk-Burabay resort area, Kazakhstan. *European Journal of Tourism Research*, 21, 69–86. <https://doi.org/10.54055/ejtr.v21i.359>
- Ryanzhin, S. V. (2003). Size distribution of world lakes and rivers derived from WORLDLAKE database. In *4th International Lake Ladoga Symposium* (pp. 496–502). Joensuu Yliopisto.
- Ryanzhin, S. V. (2005). Novye otsenki global'noi ploshchadi i ob'ema vody estestvennykh ozer mira [New estimates of the global area and water volume of natural lakes of the world]. *Doklady Akademii Nauk*, 400(6), 808–812.
- Sharma, V., Walia, Y., & Kumar, A. (2016). Assessment of physico-chemical parameters for analysing water: A review. *Journal of Biological and Chemical Chronicles*, 2(1), 25–33.
- Shiretorova, V. G., Nikitina, E. P., Bazarsadueva, S. V., Taraskin, V. V., Budaeva, O. D., Nimbueva, N. B., Shirapova, G. S., Pintaeva, E. T., Zhigzhitzhapova, S. V., Radnaeva, L. D., & Garmaev, E. (2025). Current state of Lake Kotokel (Eastern Cisbaikalia, Russia): Hydrochemical characteristics, water quality, and trophic status. *Water*, 17(4), 545. <https://doi.org/10.3390/w17040545>
- Shirokova, L. S., Chupakov, A. V., Kokryatskaya, N. M., Titova, K. V., Klimov, S. I., Zabelina, S. A., Moreva, O. Y., Vorobieva, T. Y., & Pokrovsky, O. S. (2020). Variability of hydrochemical parameters of small boreal lakes under natural and anthropogenic factors (case study of NW Russia). *Hydrobiologia*, 847(21), 4653–4670. <https://doi.org/10.1007/s10750-020-04193-2>
- Shulembayeva, K., Rodrigo-Illari, J., Rodrigo-Clavero, M.-E., Khussainov, A., Kakabayev, A., & Khussainova, R. (2023). Assessment of the hydrophysical and hydrochemical characteristics of Lake Burabay (Akmola Region, North Kazakhstan). *Sustainability*, 15(15), 11788. <https://doi.org/10.3390/su151511788>
- Su, K., Wang, Q., Li, L., Cao, R., & Xi, Y. (2022). Water quality assessment of Lugu Lake based on Nemerow pollution index method. *Scientific Reports*, 12, 13613. <https://doi.org/10.1038/s41598-022-17874-w>
- Tankibayeva, A., Assipova, Z., Nuruly, Y., & Aktymbayeva, A. (2023). Adaptive management of recreational capacity in nature-based tourism: Study of four lakes in Almaty Region, Kazakhstan. In *Tourism for Sustainable Future: Proceedings of the International Scientific Conference* (pp. 181–188).
- Tsvetkova, L. I., Alekseev, M. I., Makarova, S. V., Kopina, G. I., & Neverova-Dziopak, E. (2012). Vliyanie stochnykh vod Sankt-Peterburga na evtrofirovaniye Nevskoi guby [Impact of St. Petersburg wastewater on the eutrophication of the Neva Bay]. *Vestnik grazhdanskikh inzhenerov*, 1(30), 178–187.
- U.S. Environmental Protection Agency. (1986). *Ambient water quality criteria for dissolved oxygen, 1986 ("Gold Book")* (EPA 440/5-86-003). U.S. EPA.
- Welch, P. S. (1952). *Limnology* (2nd ed.). McGraw-Hill.
- World Health Organization. (2003). *Total dissolved solids in drinking-water: Background document for development of WHO guidelines for drinking-water quality* (WHO/SDE/WSH/03.04/16 Rev/1). <https://www.who.int/docs/default-source/wash-documents/wash-chemicals/total-dissolved-solids-background-document.pdf>
- World Health Organization. (2017). *Guidelines for drinking-water quality: Fourth edition incorporating the first addendum*. WHO Press. <https://www.who.int/publications/i/item/9789241549950>
- Yskak, A., Chashkov, V., Nugmanov, A., Joldassov, A., Paramonova, T., Kurmangaliyeva, D., & Nurseitova, A. (2025). Granulometric and chemical composition of bottom sediments in North Kazakhstan's water reservoirs: Implications for soil and water management. *International Journal of Agriculture and Biosciences*, 14(2), 289–300. <https://doi.org/10.47278/journal.ijab/2025.007>
- Zadagali, A. M., Zhamangara, A. K., Samarkhanov, T. N., & Adamzhanova, Zh. A. (2024). Kökshetau qyratynyñ keibir kölderiniñ gidrokhimiyalyq rejimi [Hydrochemical regime of some lakes of the Kokshetau upland]. *L. N. Gumilev atyndaǵy Eurazia ultyq universitetiniñ xabarshysy. Ekologiya seriyasy*, 149(4), 148–158. <https://doi.org/10.32523/2616-6771-2024-149-4-148-158>
- Zhumay, Y., Khussainov, A., Kurmanbayeva, A., Skipin, L., & Onerkhan, G. (2021). Assessment of hydrophysical and hydrochemical features of water bodies: A case study of Lake Imantau, Kazakhstan. *Water Conservation and Management*, 5(2), 108–113. <https://doi.org/10.26480/wcm.02.2021.108.113>

Information about the authors:

Aidar Zhumalipov – PhD candidate, Senior Lecturer, Department of Meteorology and Hydrology, Farabi University (Almaty, Kazakhstan, e-mail: aidar.zhumalipov@kaznu.edu.kz).

Yeldar Nuruly – PhD candidate, Senior Lecturer, Department of Recreational Geography and Tourism, Farabi University (Almaty, Kazakhstan, e-mail: yeldar.nuruly@kaznu.edu.kz).

Amina Shyryntay – Master's student, Department of International Relations and World Economy, Farabi University (Almaty, Kazakhstan, e-mail: amina.shyryntai.04@gmail.com).

Aruzhan Serikbol – Master's student, Department of Recreational Geography and Tourism, Farabi University (Almaty, Kazakhstan, e-mail: serikbolaruzhan@mail.ru).

Авторлар туралы мәлімет:

Жумалипов Айдар Рахметович – PhD кандидаты, аға оқытушы, метеорология және гидрология кафедрасы, әл-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университеті (Алматы, Қазақстан, e-mail: aidar.zhumalipov@kaznu.edu.kz).

Нұрұлы Елдар – PhD кандидаты, аға оқытушы, рекреациялық география және туризм кафедрасы, әл-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университеті (Алматы, Қазақстан, e-mail: yeldar.nuruly@kaznu.edu.kz).

Шырынтай Әмина Жандосқызы – магистрант, халықаралық қатынастар және әлемдік экономика кафедрасы, әл-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университеті (Алматы, Қазақстан, e-mail: amina.shyryntai.04@gmail.com).

Серікбол Аружан Марланқызы – магистрант, рекреациялық география және туризм кафедрасы, әл-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университеті (Алматы, Қазақстан, e-mail: serikbolaruzhan@mail.ru).

Сведения об авторах:

Жумалипов Айдар Рахметович – кандидат PhD, старший преподаватель, кафедра метеорологии и гидрологии, Казахский национальный университет им. аль-Фараби (Алматы, Казахстан, e-mail: aidar.zhumalipov@kaznu.edu.kz).

Нұрұлы Елдар – кандидат PhD, старший преподаватель, кафедра рекреационной географии и туризма, Казахский национальный университет им. аль-Фараби (Алматы, Казахстан, e-mail: yeldar.nuruly@kaznu.edu.kz).

Шырынтай Амина Жандосқызы – магистрант, кафедра международных отношений и мировой экономики, Казахский национальный университет им. аль-Фараби (Алматы, Казахстан, e-mail: amina.shyryntai.04@gmail.com).

Серікбол Аружан Марланқызы – магистрант, кафедра рекреационной географии и туризма, Казахский национальный университет им. аль-Фараби (Алматы, Казахстан, e-mail: serikbolaruzhan@mail.ru).

Received: October 29, 2025

Accepted: May 15, 2026

IRSTI 89.57.45, 89.57.35, 70.03.00

<https://doi.org/10.26577/JGEM812202616>

G.M. Iskaliyeva^{1*}, N.K. Sydyk¹, M.S. Sagat¹,
A.A. Amangelgi¹, Sh.S. Eskaliyeva²

¹ Institute of Ionosphere, Almaty, Kazakhstan

² Kazakh National Pedagogical University named after Abai, Almaty, Kazakhstan

*e-mail: gulnara.iskaliyeva@ionos.kz

SENSITIVITY ANALYSIS OF THE IMPACT OF CLIMATE CHANGE ON THE SYRDARYA RIVER RUNOFF

River runoff depends directly on climate conditions (e.g., temperature, precipitation and evapotranspiration), which affect water balance at the watersheds scale. The present work was conducted to investigate the impact of climate change on runoff in the Syrdarya River Basin, Central Asia. To assess the impact of climatic variation on runoff, the temporal trends of runoff were explored using the sensitivities of runoff to precipitation, temperature and potential evapotranspiration, and the aridity index was evaluated with the modified method of climate elasticity. The results showed that the average coefficients of sensitivity of runoff to precipitation and potential evapotranspiration were 2.4 and -1.4, and the sensitivity to temperature was -0.8 respectively, indicating that a 10% increase in precipitation or potential evapotranspiration would lead to a 24% increase or a 14% decrease in runoff, respectively. Additionally, the average coefficient of sensitivity of runoff to the aridity index varied from 0.65 to 2.8. The average coefficients of the sensitivity of runoff to climatic variation appeared to have an inverse relationship with the runoff coefficient, showing that the lower the river flow of the basin became, the more sensitive the runoff would be with respect to climatic variation. The results confirm the high sensitivity of river runoff in the Syrdarya River Basin to climatic changes. Precipitation was identified as the dominant factor controlling runoff formation, whereas an increase in potential evapotranspiration contributes to a reduction in basin water availability. The obtained estimates can be used to project future changes in regional water resources under changing climatic conditions.

Keywords: river basin, climatic variation, sensitivity analysis, partial correlation, river runoff.

Г.М. Искалиева^{1*}, Н.Қ. Сыдық¹, М.С. Сағат¹,
Ә.А. Амангелді¹, Ш.С. Есқалиева²

¹ «Ионосфера институты» ЖШС, Алматы, Қазақстан

² Абай атындағы Қазақ ұлттық педагогикалық университеті, Алматы, Қазақстан

*e-mail: gulnara.iskaliyeva@ionos.kz

Сырдария өзені ағынының климаттың өзгеруіне сезімталдығын талдау

Өзен ағыны тікелей климаттық жағдайларға (мысалы, температура, жауын-шашын және булану) байланысты, олар суайрық шкаласында су балансына әсер етеді. Бұл жұмыс Орталық Азиядағы Сырдария өзені бассейніндегі ағынға климаттың өзгеруінің әсерін зерттеу үшін жүргізілді. Климаттық өзгерістердің ағынға әсерін бағалау үшін ағынның уақытша үрдістері ағынның жауын-шашынға, температураға және ықтимал булану транспирациясына сезімталдығын пайдаланып зерттелді, ал құрғақшылық индексі климаттық серпімділіктің өзгертілген әдісімен бағаланды. Нәтижелер ағынның жауын-шашынға және ықтимал булану транспирациясына сезімталдығының орташа коэффициенттері 2,4 және -1,4, ал температураға сезімталдығы сәйкесінше -0,8 екенін көрсетті, бұл жауын-шашынның немесе ықтимал булану транспирациясының 10%-ға артуы ағынның сәйкесінше 24%-ға артуына немесе 14%-ға төмендеуіне әкелетінін көрсетеді. Сонымен қатар ағынның құрғақшылық индексіне сезімталдығының орташа коэффициенті 0,65-тен 2,8-ге дейін өзгерді. Ағынның климаттық өзгерістерге сезімталдығының орташа коэффициенттері ағын коэффициентімен кері пропорционалды болып көрінді, бұл бассейнінің өзен ағыны неғұрлым төмен болса, ағынның климаттық өзгерістерге соғұрлым сезімтал болатынын көрсетеді. Алынған нәтижелер Сырдария өзені алабының су ресурстарының климаттық факторлардың өзгеруіне жоғары сезімтал екенін көрсетті. Өзен ағынының қалыптасуына атмосфералық жауын-шашынның шешуші әсер ететіні, ал потенциалды буланудың артуы алаптың сулылығын төмендететіні анықталды. Зерттеу

болашақтағы өзгерістерін болжау және өңірдегі климаттың өзгеруіне бейімделу стратегияларын жетілдіру мақсатында пайдаланылуы мүмкін.

Түйін сөздер: өзен алабы, климаттың өзгеруі, сезімталдықты талдау, ішінара корреляция, өзен ағыны.

Г.М. Искалиева^{1*}, Н.Қ. Сыдық¹, М.С. Сағат¹,
Ә.А. Амангелді¹, Ш.С. Ескалиева²

¹ ТОО «Институт ионосферы», Алматы, Казахстан

² Казахский национальный педагогический университет имени Абая, Алматы, Казахстан

*e-mail: gulnara.iskaliyeva@ionos.kz

Анализ чувствительности речного стока Сырдарьи к изменению климата

Речной сток напрямую зависит от климатических условий (например, температуры, осадков и испарения), которые влияют на водный баланс в масштабе водосборных бассейнов. Настоящая работа была проведена для исследования влияния изменения климата на сток в бассейне реки Сырдарья, Центральная Азия. Для оценки влияния климатических изменений на сток были изучены временные тенденции стока с использованием чувствительности стока к осадкам, температуре и потенциальному испарению, а индекс засушливости был оценен с помощью модифицированного метода климатической эластичности. Результаты показали, что средние коэффициенты чувствительности стока к осадкам и потенциальному испарению составили 2,4 и -1,4, а чувствительность к температуре -0,8 соответственно, что указывает на то, что увеличение осадков или потенциального испарения на 10% приведет к увеличению стока на 24% или уменьшению на 14% соответственно. Кроме того, средний коэффициент чувствительности стока к индексу засушливости варьировался от 0,65 до 2,8. Средние коэффициенты чувствительности стока к климатическим изменениям, по-видимому, имели обратную зависимость от коэффициента стока, показывая, что чем ниже становится речной сток в бассейне, тем чувствительнее сток к климатическим изменениям. Полученные результаты подтверждают высокую чувствительность речного стока бассейна Сырдарьи к климатическим изменениям. Установлено, что атмосферные осадки оказывают наибольшее влияние на формирование стока, тогда как увеличение потенциального испарения способствует снижению водности бассейна. Полученные оценки могут быть использованы для прогнозирования изменений водных ресурсов региона.

Ключевые слова: речной бассейн, климатические изменения, анализ чувствительности, частичная корреляция, речной сток.

Introduction

River runoff is a key indicator of renewable water resources and plays a critical role in both human and natural systems. Any significant change in runoff has significant social, ecological and environmental consequences. Climate change significantly impacts river runoff, with sensitivity varying across regions and seasons. Studies have shown that runoff is generally more sensitive to changes in precipitation than temperature (Yao et al., 2012). The runoff elasticity (ratio of runoff change to precipitation change) typically ranges from one to three, while runoff temperature sensitivity indicates decreases of 2-6% per degree Celsius warming in many basins (Tang & Lettenmaier, 2012). Arid and semi-arid regions often exhibit higher sensitivity to climate changes (Tang & Lettenmaier, 2012; Chen et al., 2024). The significant reduction of glacier areas in Central Asia, where glaciers are the main source of river feeding,

serve as an indicator of this (Nurakynov et al., 2023). Seasonal variations in sensitivity are also observed, with transitional and fall seasons showing greater sensitivity than wet seasons (Chen et al., 2024). The climate change water impact index (ICCWI) has been developed to detect temporal and spatial sensitivity of basin runoff. Additionally, the aridity index has been used to assess streamflow sensitivity, with a 10% increase in aridity potentially leading to a 25.3% decrease in streamflow (Wang et al., 2017).

Climatic elasticity methods have been widely used to assess climate change impact on river runoff (Andréassian et al., 2016; Sharifi et al., 2024; Kumar et al., 2016). The elasticity approach is comparable to more complex hydrological modeling methods for assessing climate variation effect on the long-time runoff changes (Mo et al., 2025). In the last three decennaries, the climatic elasticity approach has undergone some expansions. Authors of the work (Schaake et al., 1990) first probed the climate

elasticity of precipitation to basin runoff. In another work researchers (Fu et al., 2007; Liu et al., 2023) further combined precipitation and temperature together to evaluate runoff change. Using the analytical derivation based on the Budyko frame, authors (Yang & Yang, 2011) concluded the multiple climate elasticities to five climates indicators, i.e., precipitation, temperature, relative humidity, net radiation, and wind speed. Many studies, recently, have used multiple climatic elasticities to estimate the effect of climate on runoff in the historical period (Huang et al., 2016; Mandal et al., 2023). It is also a helpful approach for separating and quantifying the relative contributions of human activities and climate variation on runoff changes (Huang et al., 2024; Huang et al., 2025).

A major advantage of the sensitivity or elasticity method is the parsimony of data requirement. For example, to estimate ϵ_X , one requires only observations on the R-P-T relationship. Furthermore, the method can be implemented even with limited or no modeling experience. Finally, the results are in a form that is easily understood by stakeholders with different levels of scientific knowledge, making it a useful communication tool. Though this approach has its drawbacks. Even so, the approach has been shown to produce results that are of an order of accuracy comparable to many models and sufficient for most practical applications (Yang & Yang, 2011; Anderson et al., 2024; Seo et al., 2025). Reis et al. (2013) showed that climate elasticity estimates of river flow changes in the upstream Jaguaribe catchment closely matched those obtained from traditional statistical downscaling combined with hydrological modeling (Reis et al., 2013).

The current study primarily aims to identify the sensitivity of runoff to climate change in the Syrdarya River Basin. Understanding projections of future flow changes for the one of two largest river basins in Central Asia is critical to assessing the impacts of climate change on water resources.

The main objective of this study is to assess the sensitivity of streamflow to climate change in the Syrdarya River Basin. Understanding potential changes in streamflow is essential for evaluating climate change impacts on water resources in one of the largest transboundary river basins of Central Asia. The basin plays a critical role in supporting agricultural production, hydropower generation, and

domestic water supply across Kazakhstan, Kyrgyzstan, Tajikistan, and Uzbekistan.

Recent decades have been characterized by rising air temperatures, shifts in precipitation patterns, and accelerated glacier retreat in the Tien Shan Mountains (Yao et al., 2012; Nurakynov et al., 2023). These changes directly affect runoff formation and may alter regional water availability. Given the high degree of water resource utilization and increasing climate-related pressures, assessing streamflow sensitivity to precipitation, temperature, and potential evapotranspiration is essential for improving water resource management and developing climate adaptation strategies in the region.

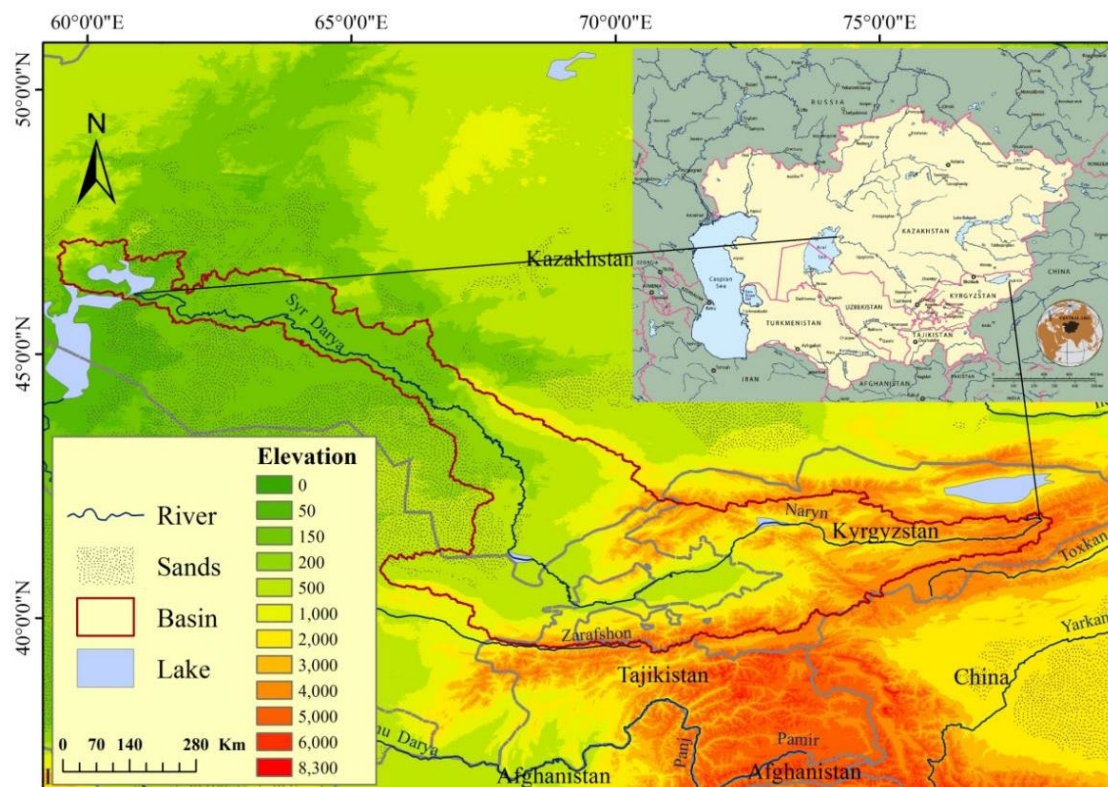
Study area

The Syrdarya River Basin (Figure 1) is one of the most important transboundary river basins in Central Asia, was selected as the study site for sensitivity analysis of runoff to climate and land-use changes. This basin stretches from 39°23'- 46° northern latitude and 61°-78°24' east longitudes and extends across an area of 219,000 km².

The river runoff is formed by melting glaciers and snow and therefore varies greatly both seasonally and from year to year. Extremes include dry years – they are characterized by droughts – and high-water years – they are characterized by floods; both phenomena are potentially dangerous for the basin economy. The functioning of reservoirs on the Naryn River (the main tributary located in Kyrgyzstan and Uzbekistan), especially the Toktogul reservoir in Kyrgyzstan, is critical for the provision of water to agricultural areas downstream (Fergana Valley and further downstream to Uzbekistan and Kazakhstan), as well as for upstream electricity production, mainly in Kyrgyzstan. About 90% of the average annual river flow is regulated by reservoirs. Most of the reservoirs are used mainly for irrigation and flood prevention (Pradhan et al., 2022; Shannon et al., 2023).

The river serves as a major source of water for agriculture, industry, domestic supply, and ecosystem functioning, and discharges huge amounts of precipitation and freshwater into the Northern Aral Sea, thereby regulating seawater levels and biogeochemical cycles (Pradhan et al., 2022; Wegerich et al., 2015).

Figure 1
Map of study area



Note: Compiled by the authors.

The land cover is dominated by arid and alpine vegetation – grasses and shrubs, which occupy about 78% of the basin area. Forests, covering about 8% of the area, are located on frontal alpine ridges exposed to the main winds and receiving more precipitation. About 7% are swamps, and up to 5% are bare land, cliffs, and other low-fertility areas. The remaining area is covered by bodies of water and perennial snow and glaciers.

Agricultural land use in the Syrdarya River Basin. The area of pastures is 280,000 km² (55% of the total basin area) and contains cattle, sheep, goats, pigs, horses and camels. The area of arable land is 35,000 km² (representing 8% of the basin area) and approximately 80% of this land is irrigated. It is important to note that orchards, vineyards and other types of cultivated land are excluded from this estimate. Much of the arable land is located in the Fergana Valley (including Jalal-Abad, Osh, Batken, Andijan, Namangan, Fergana, and Sughd provinces), which makes up about one-tenth of the basin and is home to about 55% of the population.

The main agricultural products in this region include wheat, potatoes and cotton (Savoskul et al., 2003; Pradhan et al., 2022).

Materials and methods

Data

Data from 19 meteorological stations located within the basin and the surrounding areas were selected. Also, average annual data on air temperature (T), precipitation (P) and potential evapotranspiration (PET) from 1930 to 2015 was collected with Climatic Research Union high resolution gridded datasets – CRU TS4.00 and Database for open use of observation results at meteorological stations of the RSE "Kazhydromet". Given the limited availability and lack of observations data over the Syrdarya Basin, this study used freely available datasets. The Climatic Research Union dataset (CRU) is chosen for several reasons. Firstly, the dataset is based on a large number of stations. The data covers all land areas of

the Earth. It includes mean daily temperature (TMP), diurnal temperature range (DTR), maximum and minimum air temperature (TMX and TMN), precipitation (P), vapor pressure (VAP), cloud cover (CLD), rain day counts (WET), ground frost frequency (FRS) and potential evapotranspiration (PET). The CRU dataset has 0.5° by 0.5° data resolution, based on meteorological measures (Harris et al. 2020).

Prior to analysis, all climatic variables were subjected to quality control procedures. Missing observations from meteorological stations were checked against neighboring stations and available gridded data where possible. Annual values of precipitation, air temperature, and potential evapotranspiration were calculated from monthly records to ensure temporal consistency with the climate elasticity framework, which is based on long-term annual averages.

To obtain basin-scale climatic characteristics, CRU TS grid cells located within the Syrdarya Basin were spatially averaged. The use of annual values reduces the influence of short-term variability and is consistent with the assumptions of long-term water balance analysis employed by the climate elasticity method.

Climatic elasticity method

We estimated the effect of climate variation on runoff using the climatic elasticity method of river runoff proposed by Schaake (Schaake et al. 2020). The sensitivity coefficient (ε_x) is determined by the proportional change in runoff (R) separated by the proportional change in a climate variable (X), such as potential evapotranspiration, temperature or precipitation (Hu et al. 2012), and is expressed as follows:

$$\varepsilon_x = \frac{\partial R/R}{\partial X/X} \quad (1)$$

namely:

$$\frac{\partial R}{\partial X} = \varepsilon_x \frac{R}{X} \quad (2)$$

In many previous studies, climate elasticity was estimated based on mean annual climatic variables (Dooge et al. 1999; Zheng et al. 2009; Arora et al. 2002). According to work (Arora et al. 2002), the change in basin runoff (R) may be explained as a function of the change in precipitation (P) minus potential evapotranspiration (PET):

$$\frac{\partial R}{R} = \frac{\partial P}{P} (1 + \beta) - \beta \quad (3)$$

where the factor β is the sensitivity index, the value of which is proportional to the aridity index (Arora et al. 2002):

$$\beta = \frac{\varphi f'(\varphi)}{1 - f(\varphi)} \quad (4)$$

where $f(\varphi)$ is the function of φ (orx) and the detailed expressions of $f(\varphi)$ are given in (Yang & Yang, 2011). The coefficient β may be considered as a sensitivity index in a broad sense. If only one of precipitation or potential evaporation changes, then a upwards value of β means a larger change in runoff.

From Eq. (4), the surface runoff elasticity to precipitation, may be explained as follows:

$$\varepsilon_p = \frac{[\partial R/R]}{[\partial P/P]} = 1 + \beta \quad (5)$$

$$\varepsilon_{Eo} = \frac{[\partial R/R]}{[\partial PET/PET]} = -\beta \quad (6)$$

And, the surface runoff elasticity to temperature can be calculated according to research (Grijnsen et al. 2013) as:

$$\varepsilon_T = \frac{[\partial R/R]}{[\partial T/T]} = \varepsilon_p * \frac{[\partial PET]}{[\partial T]} \quad (7)$$

The obtained sensitivity coefficients were used to assess the response of streamflow to changes in climatic factors. Higher absolute values of the coefficients indicate a stronger influence of the corresponding climatic variable on streamflow generation.

Methodological Uncertainties and Limitations

Although the climate elasticity method offers a parsimonious alternative to complex hydrological models, it has several inherent limitations. First, the climate elasticity approach assumes long-term equilibrium conditions and does not explicitly represent processes such as snow and glacier melt, groundwater interactions, or reservoir regulation. Thus, the coefficients reflect integrated basin-scale responses rather than detailed hydrological mechanisms. Second, climatic inputs were derived

from the CRU TS dataset with a spatial resolution of 0.5° . Although this dataset is widely used and provides one of the longest and most consistent climate records available for Central Asia, uncertainties remain in mountainous regions where meteorological observations are sparse and climatic gradients are strong. However, it remains one of the most consistent long-term climate datasets available for Central Asia (Guo et al., 2018). Third, reservoir regulation and irrigation withdrawals may influence the climate–runoff relationships estimated by the elasticity approach. Despite these limitations, the approach remains robust for first-order assessments of long-term climatic impacts (Yang & Yang, 2011).

Although the climate elasticity approach provides a practical and parsimonious framework for evaluating long-term streamflow responses to climatic variability, several limitations should be acknowledged.

Compared with physically based hydrological models such as SWAT, VIC, HBV, or WEAP, the climate elasticity method requires substantially fewer input data and calibration parameters, making it particularly suitable for data-scarce regions. However, it should be regarded as a first-order

assessment tool rather than a substitute for process-based hydrological modeling. Future studies may benefit from combining climate elasticity analysis with physically based modeling approaches to better quantify the impacts of glacier retreat, reservoir regulation, and future climate scenarios on water resources in the Syrdarya Basin.

Results and discussion

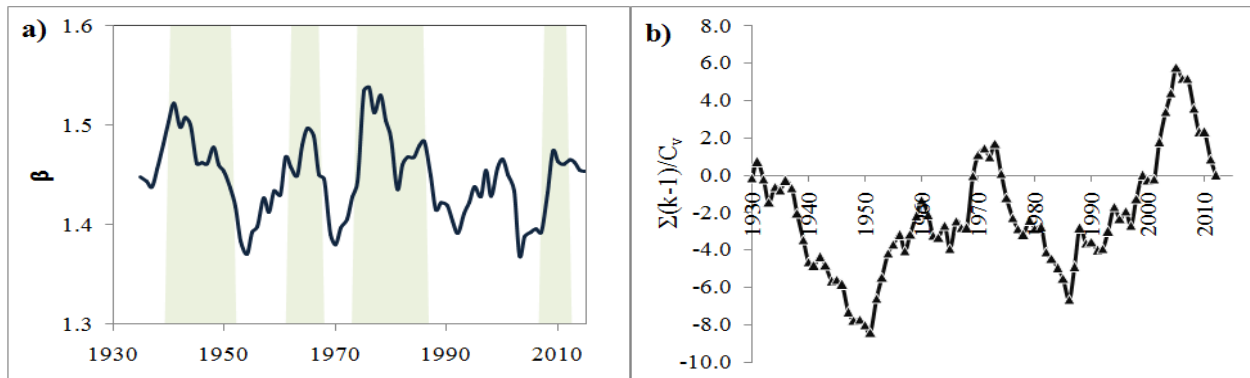
Sensitivity index in the basin

The arid region is totally a water-limited area due to both limited water input (low precipitation) and high temperatures, which act to grow PET. On average, the Syrdarya Basin as a whole is water-limited, because more than half its area falls into arid zone with limited water yields.

The average value of the sensitivity coefficient varied from 0.65 to 2.8 in the Syrdarya River Basin. The arid areas are very sensitive $\beta > 1$ and show very low discharges ($\frac{R}{P} < 1$). It should be noted that the sensitivity coefficient changes over time; it is lower during high water phases and higher during low water periods (Figure 2).

Figure 2

Temporal variation of the basin sensitivity coefficient during 1930–2015 (a) and corresponding difference integral curve of annual runoff (b). Grey shaded areas indicate low-flow periods identified from runoff records



Note: Compiled by the authors.

As Figure 2a shows, the sensitivity index varies greatly from year to year. Moreover, the sensitivity index increases in the low-water period, which occurred in the basin in 1939–1951, 1962–1967, 1974–1987 and 2008–2012. Also, during the high-water flow phases decreases. The periods of high and low water flows indicated in Figure 2b,

$\Sigma(k-1)/Cv$ – the current ordinates of the difference integral curve showed that there were cycles of different duration in the annual average runoff fluctuations. During the low water flow periods overall average of the sensitivity index was 1.49. Within the high-water periods, sensitivity index was about 1.39.

The Sensitivity of Runoff to P, PET and T

To assess the impact of climate variation on river runoff, most researchers have applied the concept of climate elasticity to investigate the runoff response to climate change (e.g., precipitation and potential evapotranspiration, temperature). The sensitivity of runoff to precipitation, PET and temperature is determined using Eqs. 5, 6 and 7, respectively. The precipitation, PET and temperature elasticity of the watershed in the Syrdarya River Basin are listed in Table 1. The values of ε_p for the basin were 1.65 to 3.76, with means of 2.4. The values of ε_{EO} for the basin were -0.65 to -3.76 and ε_T for

the basin were -0.45 to -1.66. The signs of ε_p , ε_{EO} and ε_T indicate that the runoff is expected to have a positive trend with an increase in precipitation, but a negative trend with an increase in PET and temperature. The findings also show that a 10% growth in precipitation would result in a 24% growth in the runoff, while a 10% increase in PET and T°C would induce a 13% and 8% decrease in runoff, respectively. As displayed in Table 1, the value of precipitation elasticity (ε_p) is much larger than other climate variable elasticities, shows that runoff is more sensitive to precipitation than to other climate variables (i.e., PET and temperature).

Table 1
Elasticity of precipitation, potential evapotranspiration and temperature to river runoff

Coefficient	Stations					
	Namagan	Keles	Tomenaryk	Naryn	Chinaz	Arys
ε_p	2.05	2.12	3.76	1.65	1.74	2.93
ε_{EO}	-1.05	-1.12	-2.76	-0.65	-0.74	-1.93
ε_T	-0.63	-0.67	-1.66	-0.39	-0.45	-1.16

A correlation analysis was used to further investigate the relationships between precipitation, PET, T and runoff. As shown in Table 2, the positive correlation between precipitation and R ($\rho_{P,R}$) and the negative correlation between PET and R ($\rho_{PET,R}$) are statistically significant at the 0.05 level, which suggests that the runoff will increase or decrease with an increase or decrease in precipitation, but decrease or increase with an increase or decrease in PET.

Furthermore, a value of $\rho_{P,R}$ greater than $\rho_{PET,R}$ and $\rho_{T,R}$ for the Syrdarya River basin indicates that the impact of precipitation on runoff is more important than that of PET and temperature. The correlation coefficient between temperature and PET ($\rho_{T,PET}$) is statistically significant at the 0.01 level, indicating that the interactions between temperature and PET are stronger. Whereas, the relationship between precipitation and PET ($\rho_{P,PET}$) are good. Eliminating the effects of PET (precipitation) on runoff, the partial correlation coefficients $\rho_{P,R-PET-T}$ ($\rho_{PET,R-P-T}$ and $\rho_{T,R-P-PET}$) between precipitation and runoff (between PET, temperature and runoff) are also exposed in Table 2. As observed from the table, the differences between $\rho_{P,R}$ and $\rho_{P,R-PET}$ are smaller,

while the differences between $\rho_{PET,R}$ and $\rho_{PET,R-P-T}$ are greater. However, it can also be noted that the downstream of the river basin are less correlated with precipitation, while the relationship with PET is higher. This can be explained by the fact that in the lower part of the basin there are almost no tributaries.

Table 2
Coefficients of correlation and partial correlation among climate variables and river

Coefficients	Value		
	Upper	Middle	Lower
$\rho_{P,PET}$	-0.59	-0.41	-0.33
$\rho_{T,PET}$	0.47	0.52	0.57
$\rho_{T,P}$	-0.03	-0.07	-0.01
$\rho_{P,R}$	0.55	0.61	0.33
$\rho_{PET,R}$	-0.37	-0.39	-0.43
$\rho_{T,R}$	-0.01	-0.07	-0.13
$\rho_{P,R-T-PET}$	0.40	0.48	0.18
$\rho_{PET,R-P-T}$	-0.12	-0.25	-0.40
$\rho_{T,R-P-PET}$	-0.09	-0.12	-0.14

The correlation analysis results provide further insight into the relationships between climatic variables and streamflow. The strongest relationship was observed between precipitation and streamflow. Positive correlation coefficients confirm the dominant role of atmospheric moisture input in the formation of water resources within the basin. Since most of the Syrdarya Basin is located in arid and semi-arid environments, additional precipitation contributes directly to both surface and subsurface runoff generation.

Potential evapotranspiration exhibited a consistent negative relationship with streamflow. This pattern can be explained by increased water losses from soil surfaces, vegetation, and water bodies under higher evaporative demand, resulting in a reduced volume of water available for runoff generation. Similar findings have been reported for the Nile River Basin, the Luan River Basin, and several catchments in North America (Hasan et al., 2018; Wang and He, 2017; Sankarasubramanian et al., 2001).

The relatively weak relationship between air temperature and streamflow is primarily associated with the indirect influence of temperature on hydrological processes. In most cases, temperature affects runoff through its impact on potential evapotranspiration and the overall basin water balance. Consequently, the correlation between temperature and streamflow is considerably weaker than that between precipitation and streamflow.

Spatial variability was also evident within the basin. In the upper reaches, streamflow formation is largely controlled by snow and glacier melt as well as precipitation inputs. In the lower reaches, the influence of evapotranspiration and water management practices becomes more pronounced, leading to a weaker precipitation–streamflow relationship and a greater contribution of potential evapotranspiration. Similar spatial patterns have been documented in many large transboundary river basins located in arid regions.

The estimation of elasticity

Climate elasticity, are widely used for the quantitative evaluation of the effects of climate change on river runoff in different regions of the world. The physically based hydrological models are able to represent the complex spatial-temporal variations in evapotranspiration, soil moisture, and

runoff (Sankarasubramanian et al., 2001), and this method is by far the most common. However, this approach has uncertainties in the structure and the parameters of the models and may sometimes lead to a significant bias in reflecting the response of runoff to climate change if the model is not well validated (Ten et al. 2025). An alternative method based on climate elasticity of river runoff has been tested and found to be relatively more effective and simpler than hydrological modeling in a number of studies, and this method yields the overall change in runoff in a basin with fewer data and parameters (Wijekoon et al., 2022; Hu et al., 2012).

Changes in precipitation, temperature and PET can influence the annual streamflow. In catchment, from a water balance perspective, the annual runoff depends on the difference between the annual amount of precipitation and evapotranspiration. In the present study, the ratio of the sensitivity coefficient of runoff to P (2.4) is larger than the ratio of runoff to PET (-1.4) and T (-0.8), which indicates that the basin is more sensitive to precipitation, which has a greater capacity to impact the runoff. As shown in Table 2, the partial correlation results indicate that the effects of precipitation on runoff are independently related to the lesser effects of PET, while the effects of PET on runoff depend on the greater precipitation effects.

To date, relatively few studies have applied the climate elasticity approach to the Syrdarya River Basin and other major river systems in Central Asia. Nevertheless, the obtained estimates were compared with results reported for other arid and semi-arid river basins. All of the results of this study are similar to those of other studies (Hasan et al., 2018; Andréassian et al., 2025) the effects of the available water (precipitation) on river runoff are greater, while the potential evapotranspiration (which reflects the energy conditions) has a smaller effect. This is in good agreement with the findings by the authors of the work (Sankarasubramanian et al., 2001), which indicated that a larger P elasticity occurs in more arid regions.

Similar patterns of high precipitation elasticity have been observed in other arid and semi-arid regions worldwide. Studies in Australia have reported ϵ_p values ranging from 2.0 to >3.0 in water-limited catchments (Chiew 2006). In the Nile Basin, precipitation elasticity typically exceeds 2.0 in arid sub-basins, whereas humid headwaters show $\epsilon_p < 1$

(Hasan et al., 2018). At the global scale, basins with an aridity index > 1 (water-limited) generally have ε_p exceeding approximately 2 (Tang et al., 2020).

The obtained results are consistent with findings reported for other water-limited river basins worldwide. For example, a study of five river basins in south-eastern Brazil demonstrated that streamflow is highly sensitive to changes in precipitation and potential evapotranspiration, with streamflow responses increasing under long-term climatic shifts (Deusdará-Leal et al., 2022). The authors reported that a 1% decrease in precipitation resulted in a 1.21–2.19% reduction in streamflow, while increasing potential evapotranspiration contributed to additional runoff declines. Similar to the Syrdarya Basin, precipitation was identified as the dominant driver of streamflow variability, and the sensitivity of runoff increased under drier climatic conditions. These similarities suggest that despite differences in climate and physiographic settings, water-limited basins exhibit comparable hydrological responses to climatic variability.

The results indicate a strong dependence of water resources in the Syrdarya River Basin on climatic factors. Precipitation was identified as the dominant driver of streamflow formation. The mean precipitation sensitivity coefficient was 2.4, indicating a substantial streamflow response even to relatively small changes in atmospheric moisture input. This relationship is particularly important for water-scarce regions of Central Asia, where the Syrdarya serves as a critical source of water for irrigation, domestic supply, and energy production.

According to the obtained results, a 10% decrease in precipitation may result in an approximately 24% reduction in streamflow, whereas a 10% increase in potential evapotranspiration may reduce streamflow by about 14%. These findings highlight the vulnerability of the basin to increasing aridity and ongoing climatic changes. An additional source of uncertainty is the continued glacier retreat in the Tien Shan Mountains, which may further increase the dependence of streamflow on precipitation and interannual climate variability in the future.

The derived sensitivity coefficients can be used for preliminary assessments of potential changes in water availability under different climate scenarios and may support the development of adaptation strategies for regional water resource management.

The climate elasticity approach has been widely applied to assess the impacts of climate change on water resources due to its relatively modest data requirements and its ability to quantify streamflow responses to climatic variability (Schaake, 1990; Andréassian et al., 2016). Previous studies conducted in various river basins worldwide have shown that streamflow in arid and semi-arid regions is generally more sensitive to changes in precipitation than to changes in air temperature or potential evapotranspiration (Sankarasubramanian et al., 2001; Arora, 2002; Hasan et al., 2018).

The sensitivity coefficients obtained for the Syrdarya River Basin are consistent with patterns reported for other arid river basins. Similar to many comparable regions, precipitation represents the primary control on streamflow generation, whereas the influence of temperature is expressed mainly through its effect on potential evapotranspiration and basin water balance (Yang and Yang, 2011; Hu et al., 2012; Wang and He, 2017). The agreement between the present results and previously published studies supports the reliability of the estimates and demonstrates the applicability of the climate elasticity approach for evaluating the response of water resources in the Syrdarya Basin to climate change.

The results also have important implications for transboundary water resource management in Central Asia. The Syr Darya River is shared by Kazakhstan, Kyrgyzstan, Tajikistan, and Uzbekistan, and supports irrigation, hydropower production, and domestic water supply across the region. The high sensitivity of streamflow to precipitation indicates that even relatively small changes in climatic conditions may lead to substantial changes in water availability. Consequently, future reductions in precipitation or increases in evaporative demand could intensify existing competition among water users, particularly during low-flow periods.

The obtained sensitivity coefficients may serve as a useful tool for preliminary assessments of climate-related water risks and can support the development of adaptation strategies, including improved reservoir operation, enhancement of water-use efficiency in irrigated agriculture, and strengthening of regional cooperation on transboundary water allocation. Given the projected warming and continued glacier retreat in the Tien

Shan Mountains, proactive adaptation measures will be increasingly important for maintaining water security and sustainable socioeconomic development throughout the Syr Darya Basin.

Conclusions

The obtained results are generally consistent with findings reported by physically based hydrological modeling studies conducted in climatically similar river basins.

Changes in runoff are an important part of the hydrological cycle and are affected by many factors, and a complicated feedback to climate change exists. Because of the intimate linkage between hydrology and climate, this relationship can be used as an indicator of climate change. In this investigation, the concept of the climate elasticity of basin runoff has been applied to quantify the sensitivity of runoff to climate change. The conclusions may be compiled as follows:

1) Precipitation and PET are the most important meteorological variables influencing changes in river runoff. Runoff was positively correlated with precipitation but negatively correlated with PET and temperature, and the runoff-precipitation relationships were stronger than the runoff-PET and runoff-temperature relationships.

2) The average ε_p , ε_{E0} and ε_T were 2.4, -1.4 and -0.8, respectively, which indicated that a 10% increase in precipitation or PET or temperature would lead to a 24% increase or a 14% and 8 % decrease in runoff, respectively.

3) The average value of the sensitivity coefficient varied from 0.65 to 2.8 in the Syrdarya River Basin. The arid regions are very sensitive $\beta > 1$ and show very low runoff ($\frac{R}{P} < 1$). It should be stated that the sensitivity coefficient changes over the period; it is lower during high water phases and higher during low water phases.

In general, although in many cases, more accurate estimates on the influences of climate variation to runoff for a particular region still need physically-based hydrological modeling, the results here show the robust of the simple tool of climatic elasticity, which allows for providing a helpful overview of the response of long-time runoff to climate variation in the study area.

The obtained results provide a basis for assessing potential changes in water availability in the Syrdarya River Basin and can support the development of regional climate adaptation policies and sustainable transboundary water resource management in Central Asia.

Acknowledgement

This research is funded by the Science Committee of the Ministry of Science and Higher Education of the Republic of Kazakhstan (Grant No. AP26102589).

Conflict of interest

There is no conflict of interest.

Author Contributions

Conceptualization, Isklayeva G. and Sydyk N.; Methodology, Isklayeva G. and Sydyk N.; Software, Amangelgi A.; Validation, Amangelgi A., Sagat M. and Eskaliyeva Sh.; Formal Analysis, Sagat M.; Investigation, Isklayeva G. and Sagat M.; Resources, Eskaliyeva Sh.; Data Curation, Amangelgi A. and Eskaliyeva Sh.; Writing – Original Draft Preparation, Isklayeva G. and Sydyk N.; Writing – Review & Editing, A.A., Sagat M. and Eskaliyeva Sh.; Visualization, Sagat M.; Supervision, Isklayeva G.; Project Administration, Sydyk N.; Funding Acquisition, Sydyk N.

References

- Anderson, B. J., Brunner, M. I., Slater, L. J., & Dadson, S. J. (2024). Elasticity curves describe streamflow sensitivity to precipitation across the entire flow distribution. *Hydrology and Earth System Sciences*, 28(7), 1567-1583. DOI:10.5194/hess-28-1567-2024.
- Andréassian, V., Coron, L., Lerat, J., & Le Moine, N. (2016). Climate elasticity of streamflow revisited—an elasticity index based on long-term hydrometeorological records. *Hydrology and Earth System Sciences*, 20(11), 4503-4524. DOI:10.5194/hess-20-4503-2016.

- Andréassian, V., Guimarães, G. M., de Lavenne, A., & Lerat, J. (2025). Time shift between precipitation and evaporation has more impact on annual streamflow variability than the elasticity of potential evaporation. *Hydrology and Earth System Sciences*, 29(20), 5477-5491. DOI: 10.5194/hess-29-5477-2025.
- Arora, V. K. (2002). The use of the aridity index to assess climate change effect on annual runoff. *Journal of hydrology*, 265(1-4), 164-177.
- Chen, J., Yang, H., Jin, T., & Wu, K. (2024). Assessment of terrestrial ecosystem sensitivity to climate change in arid, semi-arid, sub-humid, and humid regions using EVI, LAI, and SIF products. *Ecological Indicators*, 158, 111511. DOI:10.1016/j.ecolind.2023.111511
- Chiew, F. H. (2006). Estimation of rainfall elasticity of streamflow in Australia. *Hydrological Sciences Journal*, 51(4), 613-625.
- Deusdará-Leal, K., Mohor, G. S., Cuartas, L. A., Seluchi, M. E., Marengo, J. A., Zhang, R., & Gonçalves, J. A. (2022). Trends and climate elasticity of streamflow in south-eastern Brazil basins. *Water*, 14(14), 2245..
- Dooge, J. C. I., Bruen, M., & Parmentier, B. (1999). A simple model for estimating the sensitivity of runoff to long-term changes in precipitation without a change in vegetation. *Advances in water resources*, 23(2), 153-163. DOI:10.1016/S0309-1708(99)00019-6
- Erikson, C. M., Renshaw, C. E., Dethier, E. N., & Magilligan, F. J. (2025). Watershed-Scale Runoff Efficiency Response to Climate Variability. *Hydrological Processes*, 39(2), e70086. DOI:10.1002/hyp.70086
- Fu, G., Charles, S. P., & Chiew, F. H. (2007). A two-parameter climate elasticity of streamflow index to assess climate change effects on annual streamflow. *Water Resources Research*, 43(11). DOI:10.1029/2007WR005890.
- Grijsen, J. G., Tarhule, A., Brown, C., Ghile, Y. B., Taner, Ü., Talbi-Jordan, A., & Harshadeep, N. (2013). Development in the Niger River Basin Part II: Runoff Elasticity and Probabilistic Analysis. *Climate Variability: Regional and Thematic Patterns*, 57.
- Guo, H., Bao, A., Liu, T., Ndayisaba, F., Jiang, L., Kurban, A., & De Maeyer, P. (2018). Spatial and temporal characteristics of droughts in Central Asia during 1966–2015. *Science of the total environment*, 624, 1523-1538. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2017.12.120.
- Harris, I., Osborn, T. J., Jones, P., & Lister, D. (2020). Version 4 of the CRU TS monthly high-resolution gridded multivariate climate dataset. *Scientific data*, 7(1), 109. DOI:10.1038/s41597-020-0453-3.
- Hasan, E., Tarhule, A., Kirstetter, P. E., Clark III, R., & Hong, Y. (2018). Runoff sensitivity to climate change in the Nile River Basin. *Journal of hydrology*, 561, 312-321.
- Hu, S.; Liu, C.; Zheng, H.; Wang, Z.; Yu, J. Assessing the Impacts of Climate Variability and Human Activities on Streamflow in the Water Source Area of Baiyangdian Lake. *Journal of Geographical Sciences* 2012, 22, 895–905.
- Hu, S., Liu, C., Zheng, H., Wang, Z., & Yu, J. (2012). Assessing the impacts of climate variability and human activities on streamflow in the water source area of Baiyangdian Lake. *Journal of Geographical Sciences*, 22(5), 895-905. DOI: 10.3390/w17101538.
- Huang, Y., Zhang, K., Chao, L., Shi, W., & Huang, B. (2024). Development of a comprehensive framework for quantifying the collective and individual influence of climate change and human activities on hydrological regimes. *Ecological Indicators*, 166, 112487. DOI: 10.1016/j.ecolind.2024.112487
- Huang, Z., Yang, H., & Yang, D. (2016). Dominant climatic factors driving annual runoff changes at the catchment scale across China. *Hydrology and Earth System Sciences*, 20(7), 2573-2587. DOI:10.5194/hess-20-2573-2016.
- Kumar, S., Zwiers, F., Dirmeyer, P. A., Lawrence, D. M., Shrestha, R., & Werner, A. T. (2016). Terrestrial contribution to the heterogeneity in hydrological changes under global warming. *Water Resources Research*, 52(4), 3127-3142. DOI:10.1002/2016WR018607.
- Liu, Y., Guan, Z., Huang, T., Wang, C., Guan, R., & Ma, X. (2023). Combined effects of land use/cover change and climate change on runoff in the Jinghe River Basin, China. *Atmosphere*, 14(8), 1237. doi:10.3390/atmos14081237
- Mandal, N., & Chanda, K. (2023). Contribution of climate and catchment characteristics to runoff variations in Indian river basins: a climate elasticity approach. *Hydrological Sciences Journal*, 68(12), 1693-1710. DOI:10.1080/02626667.2023.2236092.
- Mo, L., Yu, X., Feng, Y., & Jiang, T. (2025). Runoff Variations and Quantitative Analysis in the Qinghai Lake Basin Under Changing Environments. *Hydrology*, 12(4), 94. DOI: 10.3390/hydrology12040094
- Nurakynov, S., Kaldybayev, A., Zulpykharov, K., Sydyk, N., Merekeyev, A., Chepashev, D., ... & Fang, G. (2023). Accelerated glacier area loss in the Zhetysu (Dzhungar) Alatau Range (Tien Shan) for the Period of 1956–2016. *Remote Sensing*, 15(8), 2133. DOI:10.3390/rs15082133.
- Pradhan, R. (2022). Natural resources and violent conflicts: water and energy in Kyrgyzstan. *Journal of Asian and African Studies*, 57(4), 650-666. DOI: 10.1177/0021909621103516.
- Junior, D. R., Cerqueira, C. M., Vieira, R. F., & Martins, E. S. (2013). Budyko's Framework and Climate Elasticity Concept in the Estimation of Climate Change Impacts on the Long-Term Mean Annual Streamflow. In *World Environmental and Water Resources Congress 2013: Showcasing the Future* (pp. 1110-1120).
- Sankarasubramanian, A., Vogel, R. M., & Limbrunner, J. F. (2001). Climate elasticity of streamflow in the United States. *Water Resources Research*, 37(6), 1771-1781.
- Savoskul, O. S., Chevina, E. V., Perziger, F. I., Vasilina, L. Y., Baburin, V. L., Danshin, A. I., & Murakaev, R. R. (2003). Water, climate, food, and environment in the Syr Darya Basin. *Contribution to the project ADAPT, Adaptation strategies to changing environments*.

- Schaake, J. C. (1990). From climate to flow, chap. 8. *Climate Change and US Water Resources*. John Wiley, New York, 177-206.
- Seo, J., Choi, S., Keum, J., Lim, J., Yang, H., & Kim, S. (2025). Hydrological sensitivity of mountainous wetlands to precipitation and potential evapotranspiration using elasticity curves. *Ecological Engineering*, 212, 107542. DOI:10.1016/j.ecoleng.2025.107542.
- Shannon, S., Payne, A., Freer, J., Coxon, G., Kauzlaric, M., Kriegel, D., & Harrison, S. (2023). A snow and glacier hydrological model for large catchments—case study for the Naryn River, central Asia. *Hydrology and Earth System Sciences*, 27(2), 453-480. doi:10.5194/hess-27-453-2023.
- Sharifi, A., Mirabbasi, R., Nasr-Esfahani, M. A., Haghighi, A. T., & Nafchi, R. F. (2021). Quantifying the impacts of anthropogenic changes and climate variability on runoff changes in central plateau of Iran using nine methods. *Journal of Hydrology*, 603, 127045. doi:10.1016/j.jhydrol.2021.127045
- Tang, Q., & Lettenmaier, D. P. (2012). 21st century runoff sensitivities of major global river basins. *Geophysical Research Letters*, 39(6). doi:10.1029/2011GL050834.
- Tang, Y., Tang, Q., & Zhang, L. (2020). Derivation of interannual climate elasticity of streamflow. *Water Resources Research*, 56(11), e2020WR027703.
- Ten Berge, A. A., Booij, M. J., & Rientjes, T. H. (2025). Robustness of hydrological models for simulating impacts of climate change on high and low streamflow. *Journal of Hydrology*, 662, 133734. DOI:10.1016/j.jhydrol.2025.133734
- Wang, H., & He, K. (2017). Sensitivity Analysis of the Effects of Climate Change on Streamflow Using Climate Elasticity in the Luan River Basin, China. *Polish Journal of Environmental Studies*, 26(2). doi:10.15244/pjoes/66715.
- Wegerich, K., Van Rooijen, D., Soliev, I., & Mukhamedova, N. (2015). Water security in the Syr Darya basin. *Water*, 7(9), 4657-4684. DOI:10.3390/w7094657.
- Wijekoon, T., & Rajapakse, L. (2022, July). Climate elasticity of runoff in Kalu and Kelani River Basins in the wet zone of Sri Lanka. In 2022 *Moratuwa Engineering Research Conference (MERCon)* (pp. 1-6). IEEE. DOI: 10.1109/MERCon55799.2022.9906179.
- Yang, H., & Yang, D. (2011) Derivation of Climate Elasticity of Runoff to Assess the Effects of Climate Change on Annual Runoff. *Water Resources Research*, 47, DOI:10.1029/2010WR009287.
- Yao, T., Thompson, L., Yang, W., Yu, W., Gao, Y., Guo, X., ... & Joswiak, D. (2012). Different glacier status with atmospheric circulations in Tibetan Plateau and surroundings. *Nature climate change*, 2(9), 663-667. DOI:10.1038/nclimate1580.
- Zheng, H., Zhang, L., Zhu, R., Liu, C., Sato, Y., & Fukushima, Y. (2009). Responses of streamflow to climate and land surface change in the headwaters of the Yellow River Basin. *Water resources research*, 45(7). DOI:10.1029/2007WR006665.

Information about the authors:

Iskaliyeva Gulnara Maratovna (corresponding author) – leading researcher of the LLP «Institute of ionosphere» (Almaty, Kazakhstan, e-mail: gulnara.iskaliyeva@ionos.kz).

Sydyk Nurmakhambet Kanatuly – Head of the laboratory at LLP «Institute of ionosphere» (Almaty, Kazakhstan, e-mail: nurmahambet.s@gmail.com).

Sagat Madina Sakenkyzy – engineer of the LLP «Institute of ionosphere» (Almaty, Kazakhstan, e-mail: sagat.madinal@gmail.com).

Amangeldi Alima Azamatkyzy – engineer of the LLP «Institute of ionosphere» (Almaty, Kazakhstan, e-mail: amangeldialimma@gmail.com).

Eskaliyeva Sholpan Samatkyzy – Teacher of the Kazakh National Pedagogical University named after Abai (Almaty, Kazakhstan, e-mail: eskaliev0409@mail.ru).

Авторлар туралы мәлімет:

Искалиева Гульнара Маратовна (корреспонденттік автор) – Қазақ ұлттық аграрлық зерттеу университетінің PhD докторанты, Ионосфера институтының жетекші ғылыми қызметкері (Алматы, Қазақстан, e-mail: gulnara.iskaliyeva@ionos.kz).

Сыдық Нұрмахамбет Қанатұлы – «Ионосфера институты» ЖШС лаборатория меңгерушісі (Алматы, Қазақстан, e-mail: nurmahambet.s@gmail.com).

Сағат Мәдина Сәкенқызы – инженер ТОО «Институт ионосферы» (Алматы, Қазақстан, e-mail: sagat.madinal@gmail.com).

Амангелді Әлима Азаматқызы – Ионосфера институты инженері (Алматы, Қазақстан, e-mail: amangeldialimma@gmail.com).

Ескалиева Шолпан Саматқызы – Абай атындағы Қазақ ұлттық педагогикалық университеті оқытушы, (Алматы, Қазақстан, e-mail: eskaliev0409@mail.ru).

Сведения об авторах:

Искалиева Гульнара Маратовна (автор-корреспондент) – PhD докторант НАО «Казахский национальный аграрный исследовательский университет», ведущий научный сотрудник Института ионосферы (Алматы, Казахстан, e-mail: gulnara.iskaliyeva@ionos.kz).

Сыдық Нұрмахамбет Қанатұлы – Заведующий лабораторией ТОО «Институт ионосферы» (г.Алматы, Казахстан, e-mail: nurmahambet.s@gmail.com).

Сағат Мәдина Сәкенқызы – «Ионосфера институты» ЖШС инженері (Алматы, Қазақстан, e-mail: sagat.madinal@gmail.com).

Амангелді Әлима Азаматқызы – инженер ТОО «Институт ионосферы» (г.Алматы, Казахстан, e-mail: amangeldialimma@gmail.com).

Есқалиева Шолпан Саматқызы – Преподаватель Казахского национального педагогического университета имени Абая, (Алматы, Казахстан, e-mail: eskalieva0409@mail.ru).

Received: March 29, 2026

Accepted: June 19, 2026

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**

A. Karabayeva^{1*}, A. Tazheкова², E. Atasoy³,
A. Utemissova¹, Z. Kozhabekova²

¹Al-Farabi Kazakh National University, Almaty, Kazakhstan

²South Kazakhstan Pedagogical University named after Uzbekali Zhanibekov, Shymkent, Kazakhstan

³Bursa Uludag University, Bursa, Turkey

*e-mail: Akmaralokmpi@mail.ru

ECOTOURISM AS AN EDUCATIONAL TOOL FOR PROMOTING ENVIRONMENTAL SUSTAINABILITY AMONG UNIVERSITY STUDENTS

Purpose: This study aims to determine the role of ecotourism as an educational tool in promoting environmental sustainability among university students. It explores the experiential and emotional educational potential of ecotourism grounded in the theories of sustainable development, eco-education, and experiential learning.

Research methodology: A mixed-methods research design was utilized, combining qualitative thematic analysis of semi-structured interviews with longitudinal quantitative analysis across four semesters (G1–G4). A sample of 100 students completed an Environmental Sustainability Metrics (ESM) questionnaire. Quantitative data were analyzed using Repeated Measures ANOVA, t-tests, regression analysis, and Structural Equation Modeling (SEM).

Findings: Ecotourism programs led to statistically significant, sustained increases in environmental knowledge ($p < 0.01$) and ecological values ($p < 0.001$) over four semesters. Structural Equation Modeling revealed that environmental values had a stronger direct effect on sustainable behavior ($\beta = 0.47$) than knowledge did ($\beta = 0.31$). Additionally, geography students scored higher than economics students, highlighting the impact of educational context and institutional support. Qualitative analysis reinforced these findings, identifying core themes such as “sustainable attitude change” alongside “contextual barriers.”

Originality: This study demonstrates that ecotourism serves as a highly effective higher education strategy for fostering environmental awareness. It uniquely bridges theory and practice by offering concrete curricular recommendations, including the development of interfaculty programs, the creation of sustainability-oriented campus infrastructure, and the implementation of community-based service-learning projects.

Keywords: ecotourism, environmental sustainability, higher education, experiential learning, students.

А. Карабаева^{1*}, А. Тажекова², Э. Атацой³,
А. Утемисова¹, З.Е. Қожабекова²

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

²Өзбекәлі Жәнібеков атындағы Оңтүстік Қазақстан педагогикалық университеті, Шымкент, Қазақстан

³Бурса Улудаг университеті, Бурса, Түркия

*e-mail: Akmaralokmpi@mail.ru

Экотуризм жоғары оқу орындары студенттері арасында экологиялық тұрақтылықты ілгерілетуге арналған білім беру құралы ретінде

Бұл зерттеу жоғары оқу орындары студенттері арасында экологиялық тұрақтылықты ілгерілетуде экотуризмнің білім беру құралы ретіндегі рөлін анықтауға бағытталған. Жұмыс тұрақты даму, экобілім және тәжірибелік оқыту теорияларына сүйене отырып, экотуризмнің тәжірибелік және эмоционалды тәрбиелеу әлеуетін зерттейді. Зерттеу әдіснамасы ретінде аралас әдіс қолданылды: Экологиялық Тұрақтылық Өлшемдер Жиынтығы (ЕТӨЖ) бойынша сауалнама ($N=100$) және жартылай құрылымдалған сұхбаттар арқылы студенттердің экологиялық білім, құндылықтар және мінез-құлық көрсеткіштері лонгитюдтік түрде (T1–T4) бағаланды. Зерттеу жұмысының негізгі әдіснамасы ретінде сандық талдау – Repeated Measures ANOVA және t-тесті, Регрессиялық талдау және Құрылымдық Теңдеу Моделі (SEM) – қолданылды. Сонымен бір уақытта, сапалы талдау тақырыптық талдау әдісімен жүргізілді. Нәтижелерден байқағанымыздай,

экотуристік бағдарламалардың төрт семестр бойына студенттердің экологиялық білім ($p < 0.01$) және экологиялық құндылықтар ($p < 0.001$) деңгейлерінде айтарлықтай және тұрақты өсімге әкелетінін көрсетті. Бұл өзгерістер тәжірибелік оқыту теориясының принциптерімен сәйкес келеді. Нәтижелер тағы да барлық өлшемдер бойынша статистикалық мәнді оң өзгерістерді көрсетті, атап айтқанда тұрақты мінез-құлыққа экологиялық құндылықтардың ($\beta = 0.47$) білімге қарағанда ($\beta = 0.31$) күштірек әсер ететіні анықталды. Сонымен қатар география факультеті студенттерінің нәтижелері экономика факультеті студенттеріне қарағанда жоғары болды, бұл білім беру контексті мен институционалдық қолдаудың маңыздылығын көрсетеді. Сапалық талдау «тұрақты көзқарас өзгерісі» мен «контекстік кедергілер» сияқты негізгі тақырыптарды анықтады. Зерттеу экотуризмнің жоғары білім беруде экологиялық сананы нығайту үшін тиімді білім беру стратегиясы екенін дәлелдейді. Жұмыстың қорытындысы бойынша, экотуризмді оқу бағдарламаларына сәтті біріктіру үшін факультетаралық бағдарламаларды әзірлеу, тұрақтылыққа бағытталған инфрақұрылымды жасау және жергілікті қауымдастықтармен сервистік оқыту жобаларын енгізу ұсынылады.

Түйін сөздер: экотуризм, экологиялық тұрақтылық, жоғары білім, тәжірибелік оқыту, студенттер.

А. Карабаева^{1*}, А. Тажекова², Э. Атацой³,
А. Утемисова¹, З.Е. Қожабекова²

¹Казахский национальный университет им. аль-Фараби, Алматы, Казахстан

²Казахстанский педагогический университет им. Өзбекәлі Жәнібеков, Шымкент, Казахстан

³Университет Бурсы Улудаг, Бурса, Турция

*e-mail: Akmaralokmpi@mail.ru

Экотуризм как образовательный инструмент для продвижения экологической устойчивости среди студентов университетов

Целью данного исследования является определение роли экотуризма как образовательного инструмента в продвижении экологической устойчивости среди студентов университетов. В работе исследуется эмпирический и эмоциональный образовательный потенциал экотуризма, основанный на теориях устойчивого развития, экообразования и эмпирического обучения. В качестве методологии исследования использовался смешанный метод: экологические знания, ценности и поведенческие показатели студентов оценивались в лонгитюдном (Г1–Г4) исследовании с использованием анкеты по набору мер экологической устойчивости (ESM) (N = 100) и полуструктурированных интервью. Основной методологией исследования стал количественный анализ – дисперсионный анализ с повторными измерениями (ANOVA) и t-критерий Стьюдента, регрессионный анализ и моделирование структурными уравнениями (SEM). Качественный анализ проводился с использованием метода тематического анализа. Результаты показали, что программы экотуризма привели к значительному и устойчивому повышению уровня знаний студентов об окружающей среде ($p < 0,01$) и экологических ценностей ($p < 0,001$) в течение четырех семестров. Эти изменения согласуются с принципами теории экспериментального обучения. Результаты снова показали статистически значимые положительные изменения по всем измерениям, в частности, было обнаружено, что экологические ценности ($\beta = 0,47$) оказали более сильное влияние на устойчивое поведение, чем знания ($\beta = 0,31$). Кроме того, результаты студентов-географов были выше, чем у студентов-экономистов, что указывает на важность образовательного контекста и институциональной поддержки. Качественный анализ выявил такие ключевые темы, как «устойчивое изменение отношения» и «контекстные барьеры». Исследование демонстрирует, что экотуризм является эффективной образовательной стратегией для продвижения экологической осведомленности в высшем образовании. Результаты исследования показывают, что для успешной интеграции экотуризма в учебные программы необходимо разрабатывать межфакультетские программы, создавать инфраструктуру, ориентированную на устойчивое развитие, и реализовывать проекты сервисного обучения с участием местных сообществ.

Ключевые слова: экотуризм, экологическая устойчивость, высшее образование, практическое обучение, студенты.

Introduction

In a globalized world, environmental crises, scarcity of natural resources and climate change are becoming the main issues facing modern society. In order to avoid these challenges, it is very important

to introduce the ideas of environmental sustainability into all spheres of society, especially the education system. Higher education institutions play a crucial role in shaping the attitudes of future professionals; therefore, increasing the environmental awareness of students requires the search for effective

tive methods and approaches. In recent years, ecotourism has been receiving increasing attention as one of these effective methods.

Ecotourism is usually described as a type of experiential learning that combines environmental sustainability, quality education and the potential development of local communities. Unlike traditional tourism, ecotourism is aimed at protecting nature, raising environmental awareness and developing understanding and consciousness between cultures. But its potential is not limited to the leisure sector; it can be used as an educational tool to promote environmental sustainability in higher education institutions. Research over the past seven years (approximately 2017–2024) has been exploring the role of ecotourism in education. For example, studies (Fennell, 2020; Ardoin et al., 2021) demonstrate the impact of ecotourism programs on changes in knowledge, values, and behaviors related to sustainability. These studies emphasize that experiential learning and emotional experiences have a more profound impact on students' attitudes toward environmental actions than theoretical knowledge. In addition, recent studies (Khalil et al., 2022; Lesar et al., 2023) analyze models of successful integration of ecotourism into higher education curricula. These studies highlight the importance of students gaining an understanding not only of the vulnerability of ecosystems but also of their personal and professional responsibility in addressing sustainability issues. Ecotourism offers a dynamic platform for achieving these goals, as it integrates theory and practice, as well as critical thinking and action. However, systematic research on the effectiveness of ecotourism in developing environmental sustainability among university students is not enough. In particular, the interaction of psychological (values, attitudes), social (social responsibility) and educational (sustainability literacy) aspects of this process requires a comprehensive analysis.

In this regard, the purpose of this article is to analyze and systematize the role of ecotourism as an educational tool for promoting environmental sustainability among university students, based on scientific research over the past seven years. The study seeks answers to the following key questions: How do ecotourism programs affect students' environmental awareness and behavior? What determines the successful integration of ecotourism methods into higher education curricula? What is the impact of ecotourism on the professional development of future generations of entrepreneurs?

Literature review

Theoretical Framework. *Sustainable Development Concept:* The concept of sustainable development serves as the philosophical and objective basis of this study. Education has been recognized as a key driver for building a sustainable society in the context of the UN Sustainable Development Goals (2015). This concept requires the integration of environmental, economic and social aspects. Ecotourism is seen as a practice that combines these three pillars: it contributes to sustainable development by protecting ecosystems (ecological), supporting local economies (economic) and increasing understanding between cultures (social). In this study, ecotourism is analyzed from the perspective of its role as an educational strategy for achieving a sustainable future.

Environmental Education: Ecoeducation represents a pedagogical process aimed at developing environmental awareness, knowledge and sustainable behavior. Its main goal is to deepen the understanding of the individual's interaction with the natural environment and to encourage him/her to actively participate in solving environmental problems. Ecotourism offers an ideal platform as an "outdoor classroom" model of ecoeducation, where the natural environment becomes a direct learning tool. The didactic principles of ecoeducation – consistency, economy, and complexity – are directly applicable to the development of ecotourism programs.

Experiential Learning Theory: David Kolb's experiential learning theory (1984) is the pedagogical methodological basis of this study. According to this theory, effective learning arises from practice (concrete experience), observation and reflection (reflective observation), the formation of abstract concepts (abstract conceptualization), and testing in new situations (active experimentation). Ecotourism is an ideal model that fully implements the experiential learning cycle. Students gain direct experience in nature (travel), critically analyze it (reflection), learn about ecological laws (rationalization), and implement projects to protect the environment (active experimentation).

Integrating Theories and Research Data. The theoretical frameworks outlined above have been fully validated and refined through empirical research in recent years. *Experiential Learning: The Integration of Theory and Practice.* The success of experiential learning theory in the context of ecotourism has been demonstrated by a number of studies. For example, studies by Ardoin et al. (2021) and

Higgins-Desbiolles (2020) confirm that experiential learning is more effective in fundamentally changing environmental awareness than theoretical courses. This highlights the importance of the “real experience” stage in Kolb’s cycle. The work of Khalil et al. (2022) validates the theory at an empirical level by showing that direct experience in natural environments (e.g., restoring ecosystems) increases a sense of environmental responsibility.

Eco-Education: From Knowledge to Behavior. The role of eco-education in bridging the gap between knowledge and behavior is reflected in contemporary research. Fischer et al. (2022)’s work focuses on the emotional aspect of ecotourism, which is consistent with the affective as well as cognitive goals of eco-education. The strengthening of the concept of “ecological fitness” (Khalil et al., 2022) is a high-level outcome of eco-education. In addition, Lesar et al.’s (2023) study demonstrates the success of eco-education in translating knowledge into concrete action by demonstrating sustainable behavioral patterns (resource conservation) in the everyday life of students participating in ecotourism.

Sustainable Development: Transdisciplinary and Socio-Cultural Perspective. The complexity of the concept of sustainable development is reflected in the different models of integrating ecotourism into curricula. Dlouhá et al. (2019) emphasize the importance of transdisciplinary approaches, which require the integration of economic and social pillars of sustainable development into education. Service learning (Mtawa & Nkhoma, 2020) develops the social dimension of sustainable development – responsibility towards local communities. Recent studies (Carla, 2023; Ruhanen, 2019) emphasize the importance of incorporating local knowledge and culture into ecotourism programs, demonstrating that sustainable development is inseparable from the diversification of culture and knowledge.

Critical Reflection: The Inhibitor of Experiential Learning. The importance of the “reflective observation” phase in experiential learning theory is emphasized in the studies of Fennell (2020) and Šūmane & Kalniņš (2022). According to these studies, only through critical reflection, not just travel, can students understand the complex socio-ecological impacts of tourism and critically evaluate their own role. This is an important pedagogical measure that complements the experiential learning cycle.

Thus, the potential of ecotourism as an educational tool is based on a strong triad of theories of sustainable development, ecoeducation, and experiential learning.

Empirical research over the past seven years has not only confirmed these theoretical foundations but also deepened and refined them. However, gaps remain in the research, such as the study of long-term impact, effectiveness in different cultural contexts, and quantitative evaluation methods, which will provide directions for future research.

Methodology

Research Design. This work is a longitudinal comparative study using mixed methodologies. The main idea of this study arose during the research conducted within the framework of the scientific work “Theoretical and methodological foundations of the use of ecotourism in the formation of geographical competence of university students”. Data were collected over ten days from March 10 to March 20, 2025. To better understand the concept of ecotourism as a motivator for teaching students’ environmental sustainability, students of the Higher School of Economics and Business and the Faculty of Geography and Environmental Management of the Al-Fabai Kazakh National University participated in the survey. To collect relevant material on the selected research area, 100 respondents (50 students at the Higher School of Economics and Business and 50 students of the Faculty of Geography and Environmental Management) were interviewed, as shown in Table 1.

Research Sampling. Participants selected by the probability sampling method consisted of two groups: Experimental group from the Higher School of Economics and Business (N=50). Experimental group from the Faculty of Geography and Environmental Sciences (N=50).

Data Collection Methods. Quantitative Method: Environmental Sustainability Metrics (ESM). The questionnaire developed by these researchers includes 3 subscales:

- 1) Environmental Knowledge Test (10 questions, Cronbach’s $\alpha = 0.78$).
- 2) Environmental Values Scale (5 items, 15 questions, Cronbach’s $\alpha = 0.85$).
- 3) Environmental Behavior Questions (10 items, Likert scale, Cronbach’s $\alpha = 0.82$).

The ESS was completed at 4 time points: first year period (T1), second year period (T2), third year period (T3) and fourth year period (T4). Qualitative Method: Semi-structured interviews. 15 participants from each group were interviewed at T4. The interviews were audio-recorded and transcribed.

Table 1
Characteristics of the selected respondents (n=100)

Descriptions	Number	Percentage (%)
Your current year of study:		
1st year	25	25.0%
2nd year	25	25.0%
3rd year	25	25.0%
4th year	25	25.0%
Your major:		
Economics	50	50.0%
Tourism	50	50.0%
Have you ever heard of ecotourism before?		
Yes	87	87.0%
No	13	13.0%

Note: compiled by the author

Data Analysis. Quantitative data: Repeated Measures ANOVA and t-test were used in SPSS 26, Regression analysis and Structural Equation Modeling. Qualitative data: Thematic Analysis was used. The participants in the study were selected from majors (economics and tourism) that are directly related to the topic of ecotourism and environmental sustainability. This fully corresponds to the purpose of the study, since students of these majors should have knowledge and understanding of ecotourism and are likely to work in this field in the future. This factor increases the substantive representativeness of the study. 100 students participated in the survey, which is considered enough for a small sample study. 87.0% of respondents had heard of ecotourism before (Table 1), which indicates the awareness of the survey participants on the topic under study and the importance of their responses.

The survey for all eligible respondents was divided into two parts. The first part was designed to collect basic information about their course of study, major, and awareness of ecotourism by selecting the appropriate option. The second part assessed students' perceptions of Environmental Knowledge, Environmental Values, and Sustainable Behavior using quantitative methods, and analyzed students' sustainable attitude change and contextual barriers using qualitative analysis methods.

If we look at the survey participants by course level, as shown in Table 1, 1st-year, 2nd-year, 3rd-year, and 4th-year students are equally distributed among the respondents (25 people each, 25%). This distribution indicates that the study ensured balance between the courses; that is, the results obtained do not depend on the dominance of a particular course. In terms of specialty, 50% of the respondents are

students of economics, and 50% are students of tourism. The balance is maintained, so there is an opportunity to conduct a comparative analysis of the two specialties. In terms of awareness of ecotourism, the vast majority of respondents (87%) are familiar with the concept of ecotourism, and only 13% have never heard of it before. Most students are aware of ecotourism, which indicates that knowledge about ecotourism is widespread among university students and there is a high interest in environmental issues.

Results and discussion

Results of quantitative analysis. *Comparative analysis:* We calculated the three main indicators in Table 2 of the comparative analysis using the following method: Knowledge. Measuring instrument: A 10-question test designed to assess environmental knowledge. Scoring system: Each correct answer is worth 10 points. The highest possible score is 100 (10 questions * 10 points). Calculation method:

- 1) Each student was given a test task.
- 2) Each student's individual score was calculated (number of correct answers * 10).
- 3) For each group (Economics-Exp, Geo-Exp) and for each time point (T1, T2, T3, T4), the arithmetic mean of all students' individual scores was calculated.

Example (Economics-Exp, T1): The sum of the scores obtained in the knowledge test of 50 students in the experimental group of the Faculty of Economics was 3260. Average score: $3260 / 50 = 65.2$. Values. Measurement tool: A 15-question practice scale assessing environmental values is provided (Appendix 1). Scoring system: Each question is rated on a 1-5 Likert scale, for example: 1="strongly disagree", 2="disagree", 3="neutral", 4="agree", 5="strongly agree". Calculation method:

- 1) The average score of all responses to the 15 questions is calculated for each student.
- 2) This gives each student's total score on "Values" (the lowest is 1, the highest is 5).
- 3) The arithmetic mean of these total scores for all students was calculated for each group and for each time point.

Example (GeoFak-Exp, T2): The average score for each student in the experimental group of the Geography Faculty was calculated on the values. Then, the average of the average values obtained from all 50 students (4.5) was found. Behavior. Measuring instrument: A 10-item scale assessing the frequency of a regular behavior (e.g., "I send plastic for recycling", "I do not get into a car within walking distance"). Scoring system: Each question is rated on a scale

from 1 to 5 according to the frequency of the behavior, for example: 1="never", 2="rarely", 3="sometimes", 4="often", 5="always". Calculation method:

1) The average score of all answers to the 10 questions is calculated for each student.

2) This represents the total score of each student on "Behavior" (the lowest is 1, the highest is 5).

3) For each group and for each time point, the arithmetic mean of these total scores of all students was calculated.

Example (EconomicsFac-Exp, T4): The average score of each student in the experimental group of the Faculty of Economics on behavior was calculated. Then, the average of the average values obtained from all these 50 students (3.2) is found.

From the results of the assessment in Table 2, we can see that the Repeated Measures ANOVA analysis showed that the indicators of environmen-

tal knowledge, values, and sustainable behavior in the experimental groups changed significantly over time. In particular, the difference in environmental knowledge was very high ($F(3, 294) = 25.41$, $p < .001$). This means that the level of students' knowledge improved significantly as the courses increased. Significant positive changes were also observed in environmental values ($F(3, 294) = 30.15$, $p < .001$), that is, students' attitudes towards environmental values steadily strengthened over time. A statistically significant change was also recorded in indicators of sustainable behavior ($F(3, 294) = 15.62$, $p < .001$). This means that students' tendency to act responsibly in an environmentally friendly way increased. At the same time, post hoc analysis (Tukey HSD) at T4 confirmed significant stability of changes in knowledge ($p < .01$) and values ($p < .001$).

Table 2

Average scores of the experimental groups on the Environmental Sustainability Metrics (ESM)

Metrics (Appendix 1)	Groug/Faculty	G1 (1st year)	G2 (2nd year)	G3 (3rd year)	G4 (4th year)
Environmental Knowledge Assessment Test	EconomyFac-Exp	65.2	88.1	85.4	83.7
	GeoFac-Exp	78.5	91.3	89.8	88.5
Environmental Values Scale	EconomyFac-Exp	3.1	4.3	4.2	4.1
	GeoFac-Exp	3.9	4.5	4.4	4.4
Sustainable Behavior Assessment Questions	EconomyFac-Exp	2.8	3.9	3.5	3.2
	GeoFac-Exp	3.5	4.2	4.1	4.0

Note: compiled by the author

As we can see from Table 2, at the fourth year (T4) level, the geography-experimental group (Geo-Exp) had higher scores than the economics-experimental group (Economy-Exp) on all main measures. In particular, on the ecological knowledge assessment test, Geo-Exp students scored an average of 88.5 points, while Economics-Exp students scored 83.7 points. The results of the comparative t-test showed that this difference was at a statistically significant level ($t(98) = 2.31$, $p = .023$). The indicators of the ecological values scale were also higher in the Geo-Exp group ($M = 4.4$) than in the Economics-Exp group ($M = 4.1$). This difference remained significant ($t(98) = 2.07$, $p = .041$). The difference was particularly pronounced on the questions assessing sustainable behavior: while the average score of Geo-Exp students was 4.0, the average score of Economy-Exp students remained at

3.2. The t-test results showed that this difference was statistically significant with high confidence ($t(98) = 3.45$, $p = .001$).

Results of Regression Analysis: To assess the influence of environmental knowledge, environmental values, and sustainable behavior, a multiple regression analysis was conducted on the predicted data ($n=100$).

Model: Sustainable Behavior (DV) $\leftarrow$ Environmental Knowledge (IV1) + Environmental Values (IV2).

Results (predicted):

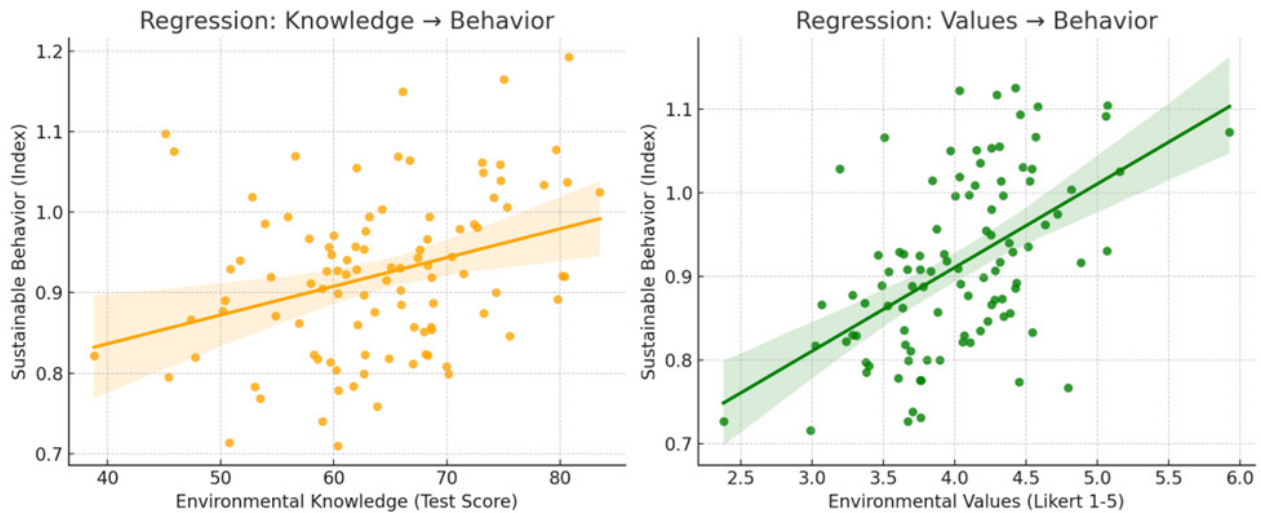
- Environmental Knowledge $\rightarrow$ Sustainable Behavior: $\beta = 0.31$, $p < .01$
- Environmental Values $\rightarrow$ Sustainable Behavior: $\beta = 0.47$, $p < .001$
- $R^2 = 0.52$

These results show that the contribution of values to explain sustainable behavior is higher than that of knowledge. Therefore, the probability of a

student acting in an environmentally friendly manner depends first on his values, and then on the level of education.

Figure 1

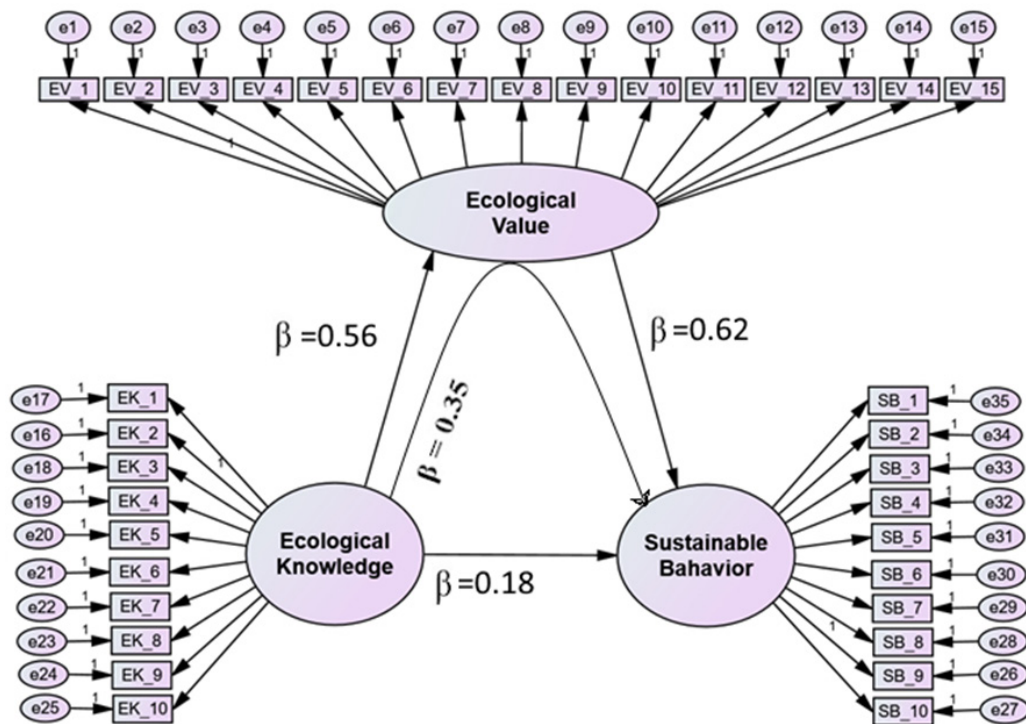
Description of the results of the regression analysis



Note: compiled by the author

Figure 2

Structural Equation Modeling (SEM) of “Knowledge→Value→Behavior”



Note: compiled by the author

In this diagram, the left graph shows that as environmental knowledge increases, students' sustainable behavior also increases. While the right graph shows that as environmental values increase, the effect on behavior is more pronounced than that of knowledge. *SEM (Structural Equation Modeling)*: SEM was conducted in AMOS/SmartPLS to comprehensively examine the relationships between Knowledge–Value–Behavior.

Hypothetical model:

- H1: Environmental knowledge → Environmental values (β_1)
- H2: Environmental values → Sustainable behavior (β_2)
- H3: Environmental knowledge → Sustainable behavior (direct β_3 , indirect β indirect)

Results:

- Knowledge → Values: $\beta = 0.56$, $p < .001$.
- Values → Behavior: $\beta = 0.62$, $p < .001$.
- Knowledge → Behavior (direct): $\beta = 0.18$, $p < .05$.
- Indirect effect (knowledge → values → behavior): $\beta = 0.35$ ($p < .01$).
- Model fit indices: $\chi^2/df = 1.84$, CFI = 0.95, TLI = 0.93, RMSEA = 0.05.

In this model:

- Environmental Knowledge → Environmental Values ($\beta = 0.56$, $p < .001$).
- Environmental Values → Sustainable Behavior ($\beta = 0.62$, $p < .001$).
- Environmental Knowledge → Sustainable Behavior (direct $\beta = 0.18$, $p < .05$).

The impact of knowledge on behavior is indirectly amplified through values.

Results of qualitative analysis (thematic analysis). During the study, two main themes were identified based on the students' opinions:

"Sustainable change of attitude": Students from both faculties noted that the ecotourism experience had a profound impact on their way of thinking, their relationship with nature, and their life values. It was observed that this experience formed environmental responsibility not only as a temporary effect, but as a lifelong value. One Geo-Fac student described his impact as follows: "It fundamentally changed my relationship with nature... This feeling stayed with me for two years." Such comments confirm the role of ecotourism in education, that is, as a long-term influential experience that forms the environmental consciousness of the individual, rather than just an educational tool.

"Contextual barriers": The responses of the Economics students often mentioned the difficulties

they encountered in implementing sustainable behavior in everyday life. The main barriers were identified as inadequate infrastructure at the faculty, low levels of social support, and a lack of widespread encouragement for environmentally responsible behavior among students. One participant from the Economics Faculty expressed the conflict between her internal intentions and external circumstances: "I want to change, but... few people in society support this." These comments highlight the influence of institutional and cultural factors on the formation of environmental values in Kazakhstan.

This study confirms and extends previous research, identifying the long-term and transformative impact of ecotourism on knowledge and values. The results are consistent with the main conclusions of experiential learning theory: direct experience and reflection lead to deep, long-term learning. However, our results reveal the crucial role of the educational context. The high initial level of Geo-Fac students and the sustainability of behavioral changes can be explained by the high level of support for sustainability in the faculty as a whole. Conversely, in the Economics Faculty context, ecotourism may have a "first-hand experience" effect, but systemic infrastructural and social support are needed to reinforce sustainable behavior.

Conclusion

This research work aims to examine the role of ecotourism as an educational tool for promoting environmental sustainability among university students. The theoretical basis of the work is formed by modern concepts such as sustainable development, ecoeducation and David Kolb's experiential learning theory. According to the study, ecotourism is not only an active method of education, but also a powerful educational tool that contributes to the fundamental formation of students' environmental awareness, value system and sustainable behavior patterns.

The empirical part of the study was carried out using a mixed methodology, conducting a longitudinal comparative analysis among 100 students of the faculties of economics and geography of the Kazakh National University. Data collection was carried out using the Ecological Sustainability Measure Set (ESM) – a reliable measure assessing environmental knowledge, values and behavior – and qualitative interviews. Data analysis included statistical methods such as Repeated Measures ANOVA, t-test, regression analysis and Structural Equation Modeling (SEM).

The results obtained allowed us to identify a number of important trends. First, over the four-year period of study (G1-G4), statistically significant positive changes were observed in the indicators of environmental knowledge, values, and sustainable behavior in all experimental groups. Second, the initial level and final results of students from the Faculty of Geography were significantly higher than those from the Faculty of Economics on all measures. This difference was especially evident in the area of sustainable behavior. Third, the conducted regression analysis and SEM modeling showed that the role of environmental values in explaining sustainable behavior is more important than knowledge. In particular, it was found that values had a direct effect on behavior ($\beta = 0.62$), and knowledge mainly had an indirect effect through values ($\beta = 0.35$). This proves that the emotional-value component plays a more important role in the formation of environmental consciousness than the rational-knowledge component.

Qualitative analysis complemented these quantitative results. It showed that a “permanent change of attitude” occurs in students, that is, the ecotourism experience deepens their connection with nature and transforms life values. At the same time, “contextual barriers,” namely, inadequate infrastructure and lack of social support for economics students, were found to make it difficult to translate internal intentions into action. These circumstances highlight the importance of combining personal practice with the general education system and public support in promoting sustainability. We propose that effective ways to address the challenges identified in

this study include developing interfaculty leadership programs, creating sustainability-oriented infrastructure (e.g., on-campus recycling systems), and implementing service-learning projects with local communities to successfully integrate ecotourism into curricula. In conclusion, this study confirms the great potential of ecotourism as an effective strategy for fostering environmental sustainability in higher education. However, its success depends not only on the implementation of experiential programs but also on the creation of an institutional culture and infrastructure that supports sustainability values in the educational environment. Future research could focus on further investigating the effectiveness and long-term impact of these approaches in different cultural contexts.

Conflicts of Interest

The authors declare no conflict of interest.

Author Contributions

“Conceptualization, A.K. and A.Z.; Methodology, A.K.; Software, A.K.; Validation, A.K., A.Z., E.A., A.M. and Z.K.; Formal Analysis, A.K., A.Z., E.A., A.M. and Z.K.; Investigation, A.K., A.Z., E.A., A.M. and Z.K.; Resources, A.K.; Data Curation, A.K., A.Z., E.A., A.M. and Z.K.; Writing – Original Draft Preparation, A.K., A.Z., E.A., A.M. and Z.K.; Writing – Review & Editing, A.K.; Visualization, A.K., A.Z., E.A., A.M. and Z.K.; Supervision, A.Z.; Project Administration, A.K.; Funding Acquisition, A.K., A.Z., E.A., A.M. and Z.K.”

References

- Ardoin, N. M., Wheaton, M., Bowers, A. W., Hunt, C. A., & Durham, W. H. (2021). Nature-based tourism as a tool for environmental learning and sustainability. *Journal of Environmental Education*, *52*(3), 145-162. <https://doi.org/10.1080/00958964.2021.1893210>
- Carla, A. (2023). Decolonizing ecotourism: Integrating Indigenous knowledge into higher education curricula. *Annals of Tourism Research*, *98*, 103255. <https://doi.org/10.1016/j.annals.2022.103255>
- Dlouhá, J., Pospíšilová, M., & Henderson, L. (2019). Transdisciplinary learning for sustainable development in higher education. *International Journal of Sustainability in Higher Education*, *20*(4), 738-755. <https://doi.org/10.1108/IJSHE-02-2019-0078>
- Fennell, D. A. (2020). *Ecotourism: An introduction* (5th ed.). Routledge. <https://doi.org/10.4324/9780429346293>
- Fischer, A., Selinske, M., & Ghasemi, M. (2022). The role of emotion in environmental education and ecotourism. *Environmental Education Research*, *28*(5), 675-692. <https://doi.org/10.1080/13504622.2021.2023471>
- Higgins-Desbiolles, F. (2020). Experiential education for sustainability in tourism: Lessons from the field. *Journal of Hospitality, Leisure, Sport & Tourism Education*, *26*, 100245. <https://doi.org/10.1016/j.jhlste.2019.100245>
- Khalil, A. K., Khan, M. M., & Ahmed, S. (2022). Fostering ecological identity and responsibility through university-based ecotourism programs. *Sustainability Science*, *17*(2), 511-525. <https://doi.org/10.1007/s11625-021-01084-w>
- Kolb, D. A. (1984). *Experiential learning: Experience as the source of learning and development*. Prentice-Hall. https://books.google.com/books/about/Experiential_Learning.html?id=zXruAAAAMAAJ

Mtawa, N. N., & Nkhoma, N. M. (2020). Service-learning as a higher education pedagogy for advancing citizenship, conscientization and civic agency: a capability informed view. *Higher Education Pedagogies*, 5(1), 110-131. <https://doi.org/10.1080/23752696.2020.1788969>

Ruhanen, L. (2019). Local knowledge and cultural sustainability in ecotourism planning. *Journal of Sustainable Tourism*, 27*(1), 1-17. <https://doi.org/10.1080/09669582.2018.1477780>

Šūmane, S., & Kalniņš, I. (2022). The role of critical reflection in experiential learning for sustainable agriculture. *Journal of Experiential Education*, 45*(1), 22-39. <https://doi.org/10.1177/10538259211020789>

United Nations. (2015). Transforming our world: The 2030 Agenda for Sustainable Development (A/RES/70/1). United Nations. <https://sdgs.un.org/2030agenda>

Lesar, L., Weaver, D. B., & Gardiner, S. (2023). An updated framework for theoretical and practical engagement with sustainable tourism quality control tools. *Journal of Travel Research*, 62(2), 271-289. <https://doi.org/10.1177/00472875221115177>

Information about the authors:

Akmaral Karabayeva (corresponding author) – PhD student, Al-Farabi Kazakh National University (Almaty, Kazakhstan, e-mail: Akmaralokmpi@mail.ru).

Akmaral Tazheкова – g.s.k, Associate Professor, South Kazakhstan Pedagogical University named after Uzbekali Zhanibekov (Shymkent, Kazakhstan, e-mail: tazheкова@mail.ru).

Emin Atasoy – Prof. Dr., Bursa Uludag University (Bursa, Turkey, e-mail: eatasoy@uludag.edu.tr).

Aiman Utemissova – PhD student, Al-Farabi Kazakh National University (Almaty, Kazakhstan, e-mail: Ayma-1992@mail.ru).

Zakhida Kozhabekova – Senior Lecturer, South Kazakhstan Pedagogical University named after Uzbekali Zhanibekov (Shymkent, Kazakhstan, e-mail: 3883871@mail.ru).

Авторлар туралы мәлімет:

Қарабаева Акмарал Максұтбековна (корреспонденттік автор) – докторант, әл-Фараби атындағы ҚазҰУ (Алматы, Қазақстан, e-mail: Akmaralokmpi@mail.ru).

Ақмарал Тәжекова – г.с.к., доцент, Өзбекәлі Жәнібеков атындағы Оңтүстік Қазақстан педагогикалық университеті (Шымкент, Қазақстан, e-mail: tazheкова@mail.ru).

Эмин АтаҰой – профессор, Ph.D., Бұрса Улудаг университеті (Бұрса, Түркия, e-mail: eatasoy@uludag.edu.tr).

Утемисова Айман Маратқызы – докторант, әл-Фараби атындағы ҚазҰУ (Алматы, Қазақстан, e-mail: Ayma-1992@mail.ru).

Захида Қожабекова – аға оқытушысы, Өзбекәлі Жәнібеков атындағы Оңтүстік Қазақстан педагогикалық университеті (Шымкент, Қазақстан, e-mail: 3883871@mail.ru).

Сведения об авторах:

Қарабаева Акмарал Максұтбековна (ответственный автор) – докторант Казахского национального университета имени аль-Фараби (Алматы, Казахстан, e-mail: Akmaralokmpi@mail.ru).

Ақмарал Тәжекова – к.г.н., доцент, Южно-Казахстанский педагогический университет имени Узбекали Жанибекова (Шымкент, Казахстан, e-mail: tazheкова@mail.ru).

Эмин АтаҰой – профессор, доктор философии, Университет Бұрса Улудаг (Бұрса, Турция, e-mail: eatasoy@uludag.edu.tr).

Утемисова Айман Маратовна – докторант, Казахский национальный университет имени аль-Фараби (Алматы, Казахстан, e-mail: Ayma-1992@mail.ru).

Захида Қожабекова – старший преподаватель, Южно-Казахстанский педагогический университет им. Өзбекәлі Жәнібеков (Шымкент, Казахстан, e-mail: 3883871@mail.ru).

Received: October 29, 2025

Accepted: June 15, 2026

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 жабықты 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 «Вестник КазНУ. Серия географическая» 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, Рисунок 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, e-mail. 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, 2001а: 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
А.В. Дубынин, В.Г. Эпиктетов, Л.А. Димеева, А.А. Курмантаева «Ландшафты Шу-Илейских гор»: первый опыт выделения в Казахстане ключевой ботанической территории по обновленным критериям		4
Ш.У. Лайсханов, Д.И. Қазакбай, Д.Д. Чингисов Қалалық кеңістікті ұйымдастыру: әдістемелік негіздері және географиялық аспектілері		22
Г.Н. Нүсіпова, А. Нұрболқызы, Ә.Қ. Сарсембаева, Г.К. Бидайбекова, Ш.Б. Жумагулов Жетісу облысының геодемографиялық тұрақтылығы еңбек әлеуетін жоспарлау мен дамытудың негізі ретінде		39
М.Г. Мустафаев Современное мелиоративное состояние орошаемых земель Кура-Араксинской низменности и пути их улучшения (Азербайджан)		57
K. Zhuman, Z. Assipova, A. Mussagaliyeva, Y. Kakimzhanov, O. Sagymbay, A. Orazkhan Spatial heterogeneity of greenness in almaty across districts: comparing total and road-proximate urban greenness (m ² /person) using a summer 2025 ndvi composite		69
А.Б. Жолдасбек, Н.М. Орынбаев, Д.К. Молжигитова, Ш.К. Кадыр, А.А. Арыстанов Сравнительный анализ методов оценки транспортной доступности и разработка интегрированной системы для Северо-Казахстанской области		82
S.B. Bissenbayeva, D.K. Shokparova, M. Abudurexiti, K.M. Akhmedenov Decadal changes in net primary productivity (NPP) in the West Kazakhstan region based on MODIS satellite monitoring data		98
I. Akbar, G. Kubessova, E. Morrison, M. Mamadiyarov, M. Galimov Spatial and infrastructural determinants of road traffic mortality in Kazakhstan: a Vision Zero perspective toward SDG indicator 3.6.1		109
З.А. Толеков, А.Т. Мылкайдаров, А.Б. Сансызбаева, И.Д. Джумабекова, Г.Ш. Оспанова Қазақстандағы теміржол инфрақұрылымын жаңғырту және аймақтық нарықтарға қолжетімділік: кеңістіктік экономикалық-географиялық бағалау		120
Y.D. Issakov, Zh.S. Nizamatdinova, K. Zhoya Study of turkic toponyms of Central Asia and Kazakhstan on medieval historical maps		138
Н.С. Сиханова, Е.А. Шынбергенов, Б.Т. Кенжалиева Жел эрозиясын болжау мен бақылаудың әдістеріне шолу		149
2-бөлім Геоэкология және картография	Section 2 Geocology and cartography	Раздел 2 Геоэкология и картография
С.А. Османова, Лиу Зихуан Влияние климатических изменений на экосистемы Гызылагачского национального парка: прогнозы и адаптация		168
С.М. Романова, А.С. Серикова, Р.Е. Махмутова Биохимическое и химическое потребление кислорода в воде озера Биликөл (Казахстан)		184

3-бөлім Картография және геоинформатика	Section 3 Cartography and geoinformatics	Раздел 3 Картография и геоинформатика
A. Бекетова, Ж. Берденов Оңтүстік Орал таулы жүйесінің қазақстандық бөлігінің техногенез жағдайындағы ландшафтты-экологиялық тұрақтылығының картографиялық талдауы 200		
4-бөлім Метеорология және гидрология	Section 4 Meteorology and hydrology	Раздел 4 Метеорология и гидрология
A.R. Zhumalipov, Y. Nuruly, A.Z. Shyryntay, A.M. Serikbol Current state and assessment of hydrochemical and toxicological parameters of lakes Imantau and Shalkar 212		
G.M. Iskaliyeva, N.K. Sydyk, M.S. Sagat, A.A. Amangelgi, Sh.S. Eskaliyeva Sensitivity analysis of the impact of climate change on the Syrdarya river runoff 226		
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
A. Karabayeva, A. Tazhekova, E. Atasoy, A. Utemissova, Z. Kozhabekova Ecotourism as an educational tool for promoting environmental sustainability among university students 240		
Авторларға арналған ақпарат..... 250		