

ISSN 2957-9856 (Online)
ISSN 2957-8280 (Print)

ҚАЗАҚСТАН РЕСПУБЛИКАСЫ
ҒЫЛЫМ ЖӘНЕ ЖОҒАРЫ БІЛІМ МИНИСТРЛІГІНІҢ ҒЫЛЫМ КОМИТЕТІ
«ГЕОГРАФИЯ ЖӘНЕ СУ ҚАУІПСІЗДІГІ ИНСТИТУТЫ» АҚ

КОМИТЕТ НАУКИ
МИНИСТЕРСТВА НАУКИ И
ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН
АО «ИНСТИТУТ ГЕОГРАФИИ
И ВОДНОЙ БЕЗОПАСНОСТИ»

SCIENCE COMMITTEE
OF THE MINISTRY OF SCIENCE AND
HIGHER EDUCATION
OF THE REPUBLIC OF KAZAKHSTAN
JSC « INSTITUTE OF GEOGRAPHY
AND WATER SECURITY»

**ГЕОГРАФИЯ ЖӘНЕ
СУ РЕСУРСТАРЫ**
◆
**ГЕОГРАФИЯ
И ВОДНЫЕ РЕСУРСЫ**
◆
**GEOGRAPHY
AND WATER RESOURCES**

1

ҚАҢТАР – НАУРЫЗ 2026 ж.
ЯНВАРЬ – МАРТ 2026 г.
JANUARY – MARCH 2026

ЖУРНАЛ 2007 ЖЫЛДАН ШЫҒА БАСТАҒАН
ЖУРНАЛ ИЗДАЕТСЯ С 2007 ГОДА
THE JOURNAL WAS FOUNDED IN 2007

ЖЫЛЫНА 4 РЕТ ШЫҒАДЫ
ВЫХОДИТ 4 РАЗА В ГОД
PUBLISHED 4 TIMES A YEAR

АЛМАТЫ

АЛМАТЫ

ALMATY

Бас редакторы
география ғылымының докторы, ҚР ҰҒА академигі **А. Р. Медеу**

Бас редактордың орынбасары:
география ғылымының кандидаты **С. К. Алимкулов**, география ғылымының докторы **И. Б. Скоринцева**,
география ғылымының докторы **С. А. Тарихазер** (Әзірбайжан)

Редакция алқасы:

ҚР ҰҒА академигі, география ғылымының докторы **И. В. Северский**; PhD докторы, климатологияның қауымдастырылған профессоры **М. Шахгеданова** (Ұлыбритания); Еуропа мен Азиядағы Халықаралық ғылым академиясының академигі (IASEA), техника ғылымдарының докторы **Цуй Вэйхун** (Қытай Халық Республикасы); география ғылымының докторы **О. Б. Мазбаев**; география ғылымының докторы, профессоры **Б. А. Красноярова** (Ресей); география ғылымының докторы **Д. Т. Чонтоев** (Қырғызстан); география ғылымының докторы **Н. Ә. Әміргалиұлы**; геология-минералогия ғылымдарының докторы **М. К. Әбсаметов**; география ғылымының кандидаты **А. Л. Кокарев**; PhD докторы **А. С. Мадібеков**; геология-минералогия ғылымдарының кандидаты **Е. Ж. Мұртазин**; география ғылымының докторы **А. В. Чередниченко**; география ғылымының кандидаты **А. А. Турсунова**; география ғылымының кандидаты **М. М. Молдахметов**; география ғылымының кандидаты **Л. К. Махмудова**; география ғылымының кандидаты **А. С. Нысанбаева**

Главный редактор
академик НАН РК, доктор географических наук **А. Р. Медеу**

Заместители главного редактора:
кандидат географических наук **С. К. Алимкулов**, доктор географических наук **И. Б. Скоринцева**,
доктор географических наук **С. А. Тарихазер** (Азербайджан)

Редакционная коллегия:

академик НАН РК, доктор географических наук **И. В. Северский**; доктор PhD, ассоциированный профессор климатологии **М. Шахгеданова** (Великобритания); академик Международной академии наук Европы и Азии (IASEA), доктор технических наук **Цуй Вэйхун** (Китайская Народная Республика); доктор географических наук **О. Б. Мазбаев**; доктор географических наук **Б. А. Красноярова** (Россия); доктор географических наук **Д. Т. Чонтоев** (Қырғызстан); доктор географических наук **Н. А. Амиргалиев**; доктор геолого-минералогических наук **М. К. Абсаметов**; кандидат географических наук **А. Л. Кокарев**; доктор PhD **А. С. Мадібеков**; кандидат геолого-минералогических наук **Е. Ж. Муртазин**; доктор географических наук **А. В. Чередниченко**; кандидат географических наук **А. А. Турсунова**; кандидат географических наук **М. М. Молдахметов**; кандидат географических наук **Л. К. Махмудова**; кандидат географических наук **А. С. Нысанбаева**

Editor-in-Chief
Academician of the NAS of the RK, Doctor of Geographical Sciences **A. R. Medeu**

Deputy Editor-in-chief:
Candidate of Geographical Sciences **S. K. Alimkulov**, Doctor of Geographical Sciences **I. B. Skorintseva**,
Doctor of Geographical Sciences **S. A. Tarikhazer** (Azerbaijan)

Editorial Board:

Academician of the NAS of the RK, Doctor of Geographical Sciences **I. V. Severskiy**; PhD, Associate Professor in Climate Science **M. Shahgedanova** (UK); Academician of the International Academy of Sciences for Europe and Asia (IASEA), Doctor of Technical Sciences **Cui Weihong** (People's Republic of China); Doctor of Geographical Sciences **O. B. Mazbayev**; Doctor of Geographical Sciences **B. A. Krasnoyarova** (Russia); Doctor of Geographical Sciences **D. T. Chontoev** (Kyrgyzstan); Doctor of Geographical Sciences **N. A. Amirgaliyev**; Doctor of Geological and Mineralogical Sciences **M. K. Absametov**; Candidate of Geographical Sciences **A. L. Kokarev**; Doctor PhD **A. S. Madibekov**; Candidate of Geological and Mineralogical Sciences **Ye. Zh. Murtazin**; Doctor of Geographical Sciences **A. V. Cherednichenko**; Candidate of Geographical Sciences **A. A. Tursunova**; Candidate of Geographical Sciences **M. M. Moldakhmetov**; Candidate of Geographical Sciences **L. K. Makhmudova**; Candidate of Geographical Sciences **A. S. Nysanbayeva**

География и водные ресурсы
ISSN 2957-9856 (Online), ISSN 2957-8280 (Print)

Собственник АО «Институт географии и водной безопасности»

Подписной индекс для юридических лиц: **24155**

Свидетельство о регистрации издания № 8243-Ж от 5 апреля 2007 г. и перерегистрации № KZ48VPY00036995 от 23 июня 2021 г. выдано Комитетом информации Министерства информации и общественного развития Республики Казахстан.

Включен в Перечень изданий, рекомендуемых Комитетом по обеспечению качества в сфере науки и высшего образования Министерства науки и высшего образования Республики Казахстан для публикации основных результатов научной деятельности, согласно приказу №288 от 29 февраля 2024 года.

Адрес редакции: *050000, г. Алматы, пр. Сейфуллина, 458/1.*
Тел.: +7(727)279-21-13.

Е-mail: journal.ingeo@gmail.com
Сайт: <https://ojs.ingeo.kz>

Геоинформационные технологии

Геоақпараттық технологиялар

Geoinformation technologies

<https://doi.org/10.55764/2957-9856/2026-1-3-16.1>

УДК 631.459.2
МРНТИ 87.21.05

Г. А. Есимбеков¹, Н. Е. Рамазанова², Т. Т. Мусабаев³

¹* Докторант PhD, главный специалист (Евразийский национальный университет им. Л. Н. Гумилева, РГП «Республиканский центр государственного градостроительного планирования и кадастра», Астана, Казахстан; Gabitnisa@gmail.com)

² PhD, ассоциированный профессор (Евразийский национальный университет им. Л. Н. Гумилева, Астана, Казахстан; Nurgulram@gmail.com)

³ Д. т. н., профессор, генеральный директор (Евразийский национальный университет им. Л. Н. Гумилева, РГП «Республиканский центр государственного градостроительного планирования и кадастра», Астана, Казахстан; eti.enu@mail.ru)

ЭМПИРИЧЕСКИЕ МОДЕЛИ ОЦЕНКИ ПЛОСКОСТНОЙ ЭРОЗИИ ПОЧВ НА ОСНОВЕ ГЕОИНФОРМАЦИОННОГО АНАЛИЗА ДАННЫХ ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ ЗЕМЛИ (НА ПРИМЕРЕ ЖАМБЫЛСКОЙ ОБЛАСТИ)

Аннотация. Рассматривается оценка плоскостной эрозии почв Жамбылской области с использованием модели RUSLE (Revised Universal Soil Loss Equation) в геоинформационной среде. Для моделирования факторов R (дождевой эрозионной агрессии), K (почвенной устойчивости), LS (длины и крутизны склона), C (растительного порова и землепользования) и P (противоэрозионных мероприятий) использовались методы анализа данных дистанционного зондирования, цифровые модели рельефа (SRTM), данные о землепользовании (Land Cover 2024, 10 м) и климатическая информация (WorldClim v2.1). Итоговый фактор A, отражающий среднегодовую потенциальную потерю почвы, был получен в ArcGIS с помощью инструмента Raster Calculator путём перемножения всех входных слоёв. Значения A варьируются от 0 до 22,4 т/га/год. Основная часть территории (98,4 %) характеризуется слабой эрозией (менее 0,3 т/га/год). Умеренно и сильно подверженные эрозии участки (A выше 2 т/га/год) составляют около 0,2 % площади и сосредоточены преимущественно на склонах гор, хребтов, русел рек и оврагов. Установлено, что наибольшее влияние на эрозионные процессы оказывают рельеф (LS-фактор) и структура землепользования (C-фактор), особенно в аграрных ландшафтах с высокой антропогенной нагрузкой. Полученные результаты являются важной основой для планирования почвозащитных мероприятий и устойчивого природопользования в регионе.

Ключевые слова: плоскостная эрозия, RUSLE, ГИС, дистанционное зондирование, Жамбылская область, пространственный анализ, почвенные потери.

Введение. Почвенная эрозия ведет к деградации земель, снижению урожайности и потере экосистемных функций. В условиях Жамбылской области, где преобладают засушливый климат, рельеф с выраженными склонами и активное сельское хозяйство, плоскостная эрозия проявляется особенно интенсивно. Использование дистанционных методов и ГИС позволяет провести пространственный анализ эрозионных процессов, выявить зоны риска и определить приоритетные направления почвозащитных мероприятий.

Плоскостной смыв является одной из начальных и наиболее распространённых форм водной эрозии, при которой происходит постепенное и малозаметное удаление верхнего слоя почвы под воздействием поверхностного стока [1]. Несмотря на визуальную слабо выраженность, данный

процесс оказывает значительное влияние на агроэкологическое состояние территорий. Он приводит к ухудшению физико-химических свойств почв, снижению их плодородия, сокращению мощностей гумусового горизонта, а также может вызывать заиление водных объектов и ухудшение состояния земельных угодий [2].

По данным государственного отчета о состоянии и использовании земельных ресурсов на территории страны значительная доля сельскохозяйственных угодий подвержена водной эрозии (смыв почвы). Так, в группе земель – смытых, подверженных водной эрозии, насчитывается около 4,9 млн га, из которых 1,2 млн га приходится на пашню [3]. Наибольшая площадь смытых почв отмечена в Акмолинской, Туркестанской, Восточно-Казахстанской и Жамбылской областях, что подчеркивает актуальность исследований в этих регионах [3].

В структуре земельного фонда Жамбылской области на 01.11.2023 г. удельный вес земли сельскохозяйственного назначения занимают 32,3% (4661,6 тыс. га), из которых более половины (77,5%) заняты пастбищами, 16,8% – пашнями [3]. По состоянию на 1 ноября 2022 года согласно данным Комитета по управлению земельными ресурсами Министерства сельского хозяйства Республики Казахстан площадь эродированных сельскохозяйственных угодий в Жамбылской области составила 2636,7 тыс. га. Из них на водную (плоскостную) эрозию приходится 222,7 тыс. га, что эквивалентно 8,5% от общей площади угодий [3]. Особенно неблагоприятная ситуация наблюдается в структуре пашни: из 54,3 тыс. га эродированной пашни 52,7 тыс. га приходится на почвы, подвергшиеся смыву, что составляет около 97% от всей эродированной пашни [3]. Эти данные указывают на высокую степень уязвимости пахотных земель региона к процессам поверхностного смыва и необходимость принятия эффективных противоэрозионных мероприятий.

Традиционные методы оценки эрозионных процессов, основанные на полевых наблюдениях и лабораторных анализах, обладают высокой точностью. Однако они характеризуются значительными временными и трудовыми затратами. Проведение таких исследований на крупных территориях требует существенных финансовых ресурсов и значительного организационного обеспечения. В этой связи особую актуальность приобретает применение дистанционных методов, основанных на использовании данных спутникового зондирования Земли и геоинформационных систем (ГИС), которые позволяют проводить оперативную и пространственно непрерывную оценку состояния земель. Одним из наиболее распространённых и апробированных подходов к моделированию почвенной эрозии на основе данных дистанционного зондирования является универсальное уравнение потерь почвы (RUSLE), которое позволяет учитывать ключевые факторы эрозионного процесса – климатические, морфометрические, почвенные и землепользовательские параметры в интегрированной геоинформационной среде.

Район исследования. Жамбылская область расположена в южной части Казахстана и занимает территорию около 144,3 тыс. км², что составляет примерно 5,3% от общей площади страны. Административным центром региона является город Тараз, обладающий важным историко-культурным значением. Географическое положение области включает разнообразные природно-климатические зоны: от засушливых равнин и полупустынь на севере до предгорий Северного Тянь-Шаня на юге.

Область граничит с Кыргызстаном на юге, а также с Алматинской, Туркестанской, Кызылординской и Карагандинской областями Казахстана. Рельеф преимущественно равнинный и волнистый с повышением в южном направлении, где формируются предгорья и низкогорья. Область характеризуется резко континентальным климатом, для которого типичны жаркое лето, холодная зима и выраженный дефицит атмосферных осадков. По данным РГП «Казгидромет», среднегодовое количество осадков варьируется от 150-300 мм на севере до 400-00 мм в предгорной зоне [4]. Гидрографическую сеть региона формируют крупные реки – Талас, Аса и Шу, имеющие важное значение для ирригации и сельского водоснабжения. Земельный фонд области активно используется в сельском хозяйстве.

Материалы и методы исследования. Для оценки плоскостной эрозии применяются различные подходы – от эмпирической модели USLE и её современной модификации RUSLE до сложных физически обоснованных моделей. Популярность RUSLE обусловлена удобством её совмещения с ГИС-инструментами. Тем не менее модель имеет существенные недостатки: она не учитывает оврагообразование, механизмы отложения осадков и кратковременные колебания стока, ограничиваясь лишь усредненными годовыми показателями. Альтернативой эмпирическим методам

выступают такие подходы, как WEPP (Water Erosion Prediction Project), базирующиеся на моделировании фундаментальных гидродинамических и почвенных процессов. Ключевым преимуществом WEPP является учет временной динамики стока [5]. Но неполномерная изученность территорий или дефицит данных мониторинга ограничивают использование этой модели.

В последнее десятилетие в Казахстане и странах Центрально-Азиатского региона наметился активный переход к использованию ГИС-технологий и методов дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ) для мониторинга водной эрозии. География исследований охватывает ключевые речные бассейны (Есил, Шыңғырлау, Нура, Жыланды) [6-9] и административные единицы (Алматинская и Акмолинская области, Таласский район) [10-12]. Доминирующим методическим подходом остается интеграция модели RUSLE с высокоточными ЦМР (SRTM, ALOS, ASTER) и данными группировок Sentinel-2/Landsat. Особое внимание в современных работах уделяется прогностическому моделированию: на основе сценариев СМIP6 анализируется трансформация фактора эрозионной способности осадков (R). Исследователи констатируют, что рост интенсивности экстремальных ливней ведет к закономерному увеличению рисков деградации почвенного покрова [13].

В настоящем исследовании применён комплексный подход, основанный на использовании современных методов дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ), геоинформационных систем (ГИС), а также эмпирической модели оценки почворазрушающей деятельности поверхностного стока – RUSLE (Revised Universal Soil Loss Equation) [14], адаптированной под физико-географические условия полупустынной зоны южной части Казахстана.

Для расчётов использованы следующие данные:

- цифровая модель рельефа SRTM (30 м), предоставленная NASA и доступная через платформы USGS earthexplorer, использовалась для определения топографического фактора (LS), отражающего форму и протяжённость склонов [15];

- растровые данные землепользования и растительного покрова с пространственным разрешением 10 м, полученные с открытого сервиса ESRI Land Cover Explorer (arcgis Living Atlas of the World) [16];

- климатические данные (осадки и интенсивность дождей), полученные с метеостанций Жамбылской области и дополненные глобальными климатическими наборами (worldclim v2.1), использовались при расчёте R -фактора [17];

- почвенные карты и справочные базы FAO обеспечили классификацию почв по устойчивости к эрозии (K -фактор);

- коэффициент P (support practice factor) определялся на основе обобщённых литературных данных, поскольку пространственно-детализированная информация о конкретных противоэрозионных мероприятиях на исследуемой территории отсутствовала [18].

Значения назначались в зависимости от категории землепользования, отражающей предполагаемый характер агротехнической нагрузки. Значения P -фактора назначались в зависимости от типа землепользования: для водных объектов и лесных массивов принималось $P = 0$; для сельскохозяйственных земель без противоэрозионных мероприятий – $P = 1,0$, при наличии мероприятий – $0,5-0,7$; для пастбищ и лугов использовалось промежуточное значение $0,4$; для застроенных территорий и пойм рек – $0,2$; для голых земель и скальных выходов – $1,0$ [18].

Модель RUSLE выражается в следующем виде:

$$A = R \cdot K \cdot LS \cdot C \cdot P, \quad (1)$$

где A – средние годовые потери почвы, т/га/год; R – эрозионный потенциал осадков; K – коэффициент эродированности почвы; LS – комбинированный фактор длины и крутизны склона; C – коэффициент защитного действия растительности; P – фактор, учитывающий проведение противоэрозионных защитных мероприятий.

Все пространственные расчёты проводились в средах ArcGIS Pro 3.2 и QGIS 3.28 с использованием дополнений SAGA GIS и GRASS GIS для анализа рельефа, а также инструментария ModelBuilder для автоматизации обработки и генерации карт.

Картографическая визуализация результатов осуществлялась в координатной системе WGS 84 / UTM Zone 42N. Полученные карты позволили определить пространственные различия интенсивности плоскостного смыва на различных участках Жамбылской области.

Результаты. Для расчёта R-фактора (фактора эрозионной энергии осадков) использованы среднемноголетние данные по количеству атмосферных осадков за период 2011-2020 гг., полученные из открытых источников WorldClim v2.1 [17]. За основу оценки эрозионного потенциала осадков (R-фактора) применялась эмпирическая зависимость Ренара и Фреймунда (Renard and Freimund, 1994) [19]. Коэффициент R рассчитывался как функция среднемноголетнего количества осадков (P, мм) с учётом порогового значения 850 мм. При $P < 850$ мм (условия недостаточного увлажнения) использовалась степенная зависимость:

$$R = 0,4830 \cdot P^{1,61}. \quad (2)$$

При $P \geq 850$ мм применялась квадратичная зависимость [19]:

$$R = 587.8 - 1.219 \cdot P + 0.004105 \cdot P^2. \quad (3)$$

На территории Жамбылской области значения P варьируют от 170 до 1100 мм, что соответствует диапазону R-фактора от 50 до 550 (рисунок 1).

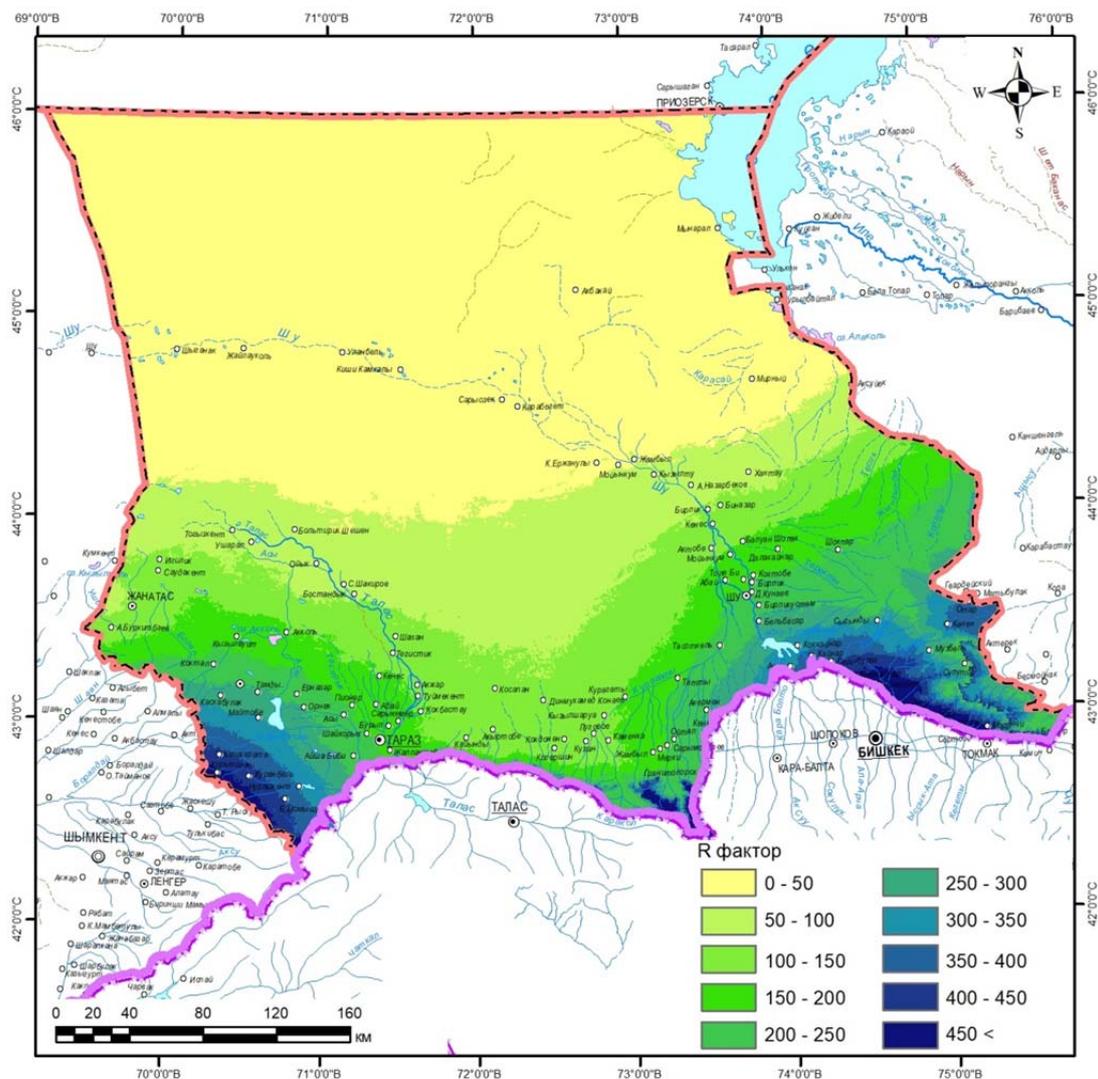


Рисунок 1 – Карта значений R-фактора

Figure 1 – R-factor value map

Пространственное распределение R-фактора, отражающего эрозионную энергию атмосферных осадков, в Жамбылской области демонстрирует отчетливую зональность, обусловленную различиями в орографических и климатических условиях региона.

Минимальные значения R-фактора (менее 100) характерны для северной части области, охватывающей аридные территории пустынь Мойынкум и долины Бетпакдала. Здесь осадки носят эпизодический характер и отличаются низкой эрозионной интенсивностью. В центральной части области, включая равнинно-предгорные районы, R-фактор варьирует от 100 до 200. Это отражает постепенное увеличение количества осадков и их эрозионной энергии по направлению к югу. В предгорных зонах северных склонов Киргизского хребта и восточных склонов хребта Каратау R-фактор достигает 200-300. Здесь более высокая орографическая расчленённость способствует усилению склоновых процессов, а осадки приобретают большую интенсивность. Наибольшие значения R-фактора (от 300 до 450 и более) фиксируются в горных районах юго-восточной и юго-западной частей области, где количество осадков максимальное и их эрозионная энергия достигает наибольших величин. Эти территории характеризуются сложным рельефом, насыщенной гидрографической сетью и интенсивным поверхностным стоком, что значительно повышает риск развития водной эрозии.

Для оценки коэффициента эродированности почвы (K) в Жамбылской области использовались данные о гранулометрическом составе и органическом содержании почв, полученные из глобальной базы данных Harmonized World Soil Database (HWSD), разработанной FAO и IIASA. Эта база представляет собой унифицированный цифровой почвенный ресурс с пространственным разрешением 1 км, содержащий обобщённые сведения о физических и химических свойствах почв в глобальном масштабе [20].

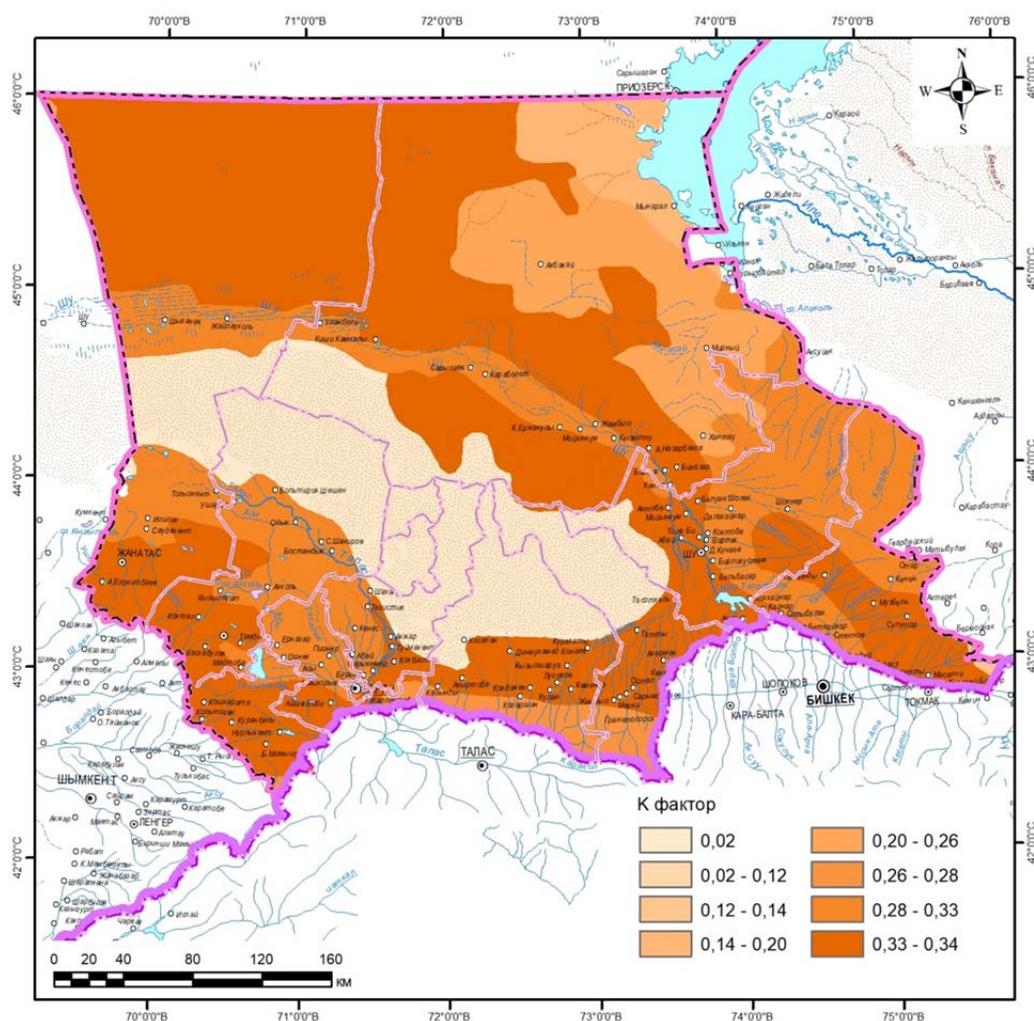


Рисунок 2 – Карта значений K-фактора

Figure 2 – K-factor value map

На основе информации о текстурных классах, содержании ила, песка, глины и органического вещества рассчитаны пространственно распределённые значения К-фактора с использованием эмпирических формул, рекомендованных в модели RUSLE [18]. Расчёты проводились в среде ГИС, что позволило выделить территориальные различия устойчивости почв к эрозии в административных и природных границах Жамбылской области (см. рисунок 2).

Пустынные центральные и юго-западные районы, покрытые песками, имеют наименьшие значения К (0,02). Эти территории обладают высокой устойчивостью к водной эрозии, однако могут быть подвержены ветровой (эоловой) эрозии. Предгорья и горные территории (Жуалинский, Меркенский, Жамбылский районы) демонстрируют повышенные значения К (0,26-0,34), что связано с более тяжелыми почвами (суглинки, супеси), развитым слоем ила и гумуса, а также с высокой уязвимостью при наличии стока. Равнинные участки вдоль долин рек (Талас, Асы, Шу) также попадают в зону средневысоких значений, что требует особого внимания при сельскохозяйственном использовании.

LS-фактор (коэффициент длины и крутизны склона) в модели RUSLE описывает изменение почвенной эрозии в зависимости от рельефа местности. Этот фактор отражает усиление эрозионного воздействия с увеличением длины склона (L) и крутизны (S). В ходе исследования для расчёта LS-фактора использовались инструменты ArcGIS: Spatial Analyst → Hydrology и Surface. Сначала была подготовлена гидрологическая модель рельефа с помощью инструментов Fill, Flow Direction и Flow Accumulation. Затем с использованием функции Slope определены уклоны для каждой ячейки раstra. На основе этих данных в Raster Calculator была применена следующая эмпирическая формула:

$$LS = \left(\frac{\text{Flow Accumulation} \times \text{Cell size}}{22,13} \right)^{0,4} \cdot \left(\frac{\sin(\text{Slope})}{0,0896} \right)^{1,3} \quad (4)$$

Для оценки LS-фактора в рамках модели RUSLE использована цифровая модель рельефа SRTM с пространственным разрешением 30 м. На основе этих данных рассчитаны параметры уклона и аккумуляции потока, необходимые для построения карты LS-фактора. Благодаря высокой детализации модели SRTM удалось получить точную информацию о морфологии поверхности, что обеспечило надёжность расчетов эрозионной опасности.

По результатам пространственного анализа с использованием цифровой модели рельефа (SRTM, разрешение 30 м) установлено, что значения LS-фактора в Жамбылской области варьируются от 0 до 0,779. Наибольшие величины наблюдаются в горных и предгорных районах, а также на крутых склонах, вдоль русел рек, в овражно-балочной системе и других элементах расчленённого рельефа. Это подтверждает высокую чувствительность фактора к параметрам уклона и длине склона, что соответствует положениям модели RUSLE, согласно которым эрозионный риск возрастает с увеличением крутизны и протяжённости стока.

Низкие значения LS-фактора характерны для равнинных и пустынных территорий на севере и западе области, в том числе в песчаных массивах Мойынкум и плато Бетпақдала, где преобладает пологий рельеф и отсутствуют выраженные формы водной аккумуляции. Таким образом, картографирование LS-фактора позволяет точно локализовать участки с потенциально высоким риском водной эрозии и использовать эти данные для рационального планирования природоохранных мероприятий и устойчивого землепользования (рисунок 3).

Для расчёта C-фактора использованы открытые данные по землепользованию и земному покрову с пространственным разрешением 10 м, полученные из сервиса ESRI Land Cover Explorer (ArcGIS Living Atlas), сформированные на основе спутниковых данных Sentinel-2 [16]. Данные имеют пространственное разрешение 10 м и охватывают период с 2017 по 2024 год, что позволило получить актуальные сведения по состоянию растительности в Жамбылской области.

На основе классифицированных типов землепользования (таких, как сельскохозяйственные угодья, пастбища, леса, застроенные территории и пр.) каждому классу был присвоен соответствующий эмпирический коэффициент C согласно литературным источникам и рекомендациям международной практики [14]. Полученный растр C-фактора отражает пространственное распределение способности земного покрова к защите почв от водной эрозии (рисунок 4). Значения коэффициента C, использованные для различных типов землепользования в Жамбылской области, приведены в (таблице 1). Наибольший вклад в возможную эрозию в Жамбылской области вносят сельскохозяйственные земли и оголённые поверхности.

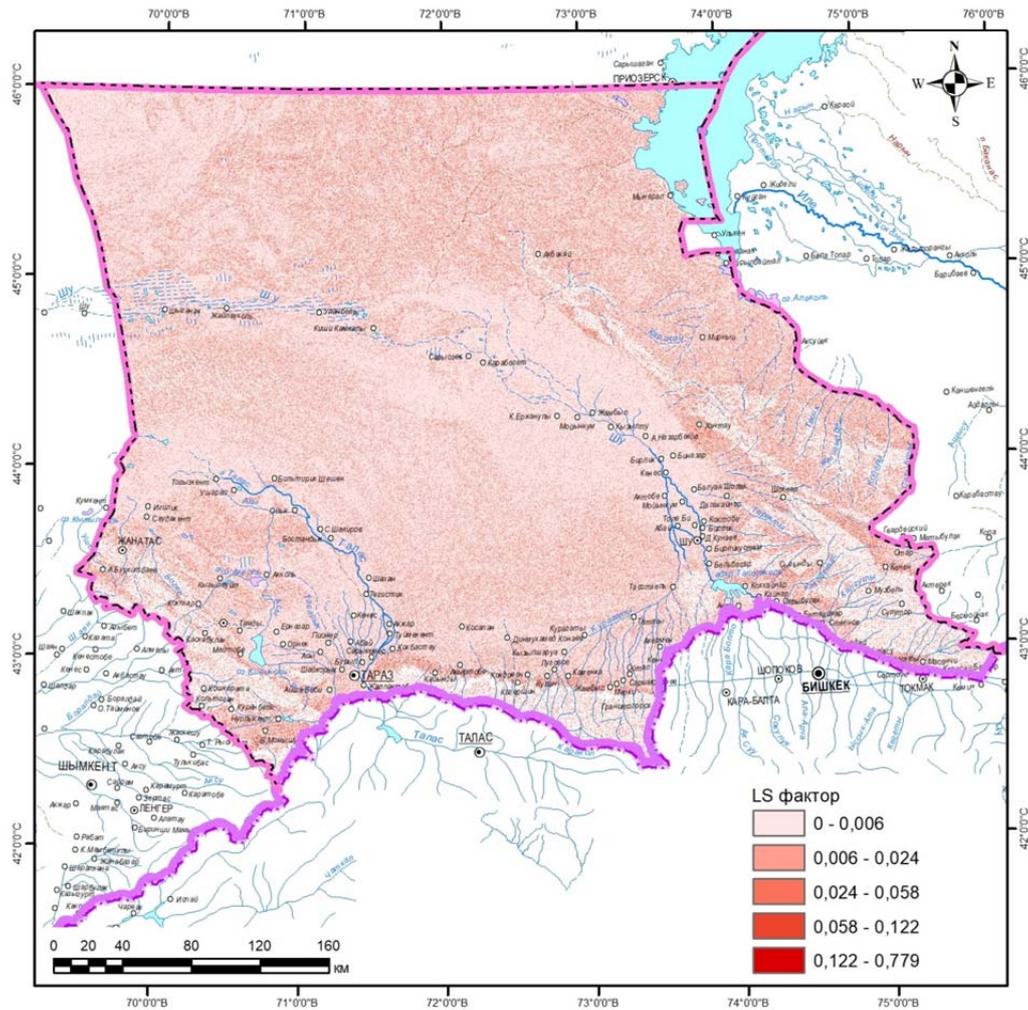


Рисунок 3 – Карта значений LS-фактора

Figure 3 – Map of the LS-factor value

Наибольшую площадь занимает категория пастбищ, которая охватывает 13 159,1 тыс.га. Эти территории характеризуются умеренным С-фактором (0,15), что обусловлено наличием растительности, но также возможным антропогенным воздействием в виде выпаса скота. Сельскохозяйственные обрабатываемые земли по площади охватывают 795,2 тыс. га. Для них установлен высокий С-фактор (0,45), так как в результате обработки почвы и отсутствия постоянного растительного покрова здесь наблюдается наибольший риск водной эрозии. Голая земля и выходы скальных пород покрывают около 107,9 тыс. га и имеют максимальный коэффициент С 0,55, так как практически лишены защитного растительного слоя и наиболее подвержены эрозионным процессам. Застроенные территории, включая города, дороги и другие искусственные покрытия, занимают 81,0 тыс.га. Несмотря на плотность покрытия, им присвоен умеренно низкий С-фактор (0,05), поскольку они не подвержены классической форме водной эрозии, но могут участвовать в поверхностном стоке. Леса и древесные насаждения охватывают 17,5 га. Благодаря густому растительному покрову им присвоен наименьший С-фактор – 0,01, что отражает их высокую способность к защите почвы от эрозии. Поймы рек занимают 29,3 тыс. га и имеют коэффициент 0,05, что обусловлено сезонной подверженностью паводкам и временной утратой растительности. Луга и водоёмы занимают сравнительно небольшую территорию – 1,4 и 262,6 тыс. га соответственно. Лугам присвоен С-фактор 0,05, в то время как водоёмам – 0, так как они не участвуют в процессах почвенной эрозии.

Следующим элементом универсального уравнения потерь почвы RUSLE, используемого в исследовании, является Р-фактор – коэффициент, учитывающий влияние противоэрозионных меро-

приятый, таких, как контурная обработка почвы, террасирование, посадки поперёк склона, покровные культуры и другие методы, направленные на снижение скорости поверхностного стока и соответственно эрозии почв.

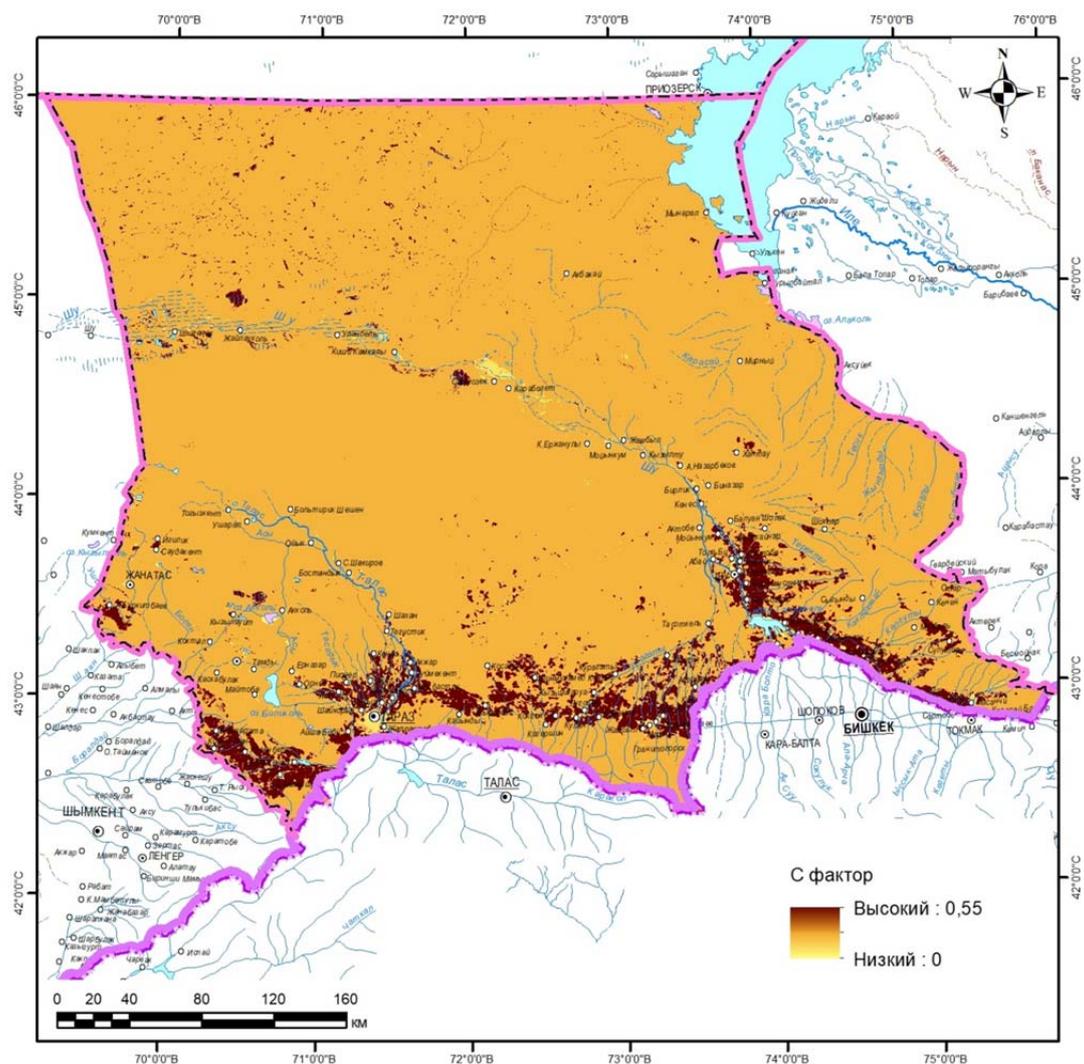


Рисунок 4 – Карта значений С-фактора

Figure 4 – Map of C-factor values

Таблица 1 – Значения коэффициента С, использованные для различных типов землепользования в Жамбылской области
Table 1 – Values of the C coefficient used for various types of land use in Zhambyl region

Типы землепользования	Площадь, тыс. га	С-фактор
Водоемы	262,6	0
Леса, древесные насаждения	17,5	0,01
Поймы рек	29,3	0,05
Сельскохозяйственные культуры (пашни богарные, поливные, многолетние насаждения, огороды, сады)	795,2	0,45
Застроенные территории (города, дороги и т.д.)	81,0	0,05
Голая земля, выходы скалистых пород	107,9	0,55
Луга	1,4	0,05
Пастбища	13 159,1	0,15

В условиях Жамбылской области с учётом ограниченности пространственных данных о реальных агротехнических мероприятиях величины Р-фактора были назначены на основе литературных источников и аналогичных исследований в зависимости от типов землепользования [18]. В таблице 2 представлены адаптированные значения.

Таблица 2 – Значения коэффициента Р, использованные для различных типов землепользования в Жамбылской области
Table 2 – Values of the P coefficient used for various types of land use in Zhambyl region

Тип землепользования	Р-фактор
Водоёмы	0
Леса, древесные насаждения	0
Поймы рек	0,2
Сельскохозяйственные земли (без мероприятий)	1
Сельскохозяйственные земли (при наличии мер)	0,5-0,7
Застроенные территории	0,2
Пастбища	0,4
Луга	0,4
Голая земля, выходы скалистых пород	1

Фактор А (Annual Soil Loss) является итоговым значением модели RUSLE, отражающим среднегодовую потенциальную потерю почвы вследствие водной эрозии, выраженную в тоннах на гектар в год. Он рассчитывается как произведение всех остальных факторов модели: R, K, LS, C и P с использованием Raster Calculator в среде ArcGIS. В данном исследовании расчет фактора А был выполнен после предварительного анализа всех входных данных, а результирующий растр был классифицирован для удобства интерпретации (рисунок 5).

Анализ распределения значений А по Жамбылской области показал следующее:

площадь с очень низкой эрозией (0-0,3 т/га/год) составляет 13 936,7 тыс. га, что соответствует 98,43% всей территории;

зоны с низкой эрозией (0,3-2 т/га/год) охватывают 198,2 тыс. га, или 1,4%;

средние потери (2-6 т/га/год) наблюдаются на площади 20,5 тыс. га (0,15%);

участки с высокой эрозией (6-22,4 т/га/год) занимают лишь 2,86 тыс. га, что составляет 0,02%.

Таким образом, основная часть территории Жамбылской области подвержена очень слабой эрозии, в то время как интенсивная эрозия наблюдается локально, в основном на крутых склонах и незащищённых землях.

Обсуждение. Полученные результаты моделирования плоскостной эрозии почв в Жамбылской области на основе модели RUSLE свидетельствуют о преимущественно низкой степени деградации почвенного покрова. Расчётные среднегодовые потери почвы (фактор А), изменяющиеся от 0 до 22,4 т/га в год, при доминировании слабой эрозии (менее 0,3 т/га/год на 98,4 % площади), в целом соответствуют опубликованным оценкам для аридных и полупустынных территорий Центральной Азии. В подобных природных условиях ограниченная сумма осадков и относительно устойчивый растительный покров существенно сдерживают развитие водно-эрозионных процессов [21]. Полученные результаты подтверждают применимость модели RUSLE для региональных условий, несмотря на её эмпирическую природу.

Анализ вкладов отдельных факторов показал, что определяющую роль в формировании эрозионного потенциала играют рельеф (LS-фактор) и характер землепользования (С-фактор), что является типичным для горно-равнинных ландшафтов Жамбылской области. Участки с повышенными потерями почвы (от 6 до 22,4 т/га/год), занимающие около 0,02 % территории, приурочены преимущественно к склонам хребтов, долинам рек и овражно-балочной сети. Эти зоны характеризуются значительными уклонами (более 15°). В отличие от ранних исследований эрозионных процессов в южной части Казахстана, которые в основном основывались на полевых наблюдениях и обобщённых картографических материалах, современные работы всё чаще используют интеграцию ГИС и данных дистанционного зондирования [10]. Применение модели RUSLE в геоин-

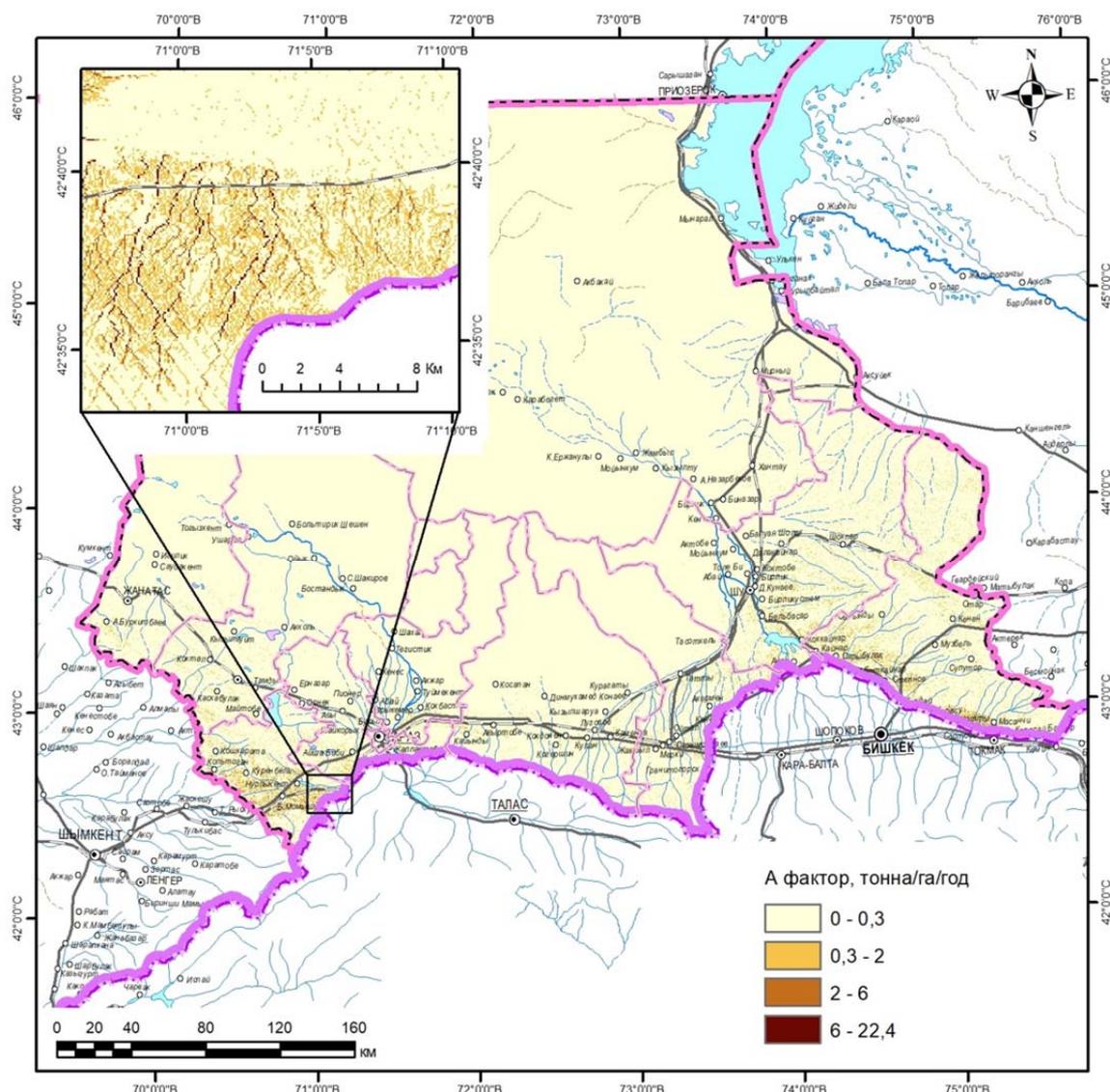


Рисунок 5 – Карта расчетной величины плоскостной эрозии по территориям Жамбылской области, фактор А, т/га/год
 Figure 5 – Map of the estimated amount of planar erosion in the territories of Zhambyl region, factor A, ton/ha/year

формационной среде позволяет обеспечить сопоставимость результатов на региональном уровне и детализировать пространственную структуру эрозионной опасности, что подчёркивается и в недавних исследованиях по территории Казахстана [10].

Сопоставление полученных оценок с глобальными наборами данных, включая GLObal Surface Soil Erosion [22], показывает, что средние значения фактора А для Жамбылской области в целом ниже типичных для Центральной Азии (0,5–5 т/га/год). Это объясняется сравнительно умеренной эрозионной агрессивностью осадков, для которой расчётные величины R-фактора составляют порядка 100–300 MJ·мм/га·ч·год по данным WorldClim v2.1 [17]. Вместе с тем локальные максимумы эрозии, выявленные в пределах речных долин и водосборов, указывают на потенциальные риски деградации почв и заиления русел, которые могут усиливаться в условиях ожидаемых климатических изменений, связанных с ростом интенсивности экстремальных осадков [23].

К ограничениям проведённого моделирования следует отнести обобщённый характер входных данных, включая использование цифровой модели рельефа SRTM с пространственным разрешением 30 м, а также отсутствие полевой верификации параметров К- и Р-факторов. Кроме того, модель RUSLE не учитывает процессы линейной и овражной эрозии. В дальнейшем для повышения достоверности оценок целесообразно привлечение локальных метеорологических наблюдений и результатов полевых исследований.

Заклучение. В ходе исследования была осуществлена пространственная оценка водной эрозии почв на территории Жамбылской области на основе универсального уравнения потерь почвы (RUSLE). В качестве исходных данных использовались результаты расчета факторов R (дождевой эрозионной активности), K (почвенной устойчивости), LS (длины и крутизны склона), C (покрова растительности и землепользования) и P (противоэрозионных мероприятий). Итоговый фактор A (Annual Soil Loss) был получен посредством инструментов Raster Calculator в ArcGIS как произведение указанных факторов.

По результатам анализа потенциальные потери почвы (A) варьируются от 0 до 22,4 т/га в год. Преобладающая часть территории (98,4 %) характеризуется низкими показателями эрозии (до 0,3 т/га/год), что свидетельствует о слабовыраженном смыве и относительной устойчивости почвенного покрова. В то же время локальные участки с высокими значениями A сосредоточены в горных и предгорных районах, на крутых склонах и в зонах нерационального землепользования, где фиксируется интенсивная эрозия почвы, достигающая критических уровней.

Наибольшее влияние на уровень эрозии оказали следующие факторы:

- фактор ls – вносит наибольший вклад в эрозионный процесс за счёт выраженного рельефа, особенно в южных и юго-восточных частях области;
- фактор c – оказывает значительное влияние в зонах с пашнями, пастбищами и голой землёй;
- фактор p – в большинстве районов отсутствуют эффективные меры противоэрозионной защиты, что усугубляет ситуацию.

Полученные результаты позволяют сделать следующие выводы:

1. Пространственное моделирование по модели RUSLE эффективно для определения зон с высоким риском водной эрозии почв.
2. Основными зонами риска в Жамбылской области являются предгорные склоны, пастбищные угодья и территории с распаханной землей, расположенные на уклонах.
3. Необходима дифференцированная система противоэрозионных мер, включающая агролесомелиорацию, внедрение почвозащитных технологий в земледелии, а также мониторинг состояния почв в уязвимых районах.
4. Полученные карты и классификации могут служить основой для принятия оптимальных управленческих решений в области устойчивого природопользования и планирования землепользования.

Таким образом, применение модели RUSLE и методов геоинформационного анализа позволяет не только количественно оценить потери почвы, но и разработать пространственно обоснованные меры по снижению эрозионных процессов, что особенно актуально в условиях полупустынных и горных территорий юга Казахстана.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Глазовская М. А. Общая геохимия ландшафтов. – М.: Высшая школа, 1981. – 327 с.
- [2] Тлеумаханов А. М., Мырзахметов С. Б. Оценка эрозионных процессов методом ДЗЗ в условиях Южного Казахстана // Вестник КАЗНИИЗиКР. – 2015. – № 2. – С. 58-64.
- [3] Комитет по управлению земельными ресурсами МИР РК. Государственный отчет о состоянии и использовании земель Республики Казахстан за 2023 год. – URL: <https://www.gov.kz/memleket/entities/qoldau/documents/details/460741>
- [4] РГП «Казгидромет». Агрометеорологический обзор. URL: <https://www.kazhydromet.kz>
- [5] Phinzi, K., Ngetar, N.S., 2019. The assessment of water-borne erosion at catchment level using GIS-based RUSLE and remote sensing: A review. *International Soil and Water Conservation Research* 7(1), 27-46. <https://doi.org/10.1016/j.iswcr.2018.12.002>
- [6] Mukanov, Y., Chen, Y., Baisholanov, S. et al. Estimation of annual average soil loss using the Revised Universal Soil Loss Equation (RUSLE) integrated in a Geographical Information System (GIS) of the Esil River basin (ERB), Kazakhstan. *Acta Geophys.* 67, 921-938 (2019). <https://doi.org/10.1007/s11600-019-00288-0>
- [7] Ramazanov, N., Turyspekova, E., Assylbekov, K., Ovgeldinova, Z., Ahmedova, A., Ayapbekova, A., Samarkhanov, T., Khamzaeva, J. (2023). Soil erosion and impact on recreational resources in the Shyngyrlau Basin, Western Kazakhstan: A multi-analytical assessment // *GeoJournal of Tourism and Geosites*, 51(4spl), 1812-1822. <https://doi.org/10.30892/gtg.514spl22-1177>
- [8] Токсанбаева С. Т., Рамазанова Н. Е., Туусупбеков Ж. А. Оценка эрозии почв по модели «Rusle» бассейна реки Нура // *Journal of Geography and Environmental Management*. – 2021. – Т. 61, № 2. – С. 108-119. – DOI: 10.26577/JGEM.2021.v61.i2.10.
- [9] Маханова Н. Б., Берденов Ж. Г., Абилюдинов К. К., Мендыбаев Е. Х. Оценка эрозии почв по модели «RUSLE» бассейна реки Жыланды // *Journal of Geography and Environmental Management*. – 2020. – Т. 59, № 4. – DOI: 10.26577/JGEM.2020.v59.i4.05.

- [10] Kaliyeva, D., Tokbergenova, A., Mirzabaev, A., Zulpukharov, K., Bissenbayeva, S., Taukebayev, O. Qadir, M. (2025). Assessing Soil Erosion Risk in Kazakhstan: A RUSLE-Based Approach for Land Rehabilitation // Polish Journal of Environmental Studies, 34(3), 3187-3198. <https://doi.org/10.15244/pjoes/187595>
- [11] Акиянова Ф., Каракулов Е., Зинабдин Н., Васильченко Н. Применение методов анализа дистанционных данных для оценки плоскостной эрозии на примере территории Акмолинской области // Гидрометеорология и экология. – 2019. – № (2). – С. 22-37.
- [12] Rakhimova, M., Zulpukharov, K., Assylbekova, A., Zhengissova, N., Taukebayev, O. (2024). Using the Revised Universal Soil Loss Equation and Global Climate Models (CMIP6) to Predict Potential Soil Erosion Associated with Climate Change in the Talas District, Kazakhstan // Sustainability, 16(2), 574. <https://doi.org/10.3390/su16020574>
- [13] Duulatov E, Chen X, Amanambu AC, Ochege FU, Orozbaev R, Issanova G, Omurakunova G. Projected Rainfall Erosivity Over Central Asia Based on CMIP5 Climate Models // Water. 2019; 11(5):897. <https://doi.org/10.3390/w11050897>
- [14] Renard, K.G., Foster, G.R., Weesies, G.A., McCool, D.K., Yoder, D.C. Predicting soil erosion by water: A guide to conservation planning with the Revised Universal Soil Loss Equation (RUSLE). USDA Handbook No. 703. – Washington, D.C.: USDA, 1997. – 404 p.
- [15] Farr, T.G., Rosen, P.A., Caro, E., Crippen, R., Duren, R., Hensley, S., Kobrick, M., Paller, M., Rodriguez, E., Roth, L., Seal, D., Shaffer, S., Shimada, J., Umland, J., Werner, M., Oskin, M., Burbank, D., Alsdorf, D. The Shuttle Radar Topography Mission // Reviews of Geophysics. 2007. Vol. 45(2), RG2004. DOI: 10.1029/2005RG000183
- [16] Esri. Land Cover Explorer. – URL: <https://livingatlas.arcgis.com/landcoverexplorer> (дата обращения: 12.06.2025).
- [17] Fick, S.E., Hijmans, R.J. WorldClim 2: New 1-km spatial resolution climate surfaces for global land areas // International Journal of Climatology. 2017. Vol. 37(12). P. 4302-4315. DOI: 10.1002/joc.5086
- [18] Wischmeier, W.H., Smith, D.D. Predicting Rainfall Erosion Losses: A Guide to Conservation Planning. – USDA Agriculture Handbook No. 537. – Washington, D.C.: U.S. Department of Agriculture, 1978. – 64 p.
- [19] Renard K. G., Freimund J. R. Using monthly precipitation data to estimate the R-factor in the revised USLE // Journal of hydrology. 1994; 157(1-4), 287-306.
- [20] FAO/IIASA/ISRIC/ISSCAS/JRC. Harmonized World Soil Database (version 1.2). Rome: FAO and Laxenburg: IIASA, 2012. URL: <https://www.fao.org/soils-portal/data-hub/soil-maps-and-databases/harmonized-world-soil-database-v12/en/>
- [21] Panagos, P., Borrelli, P., Meusburger, K., Yu, B., Klik, A., Jae Lim, K., Yang, J.E., Ni, J., Miao, C., Chattopadhyay, N., Sadeghi, S.H., Hazbavi, Z., Zabihi, M., Larionov, G.A., Krasnov, S.F., Gorobets, A., Levi, Y., Erpul, G., Birkel, C., Hoyos, N., Naipal, V., Verstraeten, G. Global rainfall erosivity assessment based on high-temporal resolution rainfall records // Scientific Reports. 2015. Vol. 5. Article 11111. <https://doi.org/10.1038/srep11111>
- [22] Borrelli, P., Alewell, C., Alvarez, P., Anache, J. A. A., Baartman, J., Ballabio, C., Bezak, N., Biddoccu, M., Cerdà, A., Chalise, D., Chen, S., Chen, W., De Girolamo, A. M., Gessesse, G. D., Deumlich, D., Diodato, N., Efthimiou, N., Erpul, G., Fiener, P., Panagos, P. Soil erosion modelling: A global review and statistical analysis // Science of the Total Environment. 2021. Vol. 780. Article 146494. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.146494>
- [23] IPCC. 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, 2021. <https://doi.org/10.1017/9781009157896>

REFERENCES

- [1] Glazovskaya, M.A. General Geochemistry of Landscapes. Moscow: Vysshaya Shkola, 1981. 327 p. (in Russ.).
- [2] Tleumakhanov, A.M., Myrzakhmetov, S.B. Assessment of Erosion Processes Using Remote Sensing Methods in the Conditions of Southern Kazakhstan // Vestnik KAZNIIZiKR. 2015. No. 2. P. 58-64 (in Russ.).
- [3] Committee for Land Resources Management of the Ministry of Ecology, Geology and Natural Resources of the Republic of Kazakhstan. State Report on the Condition and Use of Land of the Republic of Kazakhstan for 2023. – URL: <https://www.gov.kz/memleket/entities/qoldau/documents/details/460741> (in Russ.).
- [4] RSE «Kazhydromet». Agrometeorological Review. – URL: <https://www.kazhydromet.kz> (in Russ.).
- [5] Phinzi, K., Ngetar, N.S., 2019. The assessment of water-borne erosion at catchment level using GIS-based RUSLE and remote sensing: A review. International Soil and Water Conservation Research 7(1), 27-46. <https://doi.org/10.1016/j.iswcr.2018.12.002>
- [6] Mukanov, Y., Chen, Y., Baisholanov, S. et al. Estimation of annual average soil loss using the Revised Universal Soil Loss Equation (RUSLE) integrated in a Geographical Information System (GIS) of the Esil River basin (ERB) // Kazakhstan. Acta Geophys. 67, 921-938 (2019). <https://doi.org/10.1007/s11600-019-00288-0>
- [7] Ramazanova, N., Turyspekova, E., Assylbekov, K., Ovgeldinova, Z., Ahmedova, A., Ayapbekova, A., Samarkhanov, T., Khamzaeva, J. (2023). Soil erosion and impact on recreational resources in the Shyngyrlau Basin, Western Kazakhstan: A multi-analytical assessment // GeoJournal of Tourism and Geosites, 51(4spl), 1812-1822. <https://doi.org/10.30892/gtg.514spl22-1177>
- [8] Toksanbayeva, S.T., Ramazanova, N.E., Tusupbekov, Zh.A. Assessment of Soil Erosion Using the RUSLE Model in the Nura River Basin // Journal of Geography and Environmental Management. 2021. Vol. 61, No. 2. P. 108-119. <https://doi.org/10.26577/JGEM.2021.v61.i2.10> (in Russ.).
- [9] Makhanova, N.B., Berdenov, Zh.G., Abildinov, K.K., Mendybayev, E.Kh. Assessment of Soil Erosion Using the RUSLE Model in the Zhylandy River Basin // Journal of Geography and Environmental Management. 2020. Vol. 59, No. 4. <https://doi.org/10.26577/JGEM.2020.v59.i4.05> (in Russ.).
- [10] Kaliyeva, D., Tokbergenova, A., Mirzabaev, A., Zulpukharov, K., Bissenbayeva, S., Taukebayev, O. Qadir, M. (2025). Assessing Soil Erosion Risk in Kazakhstan: A RUSLE-Based Approach for Land Rehabilitation // Polish Journal of Environmental Studies, 34(3), 3187-3198. <https://doi.org/10.15244/pjoes/187595>

- [11] Akiyanova, F., Karakulov, E., Zinabdin, N., Vasilchenko, N. (2019). Application of Remote Sensing Data Analysis Methods for Assessing Sheet Erosion: A Case Study of the Akmla Region // *Hydrometeorology and Ecology*. 2019. No. (2), P. 22-37 (in Russ.).
- [12] Rakhimova, M., Zulpkykharov, K., Assylbekova, A., Zhengissova, N., Taukebayev, O. (2024). Using the Revised Universal Soil Loss Equation and Global Climate Models (CMIP6) to Predict Potential Soil Erosion Associated with Climate Change in the Talas District, Kazakhstan // *Sustainability*, 16(2), 574. <https://doi.org/10.3390/su16020574>
- [13] Duulatov E, Chen X, Amanambu AC, Ochege FU, Orozbaev R, Issanova G, Omurakunova G. Projected Rainfall Erosivity Over Central Asia Based on CMIP5 Climate Models // *Water*. 2019; 11(5):897. <https://doi.org/10.3390/w11050897>
- [14] Renard, K.G., Foster, G.R., Weesies, G.A., McCool, D.K., Yoder, D.C. Predicting soil erosion by water: A guide to conservation planning with the Revised Universal Soil Loss Equation (RUSLE). – USDA Handbook No. 703. Washington, D.C.: USDA, 1997. 404 p.
- [15] Farr, T.G., Rosen, P.A., Caro, E., Crippen, R., Duren, R., Hensley, S., Kobrick, M., Paller, M., Rodriguez, E., Roth, L., Seal, D., Shaffer, S., Shimada, J., Umland, J., Werner, M., Oskin, M., Burbank, D., Alsdorf, D. The Shuttle Radar Topography Mission // *Reviews of Geophysics*. 2007. Vol. 45(2), RG2004. DOI: 10.1029/2005RG000183
- [16] Esri. Land Cover Explorer. – URL: <https://livingatlas.arcgis.com/landcoverexplorer> (дата обращения: 12.06.2025)
- [17] Fick, S.E., Hijmans, R.J. WorldClim 2: New 1-km spatial resolution climate surfaces for global land areas // *International Journal of Climatology*. 2017. Vol. 37(12). P. 4302-4315. DOI: 10.1002/joc.5086
- [18] Wischmeier, W.H., Smith, D.D. Predicting Rainfall Erosion Losses: A Guide to Conservation Planning. – USDA Agriculture Handbook No. 537. Washington, D.C.: U.S. Department of Agriculture, 1978. 64 p.
- [19] Renard K. G., Freimund J. R. Using monthly precipitation data to estimate the R-factor in the revised USLE // *Journal of hydrology*. 1994. Vol. 157, No. 1-4. P. 287-306.
- [20] FAO/IIASA/ISRIC/ISSCAS/JRC. Harmonized World Soil Database (version 1.2). Rome: FAO and Laxenburg: IIASA, 2012. URL: <https://www.fao.org/soils-portal/data-hub/soil-maps-and-databases/harmonized-world-soil-database-v12/en/>
- [21] Panagos, P., Borrelli, P., Meusburger, K., Yu, B., Klik, A., Jae Lim, K., Yang, J.E., Ni, J., Miao, C., Chattopadhyay, N., Sadeghi, S.H., Hazbavi, Z., Zabihi, M., Larionov, G.A., Krasnov, S.F., Gorobets, A., Levi, Y., Erpul, G., Birkel, C., Hoyos, N., Naipal, V., Verstraeten, G. Global rainfall erosivity assessment based on high-temporal resolution rainfall records // *Scientific Reports*. 2015. Vol. 5. Article 11111. <https://doi.org/10.1038/srep11111>
- [22] Borrelli, P., Alewell, C., Alvarez, P., Anache, J. A. A., Baartman, J., Ballabio, C., Bezak, N., Biddoccu, M., Cerdà, A., Chalise, D., Chen, S., Chen, W., De Girolamo, A. M., Gessesse, G. D., Deumlich, D., Diodato, N., Efthimiou, N., Erpul, G., Fiener, P., Panagos, P. Soil erosion modelling: A global review and statistical analysis // *Science of the Total Environment*. 2021. Vol. 780. Article 146494. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.146494>
- [23] IPCC. 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, 2021. <https://doi.org/10.1017/9781009157896>

Г. А. Есимбеков^{*1}, Н. Е. Рамазанова², Т. Т. Мусабаев³

¹*PhD докторант, бас маман (Л. Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті, «Республикалық мемлекеттік қала құрылысын жоспарлау және кадастр орталығы» РМК, Астана, Қазақстан; Gabitnisa@gmail.com)

²PhD, қауымдастырылған профессор (Л. Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті, Астана, Қазақстан; Nurgulram@gmail.com)

³Т. ғ. д., профессор, бас директор (Л. Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті, «Республикалық мемлекеттік қала құрылысын жоспарлау және кадастр орталығы» РМК, Астана, Қазақстан; eti.enu@mail.ru)

ЖЕРДІ ҚАШЫҚТЫҚТАН ЗОНДТАУ ДЕРЕКТЕРІН ГЕОАҚПАРАТТЫҚ ТАЛДАУ НЕГІЗІНДЕ ТОПЫРАҚТЫҢ ЖАЗЫҚТЫҚ ЭРОЗИЯСЫН БАҒАЛАУДЫҢ ЭМПИРИКАЛЫҚ МОДЕЛДЕРІ (ЖАМБЫЛ ОБЛЫСЫНЫҢ МЫСАЛЫНДА)

Аннотация. Мақалада геоақпараттық ортада RUSLE (Revised Universal Soil Loss Equation) үлгісін пайдалана отырып, Жамбыл облысының аумағындағы топырақтың жазықтық эрозиясын бағалау қарастырылады. R (жаңбыр эрозиясының қарқындылығы), K (топырақ төзімділігі), LS (беткейдің ұзындығы мен еңістігі), C (жер жамылғысы және жерді пайдалану) және P (эрозияға қарсы іс-шаралар) факторларын үлгілеу үшін қашықтықтан зондтау деректерін талдау әдістері, бедердің сандық моделі (SRTM), жер беті жамылғысы туралы мәліметтер (Land Cover 2024, 10 м) және климаттық ақпарат (WorldClim v2.1). ArcGIS-те топырақтың орташа жылдық ықтимал жоғалуын көрсететін соңғы A факторы барлық кіріс қабаттарын көбейту арқылы Raster Calculator құралының көмегімен алынды. A мәндері жылына 0-ден 22,4 т/га-ға дейін өзгереді. Аумақтың негізгі бөлігі (98,4 %) әлсіз эрозиямен сипатталады (жылына 0,3 т/га-дан аз). Орташа және эрозияға қатты ұшыраған учаскелер (A мәні жылына 2 т/га-дан жоғары) ауданның шамамен 0,2% құрайды және негізінен таулардың, жоталардың, өзен арналары мен сайлардың баурайында шоғырланған. Эрозия

процестеріне ең үлкен әсер ететін факторларға рельеф (LS факторы), жерді пайдалану құрылымы (C факторы) және аграрлық ландшафттардағы жоғары антропогендік жүктеме екендігі анықталды. Нәтижелер аймақтағы топырақты қорғау іс-шараларын жоспарлау және табиғатты тұрақты пайдалану үшін маңызды негіз болып табылады.

Түйін сөздер: су эрозиясы, RUSLE, ГАЗ, қашықтықтан зондтау, Жамбыл облысы, кеңістіктік талдау, топырақ шығыны.

G. A. Yessimbekov^{*1}, N. Ye. Ramazanova², T. T. Musabaev³

^{1*} PhD doctoral student, Senior Specialist (L. N. Gumilyov ENU, «Respublican Center for State Urban Planning and Cadastre» RSE, Astana, Kazakhstan; Gabitnisa@gmail.com)

² PhD, Associate Professor (L. N. Gumilyov ENU, Astana, Kazakhstan; Nurgulram@gmail.com)

³ Doctor of technical sciences, professor, General Director
(L. N. Gumilyov ENU, «Respublican Center for State Urban Planning and Cadastre» RSE,
Astana, Kazakhstan; eti.enu@mail.ru)

EMPIRICAL MODELS FOR ASSESSING SHEET SOIL EROSION BASED ON GEOINFORMATION ANALYSIS OF REMOTE SENSING DATA (A CASE STUDY OF THE ZHAMBYL REGION)

Abstract. The article considers the assessment of planar soil erosion in the Zhambyl region using the RUSLE (Revised Universal Soil Loss Equation) model in a geoinformation environment. Remote sensing data analysis methods, digital terrain models (SRTM), and land use data (Land Cover 2024, Living Atlas) were used to model factors R (rain erosion aggression), K (soil resistance), LS (slope length and steepness), C (cover and land use), and P (erosion control measures) and climate information (WorldClim v2.1). The final factor A, reflecting the average annual potential soil loss, was obtained in ArcGIS using the Raster Calculator tool by multiplying all input layers. A values range from 0 to 22.4 t/ha per year. The main part of the territory (98.4%) is characterized by mild erosion (less than 0.3 t/ha/year). Moderately and severely eroded areas (A values above 2 t/ha/year) account for about 0.2% of the area and are concentrated mainly on the slopes of mountains, ridges, riverbeds and ravines. It has been established that the relief (LS-factor) and the structure of land use (C-factor) have the greatest influence on erosion processes, especially in agricultural landscapes with high anthropogenic load. The results obtained are an important basis for planning soil protection measures and sustainable environmental management in the region.

Keywords: water erosion, RUSLE, GIS, remote sensing, Zhambyl region, spatial analysis, soil losses.

<https://doi.org/10.55764/2957-9856/2026-1-17-27.2>

МРНТИ 87.03.29

УДК 628.35:582.26:546.56(575.1)

И. К. Каюмова^{*1}, С. М. Турабджанов², Д. Д. Абдурахманов³

^{1*} Докторант (Ташкентский государственный технический университет,
Ташкент, Узбекистан; kayumova.iroda@inbox.ru)

² Д. т. н., профессор, ректор (Ташкентский государственный технический университет,
Ташкент, Узбекистан; tur_sad@mail.ru)

³ Начальник отдела охраны окружающей среды
(АО «Алмалыкский ГМК», Ташкент, Узбекистан; d.abdurahmanov@agmk.uz)

ИССЛЕДОВАНИЕ БИОСОРБЦИИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МИКРОВОДОРОСЛЕЙ РОДА ХЛОРЕЛЛА ДЛЯ ЗАЩИТЫ ВОДНЫХ РЕСУРСОВ

Аннотация. В условиях возрастающей антропогенной нагрузки на водные экосистемы, особенно в промышленно развитых регионах, разработка эффективных методов очистки сточных вод является ключевой задачей водного хозяйства. Представлены результаты разработки экологически безопасной технологии очистки сточных вод металлургических производств от ионов меди (Cu(II)) с использованием биосорбционного потенциала одноклеточных зеленых микроводорослей рода *Chlorella*. Экспериментально изучены толерантность и биосорбционная способность штаммов *Chlorella vulgaris* и *Chlorella pyrenoidosa*, адаптированных к высоким концентрациям меди. Разработана и успешно апробирована в полупромышленных условиях на примере одного из крупнейших промышленных узлов Центральной Азии – ОАО "Алмалыкский горно-металлургический комбинат" (АГМК) пилотная технологическая схема биологической доочистки сточных вод. Показана экономическая и экологическая целесообразность применения биосорбции на основе *Chlorella* для снижения техногенной нагрузки на водные объекты и улучшения качества водных ресурсов в регионах с развитой металлургической промышленностью.

Ключевые слова: биосорбция, ионы меди, сточные воды, микроводоросли, *Chlorella*, тяжелые металлы, очистка воды, водные ресурсы, география загрязнения, биоремедиация.

Введение. Интенсивное развитие промышленности, в особенности металлургического сектора, в таких регионах, как Центральная Азия, сопровождается значительным увеличением объема высокотоксичных сточных вод, что создает серьезную угрозу качеству водных ресурсов [1, 2]. Сточные воды металлургических и гальванических производств характеризуются комплексным загрязнением, среди которого особую опасность для гидробионтов и безопасности водопользования представляют тяжелые металлы. Ионы меди Cu(II) являются одним из наиболее распространенных и токсичных компонентов таких стоков. Обладая высокой растворимостью, биологической активностью и способностью к биоаккумуляции в водных экосистемах и донных отложениях, Cu(II) даже в низких концентрациях оказывают негативное воздействие на водные экосистемы и здоровье человека, что делает проблему их удаления особо актуальной в контексте охраны и рационального использования водных ресурсов [3, 4].

Традиционные технологии очистки сточных вод от тяжелых металлов (химическое осаждение, коагуляция, ионный обмен) демонстрируют высокую эффективность, но имеют ряд существенных недостатков, ограничивающих их устойчивое применение: высокие энергозатраты, необходимость

использования химических реагентов, образование больших объемов вторичных отходов (шламов), требующих специальных полигонов для захоронения, и относительно высокая стоимость эксплуатации [5, 6]. В этой связи разработка и внедрение альтернативных, экологически безопасных и экономически целесообразных технологий, соответствующих принципам «зеленой» экономики, является актуальной научно-практической задачей в области защиты водных ресурсов.

На станциях аэрации аэротенки с микроводорослями работают по принципу симбиотической системы, где водоросли и активный ил взаимно усиливают очистку. В отличие от традиционных аэротенков, где кислород для аэробных бактерий подается механически через аэраторы, в таких системах микроводоросли в процессе фотосинтеза естественным образом насыщают воду кислородом, необходимым для окисления активным илом органических загрязнений и нитрификации аммонийного азота. Взамен бактерии активного ила поставляют водорослям углекислый газ и продукты разложения органики как источник питательных веществ. Этот синергетический эффект позволяет снизить энергозатраты на аэрацию, интенсифицировать процесс удаления азота и фосфора, а также повысить стабильность работы системы, поддерживая параметры иловой смеси (дозу ила 1-3 г/л, возраст ила 5-10 сут, растворенный кислород не менее 2-4 мг/л) [7] в оптимальном диапазоне без использования исключительно механического аэрирования [8, 9].

Как показано на рисунке 1, исследуемые аэротенки представляют собой типовые сооружения, используемые на станциях аэрации в условиях Узбекистана.



Рисунок 1 – Внешний вид аэротенков на станции аэрации (Узбекистан)

Figure 1 – External view of aeration tanks at the aeration station (Uzbekistan)

Одним из наиболее перспективных направлений в этой области является биосорбция – природный процесс поглощения и концентрирования загрязняющих веществ биологическими материалами [10, 11]. В качестве биосорбентов широко исследуются различные микроорганизмы, включая бактерии, грибы и микроводоросли [12, 13]. Среди них микроводоросли, в частности представители рода *Chlorella*, привлекают особое внимание благодаря высокой скорости роста, способности накапливать значительные количества металлов на клеточной стенке, содержащей разнообразные функциональные группы (карбоксильные, гидроксильные, амино-фосфатные), а также возможности культивирования в различных условиях, включая сточные воды, что открывает перспективы для их использования в системах биомелиорации водных объектов [14, 15].

Несмотря на наличие ряда исследований [16-18], посвященных биосорбции металлов микроводорослями, вопросы, связанные с применением локально адаптированных штаммов *Chlorella* для очистки высококонцентрированных медьсодержащих сточных вод именно металлургических производств в условиях Центральной Азии, изучены недостаточно. Цель настоящего исследования – разработка и апробация технологии биосорбционной очистки сточных вод от ионов Cu(II) с использованием штаммов *Chlorella vulgaris* и *Chlorella pyrenoidosa* для снижения антропогенной нагрузки на водные ресурсы, включая изучение механизмов сорбции, кинетики и изотерм процесса в условиях, приближенных к производственным [19].

Географически загрязнение сосредоточено в промышленных зонах Ташкентской, Навоийской и Ферганской областей Республики Узбекистан, где расположены крупные металлургические комбинаты. Эта технология экологически безопасна и экономически выгодна, особенно в условиях субтропического климата Узбекистана, благоприятного для культивирования водорослей.

В глобальном масштабе проблема очистки сточных вод от тяжелых металлов актуальна в связи с промышленным ростом. Объемы сточных вод от металлургии увеличиваются, что приводит к загрязнению поверхностных и подземных вод. Ионы Cu(II) токсичны даже в низких концентрациях, нарушая жизнедеятельность водных организмов.

Материалы и методы исследования. Изучались штаммы одноклеточных зеленых микроводорослей *Chlorella vulgaris* и *Chlorella pyrenoidosa*, выделенные и адаптированные к повышенным концентрациям меди в местных экологических условиях.

Использованы реальные сточные воды Алмалыкского горно-металлургического комбината (АГМК), расположенного в Ташкентской области Узбекистана. Сточные воды комбината характеризуются высоким содержанием ионов Cu(II) (стабильное превышение ПДК [20] для водных объектов рыбохозяйственного значения в несколько раз).

Методы культивирования и адаптации микроводорослей. Культивирование *Chlorella* проводилось в жидкой питательной среде Бристоля в лабораторных условиях при температуре $25 \pm 2^\circ\text{C}$, непрерывном освещении люминесцентными лампами (интенсивность фотосинтетически активной радиации $60 \mu\text{mol фотонов}/\text{м}^2 \cdot \text{с}$) и аэрации [21, 22]. Для получения устойчивых к меди культур, способных функционировать в условиях реальных стоков, проводилась поэтапная адаптация штаммов путем культивирования в средах с постепенно повышающейся концентрацией Cu(II) от 5 до 30 мг/л. Отбирались культуры, демонстрирующие наивысшую выживаемость и скорость роста в стрессовых условиях [23, 24].

Методы анализа. Опыты по биосорбции проводились в колбах Эрленмейера, содержащих сточные воды с заданной начальной концентрацией Cu(II). В систему вносилась заданная доза биомассы и поддерживались определенные условия (рН, температура, освещенность, перемешивание). Пробы отбирались через заданные промежутки времени для построения кинетических кривых. Влияние таких факторов, как начальный рН (2,0–8,0), начальная концентрация металла (5–1000 мг/л), доза биосорбента (0,5–5,0 г/л) и время контакта (5 мин – 7 сут), изучалось в серии последовательных экспериментов для определения оптимальных параметров процесса [25, 26].

Для повышения механической прочности, удобства отделения биосорбента от очищенной воды и возможности его регенерации в условиях потока биомасса *Chlorella* иммобилизовывалась в гелевые шарики на основе альгината кальция. Для этого суспензию водорослей смешивали с раствором альгината натрия (3–4%), полученную смесь капельно вводили в раствор CaCl_2 (0,1 М) для образования сферических гранул диаметром 3–4 мм [27, 28].

Концентрация ионов меди в растворах до и после биосорбции определялась методами атомно-абсорбционной спектроскопии (ААС) с использованием спектрометра Varian AA20+ и масс-спектрометрии с индуктивно связанной плазмой (ICP-MS) для получения высокоточных данных [20, 30]. Для наблюдения за морфологией клеток и визуализации накопления металла применялась сканирующая электронная микроскопия (СЭМ). Плотность клеточной суспензии определялась прямым подсчетом в камере Горяева [31].

Экспериментальные данные по кинетике и равновесию обрабатывались с использованием математических моделей, широко применяемых для описания сорбционных процессов в водных средах.

Модели псевдопервого и псевдвторого порядка [25, 26].

Уравнение Лангмюра:

$$q_e = \frac{q_{max} \cdot K_L \cdot C_e}{1 + K_L \cdot C_e},$$

где q_e – равновесная емкость сорбента, мг/г; q_{max} – максимальная ёмкость монослоя, мг/г; K_L – константа Лэнгмюра, $\text{дм}^3/\text{мг}$; C_e – равновесная концентрация в растворе, $\text{мг}/\text{дм}^3$.

Уравнение Фрейндлиха:

$$q_e = K_F \cdot C_e^{1/n},$$

где K_F и n – эмпирические константы, характеризующие емкость сорбции и интенсивность процесса.

Количество сорбированного металла рассчитывалось по формуле

$$q = \frac{(C_0 - C_e) \cdot V}{m},$$

где C_0 и C_e – начальная и равновесная концентрация $Cu(II)$ в растворе, мг/л; V – объём раствора, dm^3 ; m – масса сухой биомассы, г.

Все эксперименты проводили в трёхкратной биологической повторности.

Результаты. Скрининг показал, что штаммы *Chlorella vulgaris* и *Chlorella pyrenoidosa* обладают значительной природной толерантностью к ионам меди. Однако для эффективной работы в условиях высоких концентраций (до 30 мг/л), характерных для сточных вод АГМК, потребовалась направленная адаптация. В процессе поэтапного повышения концентрации $Cu(II)$ в питательной среде было отобрано несколько устойчивых культур. Адаптированные штаммы демонстрировали восстановление фотосинтетической активности на 60–85% в течение 5-дневного периода роста даже в присутствии металла, в то время как неадаптированные культуры подавлялись.

В работе использовались чистые культуры микроводорослей, как видно из (рисунок 2), применяемые в эксперименте штаммы *Chlorella* имеют характерную для рода сферическую форму и гладкую клеточную стенку.

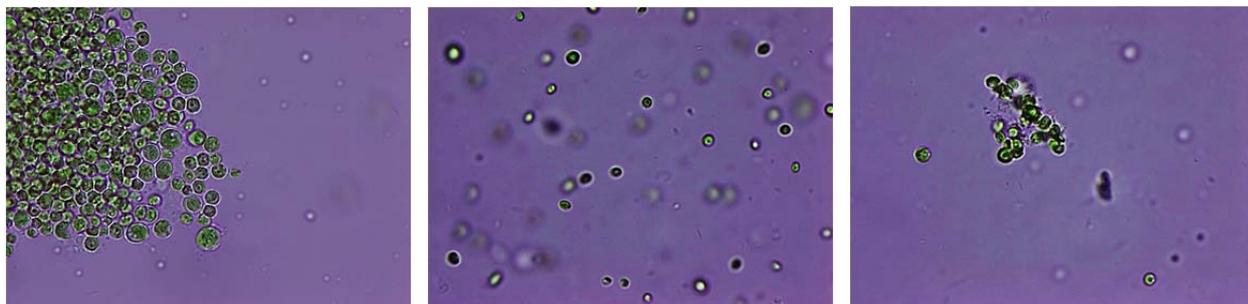


Рисунок 2 – Микроскопический вид чистых культур микроводорослей *Chlorella*, используемых в исследовании (световая микроскопия, $\times 400$, сферические клетки диаметром 3–8 мкм, ярко-зелёная окраска)

Figure 2 – Microscopic view of pure cultures of *Chlorella* microalgae used in the study (light microscopy, $\times 400$ magnification, spherical cells 3–8 μm in diameter, bright green coloration)

Культивирование микроводорослей до экспоненциальной фазы роста, используемой в опытах, иллюстрирует рисунок 3, где представлена живая суспензия *Chlorella* в период активного роста, что свидетельствует о её жизнеспособности перед началом биосорбционного эксперимента. Интенсивная зелёная окраска суспензии подтверждает высокую фотосинтетическую активность культуры.



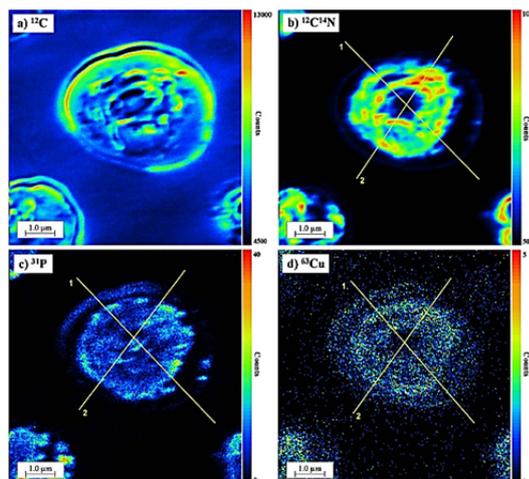
Рисунок 3 – Культура *Chlorella* в экспоненциальной фазе роста (живая суспензия в питательной среде Бристоль, видны плотная зелёная суспензия и активное деление клеток)

Figure 3 – *Chlorella* culture in the exponential growth phase (live suspension in Bristol's medium, showing dense green suspension and active cell division)

Результаты сканирующей электронной микроскопии (СЭМ) (рисунок 4) наглядно демонстрируют морфологические изменения поверхности клеток *Chlorella* после сорбции ионов меди. При этом микроскопические исследования подтвердили сохранение общей целостности клеточной структуры у адаптированных штаммов, что является ключевым фактором для их долгосрочного и стабильного функционирования в системах биологической очистки.

Влияние физико-химических факторов на процесс биосорбции. Комплексное исследование влияния различных параметров показало, что эффективность биосорбции $Cu(II)$ сильно зависит от начального pH водной среды. Максимальное удаление металла (85–92%) наблюдалось в слабокислой

Рисунок 4 –
СЭМ-микроснимок клеток *Chlorella*
до и после биосорбции ионов меди
Figure 4 –
SEM micrograph of *Chlorella* cells
before and after copper ion biosorption



области при начальной рН 5,0–6,0. При более низких рН (2,0–3,0) сорбция значительно снижалась из-за конкуренции между ионами водорода (H^+) и ионами меди (Cu^{2+}) за активные центры на поверхности биомассы. Это связано с тем, что в сильноокислой среде высокая концентрация ионов H^+ приводит к протонированию функциональных групп (таких, как $-COOH$, $-OH$, $-NH_2$) клеточной стенки микроводорослей. В результате их способность связывать катионы металлов, в частности Cu^{2+} , существенно уменьшается. При $pH > 7,0$ происходили образование гидроксидных комплексов меди и ее осаждение, что затрудняло оценку именно биосорбционного процесса и могло приводить к вторичному загрязнению донных отложений.



Рисунок 5 –
Биомасса *Chlorella* после биосорбции Cu^{2+}
(характерное потемнение и буро-зелёная окраска
свидетельствуют о связывании меди)
Figure 5 –
Chlorella biomass after Cu^{2+} biosorption
(characteristic darkening and brownish-green coloration
indicate copper binding)

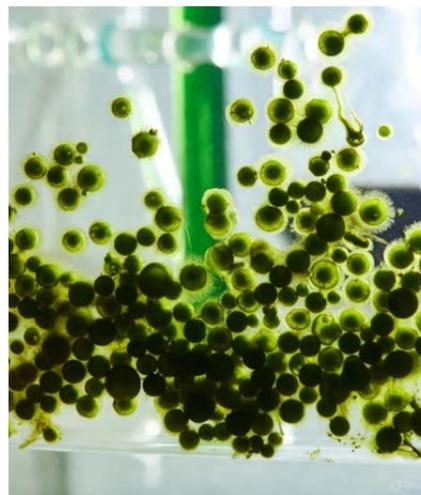


Рисунок 6 –
Внешний вид биомассы *Chlorella*
в нативном состоянии
до проведения биосорбции
Figure 6 –
External appearance of *Chlorella* biomass
in its native state prior
to biosorption

Результат 4-часового контакта биомассы с ионами меди, выраженный в изменении её окраски, представлен на рисунке 5. На иллюстрации отражён начальный этап взаимодействия клеток *Chlorella* с ионами Cu^{2+} , который визуалью проявляется в заметном потемнении биомассы. Это свидетельствует об активном протекании процесса сорбции/взаимодействия, в отличие от рисунка 6, где показан исходный вид биомассы.

Оптимальное время достижения равновесия в статических условиях составило 5–7 сут. Наиболее интенсивно процесс протекал в первые 24–48 ч, после чего его скорость замедлялась. Увели-

чение дозы биомассы с 0,5 до 2,0 г/л приводило к росту эффективности сорбции, однако дальнейшее увеличение дозы не давало пропорционального прироста, что связано с эффектом агрегации клеток и уменьшением доступной удельной поверхности, что важно учитывать при проектировании очистных сооружений.

Кинетика и изотермы биосорбции. Экспериментальные данные по кинетике наилучшим образом соответствовали модели псевдовторого порядка (коэффициент детерминации $R^2 > 0,99$), что указывает на преобладание хемосорбции как лимитирующей стадии процесса. Это предполагает, что скорость сорбции пропорциональна квадрату числа свободных активных центров на поверхности биосорбента и процесс контролируется химической природой взаимодействия.

Анализ изотерм сорбции показал, что процесс хорошо описывается как моделью Лангмюра, так и моделью Фрейндлиха. Высокие значения коэффициента детерминации для модели Лангмюра ($R^2 > 0,98$) свидетельствуют о мономолекулярном характере сорбции на гомогенной поверхности с ограниченным числом идентичных активных центров. Рассчитанная по модели Лангмюра максимальная сорбционная емкость q_{\max} для иммобилизованной биомассы *Chlorella vulgaris* составила 45,2 мг/г. Модель Фрейндлиха также показала хорошее соответствие, что может указывать на некоторую гетерогенность поверхности сорбента и многослойный характер сорбции при высоких концентрациях.

Изменения в этих областях свидетельствуют о комплексообразовании и ионном обмене между ионами Cu(II) и функциональными группами ($-\text{OH}$, $-\text{COOH}$, $-\text{NH}_2$, $-\text{PO}_4^{3-}$) полисахаридов, белков и липидов клеточной стенки микроводорослей. Эти данные имеют фундаментальное значение для понимания механизмов самоочищения водных экосистем и целенаправленного конструирования биосорбционных материалов.

Практическая апробация и разработка технологической схемы для охраны водных ресурсов. На основе лабораторных исследований была разработана пилотная технологическая схема доочистки сточных вод АГМК, направленная на снижение сброса меди в местные водные объекты. Апробация проводилась на действующих очистных сооружениях комбината в отстойниках-усреднителях общей площадью 2250 м² и объемом 1650 м³ каждый, что моделировало условия реального водного объекта.

В систему было введено 600 кг живой биомассы *Chlorella*, адаптированной к меди. В ходе 7-суточного испытания были достигнуты следующие результаты, имеющие важное прикладное значение для водного хозяйства:

биомасса микроводорослей увеличилась в 3 раза (до 1800 кг), что свидетельствует об их активном росте в сточной воде и возможности создания самоподдерживающейся очистной системы;

концентрация ионов Cu(II) в сточной воде была снижена с исходных значений до уровня, не превышающего ПДК для водных объектов рыбохозяйственного значения (0,1 мг/л);

отмечено значительное снижение концентраций ионов натрия и хлоридов, что улучшает общее солевое состояние очищенной воды.

Экологический мониторинг водоема «Кучбулок», куда сбрасывались очищенные сточные воды, не выявил негативных изменений в состоянии гидробионтов, что подтверждает экологическую безопасность предлагаемой технологии для водных экосистем.

Разработанная схема предполагает интеграцию биосорбционного блока с использованием *Chlorella* в существующую цепочку физико-химической очистки, что позволяет создать гибридную, более эффективную и устойчивую систему, способствующую снижению техногенной нагрузки на водные ресурсы региона.

Экономическое и экологическое обоснование для сферы водного хозяйства. Использование биосорбции на основе микроводорослей обладает рядом стратегических преимуществ перед традиционными методами в контексте устойчивого управления водными ресурсами:

Экономичность: снижение эксплуатационных затрат на электроэнергию и химические реагенты. Отработанная биомасса, насыщенная металлом, может быть утилизирована с получением ценных продуктов (биоудобрения, сырье для биотоплива), что соответствует принципам циркулярной экономики.

Экологическая безопасность: значительное сокращение или полное отсутствие вторичных токсичных отходов (шламов), которые сами по себе являются источником долговременного загрязнения почв и грунтовых вод. Технология основана на возобновляемом биологическом ресурсе.

Эффективность и соответствие нормативам: обеспечивает глубокую очистку сточных вод до нормативных показателей, установленных для сброса в водные объекты, что способствует улучшению качества водных ресурсов в промышленных регионах.

Обсуждение. Полученные результаты позволяют рассмотреть несколько фундаментальных и прикладных аспектов, подтверждающих перспективность применения *Chlorella*, опосредованной биосорбции в системах охраны водных ресурсов.

Механистические аспекты и эффективность. Преобладание хемосорбции, описываемой кинетикой псевдотортого порядка, в сочетании с удовлетворительным соответствием изотермы Лангмюра указывает на специфическое и ограниченное по числу центров взаимодействие ионов Cu(II) с функциональными группами клеточной стенки. Это коррелирует с данными спектроскопических исследований, согласно которым карбоксильные и фосфатные группы полисахаридов и пептидогликанов вносят основной вклад в комплексообразование с катионами переходных металлов. Наблюдаемое визуальное потемнение биомассы и морфологические изменения на СЭМ-микроснимках служат прямым свидетельством поверхностной сорбции и возможного внутриклеточного компартментализованного депонирования, что подчеркивает комплексный характер процесса, выходящий за рамки простой физической адсорбции.

Сравнительные преимущества и технологическая синергия. Представленная технология позиционируется не как альтернатива, а как эффективный завершающий этап в гибридных схемах очистки. Ее интеграция после физико-химических методов позволяет достичь предельно низких остаточных концентраций металлов, соответствующих жестким рыбохозяйственным нормативам. Ключевое преимущество перед традиционными реагентными методами (осаждение, ионный обмен) заключается в минимизации вторичных отходов. Образующаяся металлизированная биомасса представляет собой концентрированный продукт, пригодный для дальнейшей утилизации (например, в металлургическом цикле или после пиролиза), что соответствует принципам безотходного производства и циркулярной экономики в отличие от токсичных шламов химического осаждения.

Географический и климатический контекст. Успешная апробация в условиях Узбекистана демонстрирует адаптивность метода к регионам с высокой инсоляцией и дефицитом водных ресурсов. Высокая фотосинтетическая активность *Chlorella* в субтропическом климате позволяет существенно сократить энергозатраты на аэрацию и поддерживать процесс биоочистки за счет солнечной энергии. Это формирует важное конкурентное преимущество для промышленных центров Центральной Азии, где вопросы энергоэффективности и водосбережения носят стратегический характер. Локальная адаптация штаммов к специфическому составу стоков обеспечивает устойчивость и стабильность биосистемы в условиях реального производства.

Экономическое и экосистемное обоснование. Экономический эффект проистекает не только из снижения затрат на реагенты и электроэнергию, но и из потенциальной коммерциализации побочных продуктов. Очищенная вода более высокого качества может быть возвращена в технологический цикл, снижая нагрузку на водозабор, а биомасса с повышенным содержанием микроэлементов рассматривается как сырье для кормовых добавок или биоудобрений. С экосистемной точки зрения метод устраняет риск хронического загрязнения донных отложений растворимыми комплексными соединениями металлов, которые образуются при некоторых химических способах очистки, способствуя долгосрочному восстановлению гидробиоценозов в приемных водоемах.

Таким образом, исследование переводит известный лабораторный феномен биосорбции в практическую плоскость, предлагая инженерно обоснованное решение для снижения антропогенной эвтрофикации водных экосистем тяжелыми металлами. Последующие работы должны быть сфокусированы на оптимизации биореакторов непрерывного действия, изучении мультиметалльных систем и полномасштабном технико-экономическом анализе для различных отраслей промышленности.

Заключение. Проведенное исследование подтвердило высокую эффективность использования штаммов микроводорослей *Chlorella vulgaris* и *Chlorella pyrenoidosa* для биосорбционной очистки сточных вод металлургических производств от ионов меди. Установлены оптимальные параметры процесса и выявлены основные механизмы сорбции, заключающиеся в хемосорбции на функциональные группы клеточной стенки.

Разработанная и апробированная в полупромышленных условиях на АГМК технологическая схема демонстрирует не только техническую реализуемость, но и значительный экологический и

экономический потенциал для решения задач охраны и рационального использования водных ресурсов в промышленно развитых регионах. Предлагаемый биосорбционный метод соответствует принципам «зеленой» экономики и стратегическим направлениям развития Республики Узбекистан в области охраны окружающей среды и водного хозяйства.

Дальнейшие исследования целесообразно направить на оптимизацию иммобилизации биомассы для использования в проточных системах, изучение синергетического эффекта при очистке многокомпонентных смесей тяжелых металлов, характерных для сточных вод различных отраслей промышленности, и масштабирование технологии для внедрения на других промышленных предприятиях с целью снижения совокупной антропогенной нагрузки на водные объекты.

Исследованная технология энергетически и экономически выгодна для условий Узбекистана, позволяет интегрировать очистку воды с получением кормовой биомассы и соответствует задачам устойчивого развития и циркулярной экономики.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Муминова Р. Н., Казимова Н. М. Проблема очистки сточных вод в Узбекистане // Молодой учёный. – 2015. – № 22(102). – С. 47-48. <https://moluch.ru/archive/102/23372/>
- [2] Abo-Alkasem M. I., Hassan N. H., Abo Eloud M. M. Microbial bioremediation as a tool for the removal of heavy metals // Bull Natl Res Cent. – 2023. – No. 47. – P. 31. <https://doi.org/10.1186/s42269-023-01006-z>
- [3] Mehta S. K., Gaur J. P. Use of algae for removing heavy metal ions from wastewater: Progress and prospects // Critical Reviews in Biotechnology. – 2005. – No. 25(3). – P. 113–152. <https://doi.org/10.1080/07388550500248571>
- [4] Al-Rub, F. A. A., El-Naas, M. H., Ashour, I., Al-Marzouqi, M. Biosorption of copper on *Chlorella vulgaris* from single, binary and ternary metal aqueous solutions // Process Biochemistry. – 2006. – No. 41(2). – P. 457-464. <https://doi.org/10.1016/j.procbio.2005.07.018>
- [5] Aksu, Z., Dönmez, G. Binary biosorption of cadmium(II) and nickel(II) onto dried *Chlorella vulgaris*: Co-ion effect on mono-component isotherm parameters // Process Biochemistry. – 2006. – No. 41(4). – P. 860-868. <https://doi.org/10.1016/j.procbio.2005.10.025>
- [6] Турабджанов С. М., Понамарева Т. В., Юсупова Д. А., Назиров З. Ш., Рахимова Л. С. Исследование сорбции ионов меди из сточных вод фосфорнокислым катионитом // Химическая безопасность. – 2018. – № 2(2). – С. 173-182. <https://doi.org/10.25514/CHS.2018.2.14115>
- [7] Jiang, Q., Chen, H., Fu, Z., Fu, X., Wang, J., Liang, Y., Yin, H., Yang, J., Jiang, J., Yang, X., Wang, H., Liu, Z., Su, R. Current Progress, Challenges and Perspectives in the Microalgal-Bacterial Aerobic Granular Sludge Process: A Review // Int J Environ Res Public Health. – 2022. – No. 19(21). – P. 13950. <https://doi.org/10.3390/ijerph192113950>
- [8] Oruganti, R. K., Katam, K., Show, P. L., Gadhamshetty, V., Upadhyayula, V. K. K., Bhattacharyya, D. A comprehensive review on the use of algal-bacterial systems for wastewater treatment with emphasis on nutrient and micropollutant removal // Bioengineered. – 2022. – No. 13(4). – P. 10412-10453. <https://doi.org/10.1080/21655979.2022.2056823>
- [9] Thiruchchelvam, T., Sathasivan, A. Can microalgae-bacteria system started with *Chlorella vulgaris* treat municipal wastewater without mechanical aeration? // Case Studies in Chemical and Environmental Engineering. – 2025. – No. 11. – P. 101236. <https://doi.org/10.1016/j.cscee.2025.101236>
- [10] Chojnacka, K. Using biosorption to enrich the biomass of *Chlorella vulgaris* with microelements to be used as mineral feed supplement // World Journal of Microbiology and Biotechnology. – 2007. – No. 23(7). – P. 1139-1147. <https://doi.org/10.1007/s11274-006-9344-9>
- [11] Al-Qunaibit, M. H. Divalent Cu, Cd, and Pb biosorption in mixed solvents // Bioinorganic Chemistry and Applications. – 2009. – P. 561091. <https://doi.org/10.1155/2009/561091>
- [12] Ahmad, A., Bhat, A. H., Buang, A. Biosorption of transition metals by freely suspended and Ca-alginate immobilised with *Chlorella vulgaris*: Kinetic and equilibrium modeling // Journal of Cleaner Production. – 2018. – No. 171. – P. 1361-1375. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.10.069>
- [13] Cheng, J., Yin, W., Chang, Z., Lundholm, N., Jiang, Z. Biosorption capacity and kinetics of cadmium(II) on live and dead *Chlorella vulgaris* // Journal of Applied Phycology. – 2017. – No. 29(1). – P. 211-221. <https://doi.org/10.1007/s10811-016-0916-2>
- [14] Wanta, K. C., Miryanti, A., Kristijarti, A. P. Biosorption of Cu(II) ions using living microalgae *Chlorella* sp.: Effects of microalgae concentration, salinity, and light color // International Journal of Technology. – 2023. – No/ 14(1). – P. 291-319. <https://doi.org/10.14716/ijtech.v14i1.4995>
- [15] Edris, G., Alhamed, Y., Alzahrani, A. Biosorption of cadmium and lead from aqueous solutions by *Chlorella vulgaris* biomass: Equilibrium and kinetic study // Arabian Journal for Science and Engineering. – 2014. – No. 39(1). – P. 87-93. <https://doi.org/10.1007/s13369-013-0820-x>
- [16] Moreira, V. R., Lebron, Y. A. R., Freire, S. J., Santos, L. V. S., Palladino, F., Jacob, R. S. Biosorption of copper ions from aqueous solution using *Chlorella pyrenoidosa*: Optimization, equilibrium and kinetics studies // Microchemical Journal. – 2019. – No. 145. – P. 119-129. <https://doi.org/10.1016/j.microc.2018.10.027>
- [17] Mahlangu, D., Mphahlele, K., De Paola, F., Mthombeni, N. H. Microalgae-Mediated Biosorption for Effective Heavy Metals Removal from Wastewater: A Review // Water. – 2024. – No. 16(5). – P. 718. <https://doi.org/10.3390/w16050718>
- [18] Almomani, F., Bhosale, R. R. Bio-sorption of toxic metals from industrial wastewater by algae strains *Spirulina platensis* and *Chlorella vulgaris*: Application of isotherm, kinetic models and process optimization // Science of The Total Environment. – 2021. – No. 755(2). – P. 142654. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.142654>

- [19] Kayumova, I. K., Sidicov, S., Egamberdiev, E. A., Turabjanov, S. M. Biosorption of Cu(II) ions from metal plant wastewater using *Chlorella* // *Multidisciplinary Journal of Science and Technology*. – 2025. – No. 5(6). – P. 2398-2402.
- [20] СанПиН РУз №0211-06. Гигиенические критерии и контроль качества воды централизованных систем хозяйственно-питьевого водоснабжения населения Узбекистана. – Ташкент, 2006.
- [21] Andersen, R. A. (ed.). *Algal Culturing Techniques*. – Burlington: Elsevier Academic Press, 2005.
- [22] UTEX Culture Collection of Algae. Bristol Medium. <https://utex.org/products/bristol-medium> (дата обращения: 10.03.2025).
- [23] Johnson, H. L., Stauber, J. L., Adams, M., Jolley, D. F. Copper and zinc tolerance of two tropical microalgae after copper acclimation // *Environ Toxicol*. – 2007. – No. 22(3). – P. 234-244.
- [24] Mechanism of Biological Transport and Transformation of Copper, Cadmium, and Zinc in Water by *Chlorella* // *Water*. – 2024. – No. 16(13). – P. 1906. <https://www.mdpi.com/2073-4441/16/13/1906>
- [25] Aksu, Z. Absorption and Adsorption of Heavy Metals by Microalgae // *Handbook of Microalgal Culture: Applied Phycology and Biotechnology*. – Chichester: Wiley-Blackwell, 2013. – P. 602-622. <https://doi.org/10.1002/9781118567166.ch32>
- [26] Volesky, B. *Biosorption of Heavy Metals*. – Boca Raton: CRC Press, 1990.
- [27] Wilde, E. W., Benemann, J. R. *Biosorption of Heavy Metals by Microalgae in Batch and Continuous Systems // Wastewater Treatment with Algae*. – Berlin; Heidelberg: Springer, 1998. – P. 37-53. https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-662-10863-5_3
- [28] Zeraatkar, A. K., Ahmadzadeh, H., Talebi, A. F., Moheimani, N. R., McHenry, M. P. Biosorption: An Interplay between Marine Algae and Potentially Toxic Elements—A Review // *Marine Drugs*. – 2016. – Vol. 14, No. 4. – Art. 65. <https://doi.org/10.3390/md14040065>
- [29] ГОСТ 31870-2012. Вода питьевая. Определение содержания элементов методами атомной спектрометрии. – Введ. 2013-07-01. – М.: Стандартинформ, 2013. <https://docs.cntd.ru/document/1200097409>
- [30] ГОСТ Р 54276-2010. Вода. Методы определения меди. – Введ. 2012-07-01. – М.: Стандартинформ, 2011. https://allgosts.ru/13/060/gost_r_54276-2010
- [31] Standard Operating Procedures for Analytical Methods and Data Collection in Support of Pilot-Scale Cultivation of Microalgae / EnAlgae Consortium. – Swansea: EnAlgae Project, 2015. <https://repository.oceanbestpractices.org/bitstream/handle/11329/1283/WP1A3.01%20EnAlgae%20SOP%20report-v10%20FINAL.pdf>

REFERENCES

- [1] Muminova, R. N., Kazimova, N. M. The problem of wastewater treatment in Uzbekistan [Problema ochistki stochnykh vod v Uzbekistane] // *Molodoy Ucheny (Young Scientist)*. 2015. No. 22(102). P. 47-48. <https://moluch.ru/archive/102/23372/> (in Russ.)
- [2] Abo-Alkasem, M. I., Hassan, N. H., Abo Elsoud, M. M. Microbial bioremediation as a tool for the removal of heavy metals // *Bulletin of the National Research Centre*. 2023. No. 47. P. 31. <https://doi.org/10.1186/s42269-023-01006-z>
- [3] Mehta, S. K., Gaur, J. P. Use of algae for removing heavy metal ions from wastewater: Progress and prospects // *Critical Reviews in Biotechnology*. 2005. No. 25(3). P. 113-152. <https://doi.org/10.1080/07388550500248571>
- [4] Al-Rub, F. A. A., El-Naas, M. H., Ashour, I., Al-Marzouqi, M. Biosorption of copper on *Chlorella vulgaris* from single, binary and ternary metal aqueous solutions // *Process Biochemistry*. 2006. No. 41(2). P. 457-464. <https://doi.org/10.1016/j.procbio.2005.07.018>
- [5] Aksu, Z., Dönmez, G. Binary biosorption of cadmium(II) and nickel(II) onto dried *Chlorella vulgaris*: Co-ion effect on mono-component isotherm parameters // *Process Biochemistry*. 2006. No. 41(4). P. 860-868. <https://doi.org/10.1016/j.procbio.2005.10.025>
- [6] Turabdzhanov, S. M., Ponomareva, T. V., Yusupova, D. A., Nazirov, Z. Sh., Rakhimova, L. S. Study of copper ion sorption from wastewater using a phosphoric acid cation exchanger [Issledovanie sorbtzii ionov medi iz stochnykh vod fosfornokislym kationitom] // *Khimicheskaya Bezopasnost (Chemical Safety)*. 2018. No. 2(2). P. 173-182. <https://doi.org/10.25514/CHS.2018.2.14115>
- [7] Jiang, Q., Chen, H., Fu, Z., Fu, X., Wang, J., Liang, Y., Yin, H., Yang, J., Jiang, J., Yang, X., Wang, H., Liu, Z., Su, R. Current Progress, Challenges and Perspectives in the Microalgal-Bacterial Aerobic Granular Sludge Process: A Review // *International Journal of Environmental Research and Public Health*. 2022. No. 19(21). P. 13950. <https://doi.org/10.3390/ijerph192113950>
- [8] Oruganti, R. K., Katam, K., Show, P. L., Gadhamshetty, V., Upadhyayula, V. K. K., Bhattacharyya, D. A comprehensive review on the use of algal-bacterial systems for wastewater treatment with emphasis on nutrient and micropollutant removal // *Bioengineered*. 2022. No. 13(4). P. 10412-10453. <https://doi.org/10.1080/21655979.2022.2056823>
- [9] Thiruchchelvam, T., Sathasivan, A. Can microalgae-bacteria system started with *Chlorella vulgaris* treat municipal wastewater without mechanical aeration? // *Case Studies in Chemical and Environmental Engineering*. 2025. No. 11. P.101236. <https://doi.org/10.1016/j.csee.2025.101236>
- [10] Chojnacka, K. Using biosorption to enrich the biomass of *Chlorella vulgaris* with microelements to be used as mineral feed supplement // *World Journal of Microbiology and Biotechnology*. 2007. No. 23(7). P. 1139-1147. <https://doi.org/10.1007/s11274-006-9344-9>
- [11] Al-Qunaibit, M. H. Divalent Cu, Cd, and Pb biosorption in mixed solvents. *Bioinorganic Chemistry and Applications*. 2009. P. 561091. <https://doi.org/10.1155/2009/561091>
- [12] Ahmad, A., Bhat, A. H., Buang, A. Biosorption of transition metals by freely suspended and Ca-alginate immobilised with *Chlorella vulgaris*: Kinetic and equilibrium modeling // *Journal of Cleaner Production*. 2018. No. 171. P. 1361-1375. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.10.069>

- [13] Cheng, J., Yin, W., Chang, Z., Lundholm, N., Jiang, Z. Biosorption capacity and kinetics of cadmium(II) on live and dead *Chlorella vulgaris* // *Journal of Applied Phycology*. 2017. No. 29(1). P. 211-221. <https://doi.org/10.1007/s10811-016-0916-2>
- [14] Wanta, K. C., Miryanti, A., Kristijarti, A. P. Biosorption of Cu(II) ions using living microalgae *Chlorella* sp.: Effects of microalgae concentration, salinity, and light color // *International Journal of Technology*. 2023. No. 14(1). P. 291-319. <https://doi.org/10.14716/ijtech.v14i1.4995>
- [15] Edris, G., Alhamed, Y., Alzahrani, A. Biosorption of cadmium and lead from aqueous solutions by *Chlorella vulgaris* biomass: Equilibrium and kinetic study // *Arabian Journal for Science and Engineering*. 2014. No. 39(1). P. 87-93. <https://doi.org/10.1007/s13369-013-0820-x>
- [16] Moreira, V. R., Lebron, Y. A. R., Freire, S. J., Santos, L. V. S., Palladino, F., Jacob, R. S. Biosorption of copper ions from aqueous solution using *Chlorella pyrenoidosa*: Optimization, equilibrium and kinetics studies // *Microchemical Journal*. 2019. No. 145. P. 119-129. <https://doi.org/10.1016/j.microc.2018.10.027>
- [17] Mahlangu, D., Mphahlele, K., De Paola, F., Mthombeni, N. H. Microalgae-Mediated Biosorption for Effective Heavy Metals Removal from Wastewater: A Review // *Water*. 2024. No. 16(5). P. 718. <https://doi.org/10.3390/w16050718>
- [18] Almomani, F., Bhosale, R. R. Bio-sorption of toxic metals from industrial wastewater by algae strains *Spirulina platensis* and *Chlorella vulgaris*: Application of isotherm, kinetic models and process optimization // *Science of The Total Environment*. 2021. No. 755(2). P. 142654. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.142654>
- [19] Kayumova, I. K., Sidicov, S., Egamberdiev, E. A., Turabjanov, S. M. Biosorption of Cu(II) ions from metal plant wastewater using *Chlorella* No. *Multidisciplinary Journal of Science and Technology*. 2025. No. 5(6). P. 2398-2402.
- [20] Sanitary Rules and Norms of the Republic of Uzbekistan No. 0211-06. Hygienic criteria and quality control of water in centralized systems of domestic and drinking water supply for the population of Uzbekistan [SanPiN RUz №0211-06]. Tashkent, 2006 (in Russ.).
- [21] Andersen, R. A. (editor). *Algal Culturing Techniques*. Burlington: Elsevier Academic Press, 2005.
- [22] UTEX Culture Collection of Algae. Bristol Medium. <https://utex.org/products/bristol-medium> (accessed: 10.03.2025).
- [23] Johnson, H. L., Stauber, J. L., Adams, M., Jolley, D. F. Copper and zinc tolerance of two tropical microalgae after copper acclimation // *Environmental Toxicology*. 2007. No. 22(3). P. 234-244.
- [24] Mechanism of Biological Transport and Transformation of Copper, Cadmium, and Zinc in Water by *Chlorella* // *Water*. 2024. No. 16(13). P. 1906. <https://www.mdpi.com/2073-4441/16/13/1906>
- [25] Aksu, Z. Absorption and Adsorption of Heavy Metals by Microalgae. In: *Handbook of Microalgal Culture: Applied Phycology and Biotechnology*. 2nd edition. Chichester: Wiley-Blackwell, 2013. P. 602-622. <https://doi.org/10.1002/9781118567166.ch32>
- [26] Volesky, B. *Biosorption of Heavy Metals*. Boca Raton: CRC Press, 1990.
- [27] Wilde, E. W., Benemann, J. R. *Biosorption of Heavy Metals by Microalgae in Batch and Continuous Systems*. In: *Wastewater Treatment with Algae*. Berlin; Heidelberg: Springer, 1998. P. 37-53. https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-662-10863-5_3
- [28] Zeraatkar, A. K., Ahmadzadeh, H., Talebi, A. F., Moheimani, N. R., McHenry, M. P. Biosorption: An Interplay between Marine Algae and Potentially Toxic Elements – A Review. *Marine Drugs*. 2016. No. 14(4). P. 65. <https://doi.org/10.3390/md14040065>
- [29] GOST 31870-2012. Drinking water. Determination of elements content by atomic spectrometry methods. Introduced 2013-07-01. Moscow: Standartinform, 2013. <https://docs.cntd.ru/document/1200097409>
- [30] GOST R 54276-2010. Water. Methods for determination of copper. Introduced 2012-07-01. Moscow: Standartinform, 2011. https://allgosts.ru/13/060/gost_r_54276-2010
- [31] Standard Operating Procedures for Analytical Methods and Data Collection in Support of Pilot-Scale Cultivation of Microalgae / EnAlgae Consortium. Swansea: EnAlgae Project, 2015. <https://repository.oceanbestpractices.org/bitstream/handle/11329/1283/WP1A3.01%20EnAlgae%20SOP%20report-v10%20FINAL.pdf>

И. К. Каюмова^{*1}, С. М. Турабжанов², Д. Д. Абдурахманов³

¹ *Докторант (Ташкент мемлекеттік техникалық университеті, Ташкент, Өзбекстан; kayumova.iroda@inbox.ru)

² Технология ғылымдарының докторы, профессор, ректор (Ташкент мемлекеттік техникалық университеті, Ташкент, Өзбекстан; tur_sad@mail.ru)

³ Қоршаған ортаны қорғау кафедрасының меңгерушісі (Алмалық таукен металлургия комбинаты, Ташкент, Өзбекстан; d.abdurahmanov@agmk.uz)

СУ РЕСУРСТАРЫН ҚОРҒАУ ҮШІН ХЛОРЕЛЛА ТҰҚЫМЫНЫҢ МИКРОБАЛДЫРЛАРЫН ҚОЛДАНУ АРҚЫЛЫ БИОСОРБЦИЯНЫ ЗЕРТТЕУ

Аннотация. Су экожүйелеріне, әсіресе өнеркәсіптік аймақтарда антропогендік жүктеменің артуын ескере отырып, ағынды суларды тазартудың тиімді әдістерін әзірлеу суды басқарудың негізгі міндеті болып табылады. Бұл мақалада *Chlorella* тұқымдасының бір жасушалы жасыл микробалдырларының биосорбциялық потенциалын пайдаланып, металлургиялық ағынды сулардан мыс (Cu(II)) иондарын тазартудың экологиялық таза технологиясын әзірлеуге бағытталған зерттеу нәтижелері ұсынылған. Мыстың жоғары

концентрациясына бейімделген *Chlorella vulgaris* және *Chlorella pyrenoidosa* штамдарының төзімділігі мен биосорбциялық қабілеті эксперименталды түрде зерттелді. Орталық Азиядағы ең ірі өнеркәсіптік орталықтардың бірі – Алмалық тау-кен металлургиялық комбинаты (АММК) ААҚ-да биологиялық ағынды суларды тазартудың пилоттық процесінің схемасы әзірленіп, пилоттық жағдайда сәтті сынақтан өткізілді. Металлургия өнеркәсібі дамыған аймақтарда су айдындарына антропогендік жүктемені азайту және су ресурстарының сапасын жақсарту үшін Хлорелла негізіндегі биосорбцияны пайдаланудың экономикалық және экологиялық орындылығы көрсетілген.

Түйін сөздер: биосорбция, мыс иондары, ағынды сулар, микробалдырлар, Хлорелла, ауыр металдар, суды тазарту, су ресурстары, ластану географиясы, биоремедиация.

I. K. Kayumova*¹, S. M. Turabdzhanov², D. D. Abdurakhmanov³

¹ *PhD student

(Tashkent State Technical University, Tashkent, Uzbekistan; kayumova.iroda@inbox.ru)

² D. t. s., Professor, Rector

(Tashkent State Technical University, Tashkent, Uzbekistan; tur_sad@mail.ru)

³ Head of the Environmental Protection Department

(JSC "Almalyk Mining and Metallurgical Combine", Tashkent, Uzbekistan; d.abdurahmanov@agmk.uz)

STUDY OF BIOSORPTION USING *CHLORELLA* MICROALGAE FOR THE PROTECTION OF WATER RESOURCES

Abstract. Under conditions of increasing anthropogenic pressure on aquatic ecosystems, particularly in industrially developed regions, the development of effective wastewater treatment methods is a key objective for water management. This paper presents the results of a study aimed at developing an environmentally safe technology for the purification of metallurgical wastewater from copper ions (Cu(II)) using the biosorption potential of unicellular green microalgae of the genus *Chlorella*. The tolerance and biosorption capacity of *Chlorella vulgaris* and *Chlorella pyrenoidosa* strains adapted to high copper concentrations were studied experimentally. A pilot technological scheme for the biological polishing of wastewater was developed and successfully tested under pilot-scale conditions at one of the largest industrial hubs in Central Asia – JSC "Almalyk Mining and Metallurgical Combine" (AGMK). The economic and environmental feasibility of applying *Chlorella*-based biosorption for reducing the technogenic load on water bodies and improving water resource quality in regions with developed metallurgical industries is demonstrated.

Keywords: biosorption, copper ions, wastewater, microalgae, *Chlorella*, heavy metals, water treatment, water resources, pollution geography, bioremediation.

Гидрология и водное хозяйство

Гидрология және су шаруашылығы

Hydrology and water management

<https://doi.org/10.55764/2957-9856/2026-1-28-40.3>

FTAMP 39.01.75, 39.01.77. 39.03.15

ӨОЖ 627.8:556.38

И. М. Мальковский¹, Л. С. Толеубаева², А. З. Таиров³, М. В. Леман*⁴,
А. У. Абдибеков⁵, Қ. Т. Нарбаева⁶ А. Толекова⁷

¹ Г. ғ. д., профессор, КазНАЕН академигі, БҒҚ («География және су қауіпсіздігі институты» АҚ, Алматы, Қазақстан; aidatol_86@mail.ru)

² Г. ғ. д., БҒҚ («География және су қауіпсіздігі институты» АҚ, Алматы, Қазақстан; listoleu@mail.ru)

³ Г. ғ. к., ЖҒҚ, зертхана жетекшісі («География және су қауіпсіздігі институты» АҚ, Алматы, Қазақстан; amra2005@list.ru)

⁴* PhD докторант, ҒҚ (ҚазҰАЗУ, «География және су қауіпсіздігі институты» АҚ, Алматы, Қазақстан; maxleman131@gmail.com)

⁵ ҒҚ («География және су қауіпсіздігі институты» АҚ, Алматы, Қазақстан; darkhan@mail.ru)

⁶ PhD, АҒҚ («География және су қауіпсіздігі институты» АҚ, Алматы, Қазақстан; narbayeva.kn@gmail.com)

⁷ ҒҚ («География және су қауіпсіздігі институты» АҚ, Алматы, Қазақстан; aidatol_86@mail.ru)

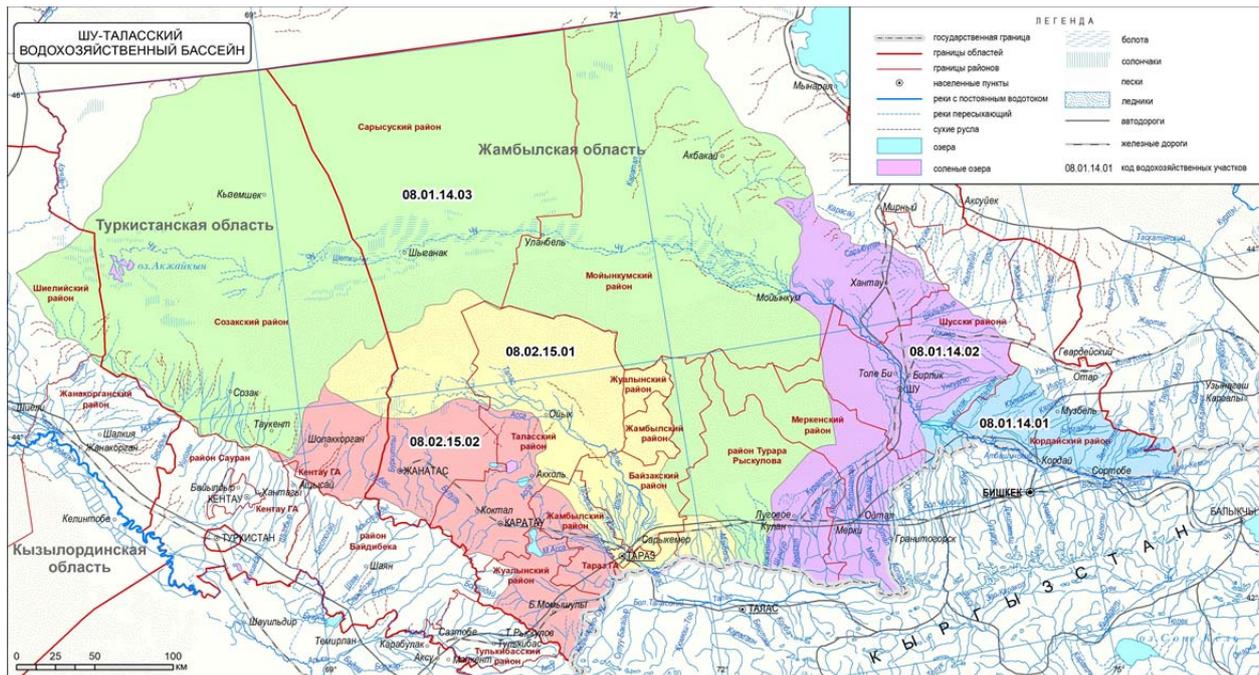
ДИНАМИКАЛЫҚ-СТОХАСТИКАЛЫҚ ТӘСІЛ НЕГІЗІНДЕ ТРАНСШЕКАРАЛЫҚ ШУ-ТАЛАС БАССЕЙНІН СУМЕН ҚАМТАМАСЫЗ ЕТУ ЖҮЙЕСІН МОДЕЛЬДЕУ

Аннотация. Трансшекаралық Шу-Талас бассейнінде Қазақстан Республикасының сумен қамтамасыз ету жүйесін (СҚЖ) дамыту проблемалары тұжырымдалынған және модельдеудің мақсаттары мен міндеттері айқындалынған. Мақсаттарға жетудің ғылыми әдісі ретінде тұрақты сумен қамтамасыз ету мәселесін өзіне тән көпөлшемділік, жанжал, белгісіздік қасиеттері бар күрделі жүйе ретінде қарастыратын жүйелік талдау әдістемесі ұсынылған. Жүйелік талдау құралы ретінде күрделі жүйелерді математикалық динамикалық-стохастикалық модельдеу технологиясы қолданылды, бұл белгілі бір уақыт аралығында нақты объектілердің мінез-құлқын имитациялайтын математикалық модельдермен компьютерде есептеу эксперименттерін жүргізудің сандық әдісі. Шу және Талас өзендерінің бассейндерін сумен қамтамасыз ету жүйелерінің хронологиялық құрылымының сипаттамасы, сумен қамтамасыз ету жүйелерінің логикалық-математикалық сипаттамасы берілген. Қалыптасқан әдіснамалық тәсілдердің әмбебаптығы мен формальды математикалық модельдерді қолданудың арқасында әзірленген әдістеме бейімделу мен масштабталудың жоғары деңгейіне ие.

Әдістеме суды пайдалану сценарийлерін бағалау, су пайдаланушылар арасындағы ықтимал мүдделер қақтығысын анықтау, тәуекелдерді талдау және тұрақты су шаруашылығын дамытуды қамтамасыз етуге және өңірлік су қауіпсіздігін нығайтуға бағытталған келісілген мемлекетаралық шешімдерді негіздеу үшін пайдаланылуы мүмкін.

Түйін сөздер: математикалық (имитациялық) модельдеу, компьютерлік бағдарлама, сумен қамтамасыз ету жүйесі, трансшекаралық бассейн, су қауіпсіздігі, Монте-Карло әдісі.

Кіріспе. Трансшекаралық Шу-Талас бассейнінде Қазақстан Республикасының сумен қамтамасыз ету жүйелерін дамыту мәселелері (1-сурет) Орталық Азияның аридті және жартылай аридті аумақтарының трансшекаралық ағынсыз бассейндеріне тән. Мұндай бассейндердің табиғи-шаруашылық жүйелерін сумен қамтамасыз ету саласындағы негізгі қауіптер мен сын-қатерлер жаһандық және өңірлік климаттың өзгеруі, мемлекетаралық су қатынастарының сәйкес келмеуі, су



1-сурет – Траншекаралық ШТБ қазақстандағы бөлігінің карта-схемасы

Figure 1 – Schematic diagram of the functioning and development of the water supply system

шығынының технологияларын пайдалану және суды реттеу мен су таратудың техникалық құралдарының жетілмегендігі болып табылады. Су қауіптерінің жүзеге асуының салдары «су дағдарыстары» болуы мүмкін, бұл мемлекетаралық су дауларының шиеленісуінде, экологиялық тұрақсыздықтың жаңа көздерінің пайда болуында және әлеуметтік-экономикалық даму бағдарламаларының бұзылуында көрінеді.

Талас өзені негізінен Қырғыз Республикасының аумағында қалыптасады. Өзен ұзындығы 661 км құрайды, оның 444 км Қазақстан Республикасының аумағына жатады. Талас өзенінің бассейні екі бөлікке бөлінеді: таулы (Тараз қаласына дейін) және жазық.

Бассейннің жалпы ауданы 52 700 км², оның ішінде 9 240 км² таулы жер бедері. Ағынды су түзілу аймағы болып табылатын бассейннің таулы бөлігі оның оңтүстік бөлігін алып жатыр және жалпы аумақтың шамамен 40% құрайды. Бассейннің орталық және солтүстік-батыс бөліктері ағынды судың шашыраңқы аймағының құрамына кіретін тау бөктеріндегі жазықтар мен шөлді аймақтардан тұрады. Талас өзенінің ағынды су түзілу аймағының барлық дерлік таулы аймағы Қырғызстан Республикасының аумағында орналасқан.

Қазақстанда шамамен 40 жуық өзен бар, олардың көпшілігі негізгі өзенге жетпей, Мойынқұм өзенінің құмына сіңіп кетеді. Сондай-ақ жалпы ауданы 60,8 км² болатын шамамен 50 көл бар. Қазіргі уақытта Қазақстан Республикасында қарастырылып отырған бассейнде жалпы сыйымдылығы 1,0 млн м³-ден асатын жеті су қоймасы жұмыс істейді. Бұл су қоймаларының жалпы пайдалы сыйымдылығы 23,6 млн м³, ал жалпы ауданы 16,7 км². Ең үлкен су қоймасы – Бөлек-Қызыл (жалпы сыйымдылығы – 14,5 млн м³), ол 1971 жылы Талас өзенінде салынған. Сонымен қатар, бассейнде кішігірім су қоймалары (1,0 млн м³-ден аз) және тоғандар бар, олардың жалпы сыйымдылығы шамамен 14,6 млн м³ құрайды. Талас өзенінің негізгі ағыны 1974 жылы пайдалануға берілген, жобалық сыйымдылығы қалыпты тіркелеген су деңгейінде 520,0 млн м³ болатын ұзақ мерзімді реттеуші су қоймасы Киров су қоймасымен реттелетінін атап өткен жөн.

Шу өзені Қырғызстан Республикасынан бастау алады. Өзен бассейні тығыз және кең гидрографиялық желімен сипатталады, оған жалпы ұзындығы 22 894 км болатын 4906 өзен, сондай-ақ 806 су айдындары (көлдер, тоғандар және су қоймалары) кіреді. Жалпы ұзындығы 1305 км болатын негізгі өзеннен басқа, бассейнде ұзындығы 101-ден 200 км-ге дейінгі сегіз өзен бар. Қалған су ағындары шағын және өте кіші өзендер санатына жатады. Қазақстан Республикасындағы Шу өзені бассейнінде жалпы су бетінің ауданы 238 км² болатын 201 көл бар. Оның ішінде 222 км²

су бетінің ауданы бар 192 көл Шу өзені бассейніне тікелей жатады, ал қалған тоғыз көл, 15,8 км² су бетінің ауданы бар, Шу-Талас өзенаралық алаңында орналасқан. Бассейндегі көлдердің көпшілігінің суы (шамамен 80%) тұщы су, ал тұзды көлдер шамамен 20% құрайды. Кішігірім көлдер әдетте жазда құрғап кетеді.

Қазіргі уақытта Шу өзені бассейнінде жалпы пайдалануға жарамды сыйымдылығы шамамен 580 млн м³ болатын 17 ірі және шағын су қоймасы жұмыс істейді. Олардың ішіндегі ең ірісі – Шу өзеніндегі Тасөткел су қоймасы (пайдалану сыйымдылығы 551 млн м³), ол негізінен суару үшін пайдаланылады.

Шу және Талас өзендерінің су ресурстарын Қазақстан Республикасы мен Қырғыз Республикасы арасында бөлу бұрынғы КСРО Мелиорация және су шаруашылығы министрлігі әзірлеген қағидаттар мен ережелер негізінде су бөлу туралы «Ережелерге...»: «Шу өзенінің ағынын бөлу туралы ережелерге» (Мәскеу, 1983) және «Талас өзенінің ағынын бөлу туралы ережелерге» (Мәскеу, 1983), сондай-ақ «Күркүреусу мен Аспара суын бөлу туралы ережелерге» (Фрунзе, 1948) сәйкес жүзеге асырылады [1].

Жоғарыда аталған құжаттарға сәйкес, Талас өзені бассейнінің су ресурстары тараптар арасында теңдік негізінде бөлінеді, бұл Қазақстан мен Қырғызстан арасындағы су ресурстарын тең пайдалануды білдіреді. Шу өзені бассейнінің су ресурстары Қырғыз Республикасы арасында 58% және Қазақстан Республикасы арасында 42% бөлінеді. Аспара өзенінің көлемі Қазақстан арасында 62% және Қырғызстан арасында 38% бөлінеді. Бұл ережелер бүгінгі күні де өзінің практикалық маңызын сақтап, мемлекетаралық су ынтымақтастығын ұйымдастырудың негізі болып табылады.

2000 жылы «ҚР Үкіметі мен Қырғыз Республикасы Үкіметі арасындағы Шу және Талас өзендеріндегі мемлекетаралық су шаруашылығы құрылыстарын пайдалану туралы келісімге» қол қойылды (Астана, 2000). 2002 жылдың 16 сәуірінде «Келісім...» мемлекеттер парламенттері ратификациялағаннан кейін күшіне енді [2]. Қазақстан мен Қырғызстанның ресми ұстанымдары су қатынастары саласындағы өзара тиімді ынтымақтастықты одан әрі нығайтуға және дамытуға деген ұмтылысты көрсетеді.

Қазақстанның орнықты дамуына көшуінің негізгі шарттарының бірі бола отырып, табиғи-шаруашылық жүйелерді сумен қамтамасыз ету проблемалары аса маңызды әлеуметтік-экономикалық және экологиялық мәнге ие болады [3-7].

Соңғы онжылдықтарда бүкіл әлемде кешенді гидрологиялық модельдеуге және су ресурстарын басқаруда озық технологияларды енгізуге маманданған көптеген зерттеу ұйымдары пайда болды. Су ресурстарын сәтті басқару құрғақшылық пен тұщы судың тапшылығынан бастап су тасқынына дейінгі көптеген мәселелерді қамтитын күрделі және қиын міндетке айналуға. Құрылған компьютерлік бағдарламалар жеке және біріктірілген түрде жұмыс істейді, бұл пайдаланушыларға өзен бассейндерінің су ресурстарын басқару және олардың дамуын жоспарлау мәселелеріне оңтайлы және салмақты шешімдер қабылдауға мүмкіндік береді [8-10].

Қазіргі заманғы компьютерлік технологиялар мен олардың бағдарламалық өнімдерінің пайда болуы белгілі бір әмбебаптыққа ие болуға мүмкіндік береді. Дегенмен, бұл «өнімдерді» трансшекаралық өзен бассейндеріндегі ұлттық мәселелерді шешуге бейімдеу қиын, бұл стандартты емес тәсіл мен нақты міндеттерді талап етеді. Ұлттық су мәселелерін шешуге арналған шетелдік бағдарламалық өнімдердің импорты ұлттық ақпараттық қауіпсіздікті қамтамасыз ету шараларымен шектеледі. Сондықтан, құпия ақпаратты қоса алғанда, барлық қолжетімді ақпаратты пайдалана отырып, нақты бассейндер үшін нақты мәселелерді модельдеу бұл салада өзекті болып келеді.

Материалдар мен әдістер. Мақсаттарға жетудің ғылыми әдісі ретінде жүйелік талдау әдіснамасы қолданылады, онда тұрақты сумен жабдықтау мәселесі көп өлшемділік, қақтығыс және белгісіздік сияқты өзіне тән қасиеттері бар күрделі жүйе ретінде қарастырылады.

Шетелде су шаруашылығы жүйелерін имитациялық және математикалық модельдеу құралдарының белсенді дамуы байқалады. Сонымен, weар (суды бағалау және жоспарлау жүйесі), MODSIM және SWAT типті бағдарламалық кешендер трансшекаралық өзара іс-қимылды, суды пайдаланудың тұрақтылығын бағалауды және климаттың өзгеруінің салдарын болжауды қоса алғанда, кешенді су шаруашылығы міндеттерін талдау үшін қолданылады. Бұл құралдарды пайдалану гидрологиялық және экономикалық параметрлердің ықтималды таралуын ескере отырып, сценарийлік және оңтайландыру модельдеуіне мүмкіндік береді. Заманауи зерттеулер динамикалық-стохастикалық модельдеу әдістерін қуатты есептеу платформаларымен біріктіретін

біріктірілген тәсіл су ресурстарын басқаруда, әсіресе деректердің шектеулілігі мен табиғи процестердің жоғары белгісіздігі жағдайында шешім қабылдау сапасын айтарлықтай арттыруға қабілетті екенін атап көрсетеді.

WEAP (суды бағалау және жоспарлау жүйесі), MODSIM және MIKE BASIN сияқты бағдарламалық шешімдер Еуропа, Африка және Азиядағы трансшекаралық суды басқару жүйелерін талдау үшін сәтті қолданылады. WEAP суды пайдалану сценарийлерінің икемді конфигурациясын және су тапшылығының ықтималдық бағалауын қамтамасыз етеді, MODSIM су квотасының шектеулері бар елдер арасында су ресурстарын оңтайлы бөлуді модельдеуге мүмкіндік береді, ал MIKE BASIN трансшекаралық бассейндерді кешенді талдау үшін гидрологиялық, гидравликалық инженерия және суды пайдалану деректерін біріктіреді. Осы шетелдік құралдарды отандық әзірлемелермен біріктіру гидрологиялық процестердің стохастикалық сипатын да, әлеуметтік-экономикалық шектеулерді де ескеретін су ресурстарын басқарудағы шешімдерді қолдау үшін әмбебап платформаларды қалыптастыруға мүмкіндік береді.

Жүйелік талдау құралы ретінде күрделі жүйелерді математикалық динамикалық-стохастикалық модельдеу технологиясы қолданылады, бұл белгілі бір уақыт аралығында нақты объектілердің мінез-құлқын имитациялайтын математикалық модельдермен компьютерде есептеу эксперименттерін жүргізудің сандық әдісі. Бұл ретте мұндай объектілердің жұмыс істеуі белгіленген уақыт сәтіндегі объектінің ықтималдық күйін және берілген кезеңдегі объект күйінің динамикасын имитациялайтын алгоритмдер жиынтығымен сипатталады [11, 12].

2-суретте жүйенің дамуының ұлғайтылған уақыт аралықтары (T), су ресурстарының жиынтық көрсеткіштері (W) және суға сұраныстың (I), статистикалық критерийлер жиынтығымен бағаланатын агрегаттық кеңістіктік бірліктер (i) пайдаланылған сумен қамтамасыз етудің бассейндік жүйесінің динамикалық-стохастикалық моделінің тұжырымдамасы схемалық түрде ұсынылған (Φ).



2-сурет – Сумен қамтамасыз ету жүйесінің жұмыс істеуі мен даму моделінің схемасы

Figure 2 – Schematic diagram of the model of functioning and development of the water supply system

Бассейндік жүйені басқару объектісінің T уақытының кез келген сәтіндегі жағдайы көп өлшемді вектормен – тұтастай алғанда қолжетімді су ресурстарымен және олардың $W^T_{i,m}$ компоненттері арасындағы таралуымен, сондай-ақ $V^T_{i,n}$ суға деген сұраныспен анықталады. Белгілі бір әсер ету нәтижесінде жүйе қабылданған критерийлер тұрғысынан белгілі бір тиімділік деңгейімен бір күйден екінші күйге ауыса алады. Бұл әсерлер көп өлшемді $Y^T_{i,y}$ векторы түрінде көрсетіледі, мұнда оның құрамдас бөліктері су ресурстарын реттеу және бөлу құралдарының жиынтығы болып табылады. Жүйеде болып жатқан процестерге $Z^T_{i,b}$ бұзылу векторын құрайтын бірқатар кездейсоқ факторлар әсер етеді, оның құрамдас бөлігі су көздерінің біржақты болжанбайтын режимі болып табылады. Сумен қамтамасыз ету жүйесін дамытудың қарастырылып отырған процесінің имитациялық моделінде жаңғырту кезінде алынған нәтижелер кездейсоқ іске асырулар болып табылады. Сондықтан, процестің объективті және тұрақты сипаттамаларын табу үшін оны бірнеше рет көбейту және алынған деректерді кейіннен статистикалық өңдеу қажет.

Сумен қамтамасыз ету жүйесін басқару міндеті оны бастапқы күйден қалаған соңғы күйге, белгілі бір мағынада, белгіленген шектеулерді сақтай отырып, ең тиімді түрде аударуға дейін азаяды. Сумен қамтамасыз ету жүйесін басқару «ресурстарды басқару» құралдары мен «сұранысты басқару» құралдарының үйлесімі деп түсініледі.

Модельдеу әдістемесі тарихи деректерге негізделген модельді калибрлеу кезеңдерін, негізгі гидрологиялық және су шаруашылығы параметрлерінің ықтималдық үлестірімдерін құруды, климаттың өзгеруі мен суды пайдаланудың сценарийлік талдауын жүргізуді және бассейндік су жүйесінің сыртқы факторлардың өзгеруіне сезімталдығын бағалауды қамтыды. Модельдеу нәтижелері су тапшылығының маңызды кезеңдерін анықтауға және қолданыстағы гидротехникалық іс-шаралардың тиімділігін бағалауға, сондай-ақ бассейн елдері арасында су ресурстарын трансшекаралық бөлудің оңтайлы стратегияларын қарастыруға мүмкіндік берді.

Зерттеу нәтижелері. Жүйенің хорологиялық құрылымы оның әкімшілікке тиесілігін (әкімшілік аудан) және пайдаланылатын су көзін анықтайтын элементтермен қалыптасады (1-кесте).

1-кесте – Қазақстан бөлігінің су шаруашылығы аймақтары
Table 1 – Water management areas of the Kazakh part

Су шаруашылық ауданы	Ресурстар
08.01.14.01	1. Қырғыз Республикасынан келетін нақты ағын
	1.1. Өзендермен ағын (Шу)
	1.2. Арна ағыны
	2. Жергілікті өндірілген
	3. Жалпы ағын
	4. Жалпы ресурстар
08.01.14.02	1. Нақты ағын
	1.1. Өзендер арқылы ағын (Шу)
	1.2. Қырғыз Республикасынан арналар арқылы ағын
	2. Жергілікті деңгейде қалыптасқан
	3. Жалпы ағын
	4. Жалпы ресурстар
08.01.14.03	1. Нақты ағын
	2. Жергілікті қалыптасу
	3. Жалпы ағын
	4. Жалпы ресурстар
08.02.15.01	1. Қырғыз Республикасынан (Талас) нақты ағын
	2. Жергілікті деңгейде қалыптасқан
	3. Жалпы ағын
	4. Жалпы ресурстар
08.02.15.02	1. Қырғыз Республикасынан (Күркүреусу)
	2. Жергілікті қалыптасу
	3. Жалпы ағын
	4. Жалпы ресурстар

Шу өзенінің бассейнінде 2 облыс орналасқан: Жамбыл және Түркістан облысы.

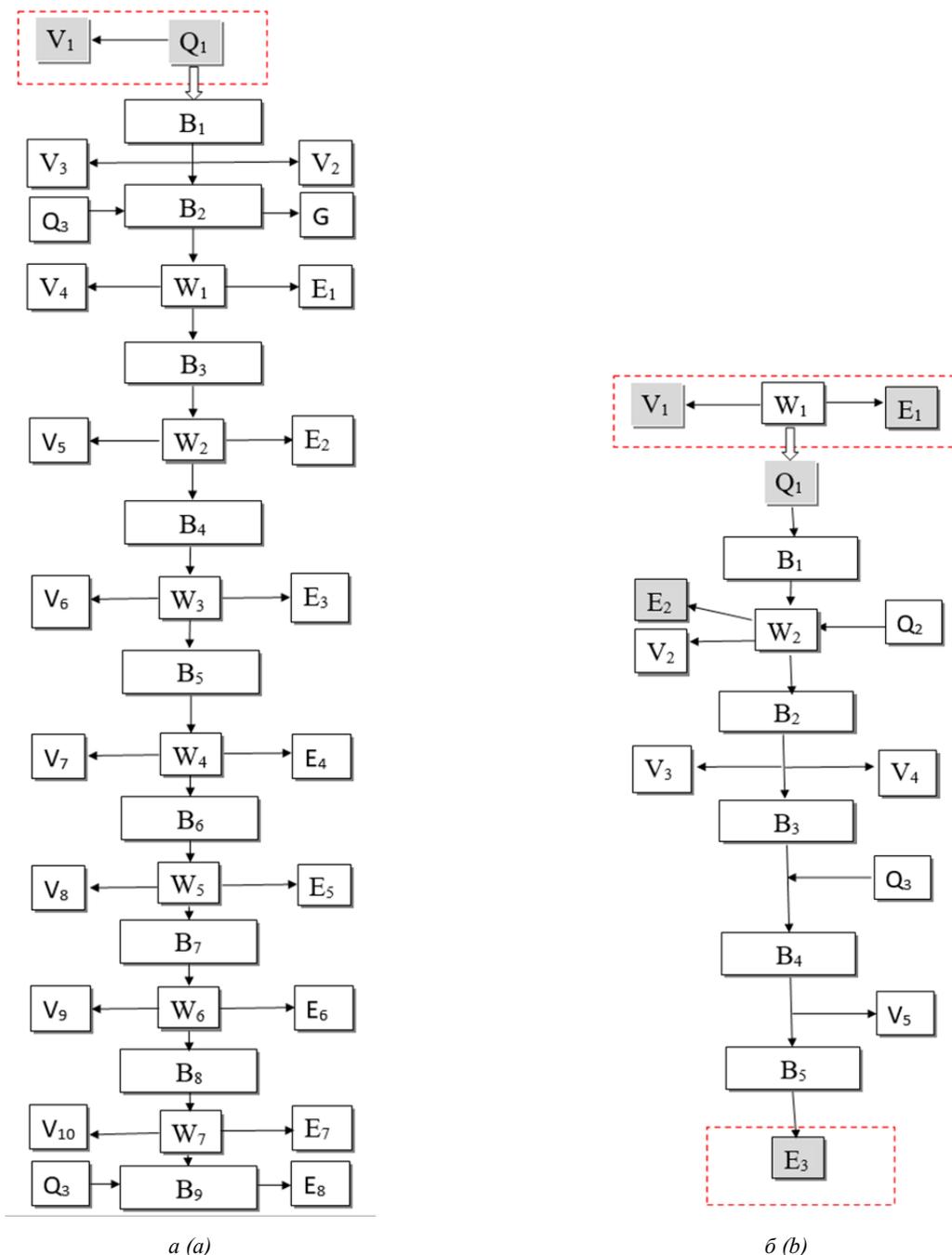
Жамбыл облысына келесі аудандар кіреді: 1) Қордай ауданы; 2) Мерке ауданы; 3) Мойынқұм ауданы; 4) Т. Рысқұлов атындағы аудан; 5) Сарысу ауданы; 6) Шу ауданы.

Түркістан облысына келесі аудан кіреді: 1. Созақ ауданы.

Талас өзенінің бассейнінде Жамбыл облысы орналасқан.

Жамбыл облысына келесі аудандар кіреді: 1) Байзақ ауданы; 2) Жамбыл ауданы; 3) Жуалы ауданы; 4) Талас ауданы; 5) Тараз қаласы.

Траншекаралық Шу-Талас бассейнін сумен қамтамасыз ету жүйесінің имитациялық динамикалық-стохастикалық моделінің құрылымы (Қазақстан бөлігі) 3-суретте және 2-кестеде көрсетілген.



3-сурет – Өзен бассейндерін сумен қамтамасыз ету жүйелерінің имитациялық моделінің алгоритмі: a – Талас; б – Шу

Figure 3 – The algorithm of the simulation model of water supply systems of river basins: a – Talas; b – Shu

2-кесте – Сумен қамтамасыз ету жүйелерінің имитациялық динамикалық-стохастикалық моделінің құрылымы
Table 2 – The structure of the simulation dynamic-stochastic model of water supply systems

Көрсеткіштері	Өзен бассейндерін сумен қамтамасыз ету жүйелері	
	Талас	Шу
1	2	3
Жер үсті су көздері		
Q_1	Талас өз. трансшекаралық ағыны	Трансшекаралық ағын (Шу өз.)
Q_2	Жергілікті ағын	Жергілікті ағын (Ақсу өз.)
Q_3	Ағынды сулар (ағын сулар)	Жергілікті ағын (Құрағаты өз.)
Су алу		
V_1	«1992 ж. Келісімге...» сәйкес Қырғызстан аумағындағы су алу	Қырғызстандағы су алу (Орто-Токой су қоймасы)
V_2	Асса-Талас арнасы	Шу арнасынан су алу (оң жақ жағалау)
V_3	Базарбай арнасы	Шу арнасына су тарту (оң жағалау)
V_4	Юбилейный су қоймасынан су алу	Шу арнасынан су алу (сол жағалау)
V_5	Темірбек су қоймасынан су алу	Фурмановка арнасынан су алу
V_6	Қазақбай су қоймасынан су алу	
V_7	Жиеналы су қоймасынан су алу	
V_8	Ойық су қоймасынан су алу	
V_9	Жадық су қоймасынан су алу	
V_{10}	Белекқызыл су қоймасынан су алу	
Жер асты су көздері		
G	Талас өзені бассейніндегі жер асты суын пайдалану	Шу өзені бассейніндегі жер асты суын пайдалану
Арна ағыны		
B_1	Қазақстан шекарасына ағып келетін теңгерімдік ағын	Тасөткел су қоймасына ағып келетін теңгерімдік ағын
B_2	Юбилейный су қоймасында су қабылдағаннан кейінгі ағып келетін теңгерімдік ағын	теңгерімдік ағын
B_3	Темірбек су қоймасына ағып келетін теңгерімдік ағын	Су қабылдағаннан кейінгі теңгерімдік ағын (V_3 и V_4)
B_4	Қазақбай су қоймасына ағып келетін теңгерімдік ағын	Ағып келгеннен кейінгі теңгерімдік ағын (Q_3)
B_5	Жиеналы су қоймасына ағып келетін теңгерімдік ағын	Су қабылдағаннан кейінгі теңгерімдік ағын (V_5)
B_6	Ойық су қоймасына ағып келетін теңгерімдік ағын	
B_7	Жадық су қоймасына ағып келетін теңгерімдік ағын	
B_8	Белекқызыл су қоймасына ағып келетін теңгерімдік ағын	
B_9	Көл жүйесіне ағып келетін теңгерімдік ағын	
Су қоймаларын толтыру		
W_1	Юбилейный су қоймасының сыйымдылығы (арналық)	Орто-Токой су қоймасының сыйымдылығы (Қырғызстан, арналық)
W_2	Темірбек су қоймасының сыйымдылығы (арналық)	Тасөткел су қоймасының сыйымдылығы (арналық)
W_3	Қазақбай су қоймасының сыйымдылығы (арналық)	
W_4	Жиеналы су қоймасының сыйымдылығы (арналық)	

2-кестенің жалғасы		
1	2	3
W_5	Ойық су қоймасының сыйымдылығы (арналық)	
W_6	Жадық су қоймасының сыйымдылығы (арналық)	
W_7	Белекқызыл су қоймасының сыйымдылығы (арналық)	
Экологиялық су шығындары		
E_1	Юбилейный су қоймасының булануы	Орто-Токой су қоймасының булануы (Қырғызстан, арналық)
E_2	Темірбек су қоймасының булануы	Тасөткел су қоймасының булануы (арналық)
E_3	Қазақбай су қоймасының булануы	Су экожүйелеріне (тасқын көлдер, батпақты жерлер) арналған экологиялық шығындар (шығындар)
E_4	Жиеналы су қоймасының булануы	
E_5	Ойық су қоймасының булануы	
E_6	Жадық су қоймасының булануы	
E_7	Белекқызыл су қоймасының булануы	
E_8	Су объектілеріне (көлдер, жайылма, өзен сулы-батпақты экожүйелер) кететін экологиялық шығындар	

Жүйенің негізгі су пайдаланушылары коммуналдық-тұрмыстық секторлар, өнеркәсіп және ауыл шаруашылығы болып табылады. Бассейндік сумен қамтамасыз ету жүйесінің даму сценарийлерін болжамды даму деңгейлері (2030, 2040 және 2050 жж.) бойынша салыстырмалы бағалау су қауіпсіздігі критерийлеріне: тұрақтылыққа, әділдікке және тәуекелге негізделіп жүргізіледі.

Математикалық модельдің құрылымы кеңістік пен уақыт шеңберінде ақпараттың жоғары деңгейде агрегациялануына негізделген Қазақстандағы сумен қамтамасыз ету жүйелерін жоспарлау мен дамытудың ұзақ мерзімді (стратегиялық) мәселелерін шешуге бағытталған.

Жүйенің негізгі кеңейтілген элементтері: агрегаттық су көздері (трансшекаралық және жергілікті өзен ағыны ($Q_{i,n}^T$), жер асты сулары ($G_{i,n}^T$) және бассейнаралық ағындар ($U_{i,n}^T$); агрегаттық су пайдаланушылар ($V_{i,n}^T$) – әлеуметтік-экономикалық (коммуналдық-тұрмыстық, өнеркәсіптік, ауылшаруашылық) және экологиялық ($E_{i,n}^T$) (жайылма, атырау, көл); арналық және теңгерімдік ағын ($B_{i,n}^T$); ішкі және шеткі су айдындары ($W_{i,n}^T$).

Жүйенің болжамды зерттеу кезеңі 30 жылды (2020-2050) құрайды, үш кезең (τ) жүйенің динамикасын 2030, 2040 және 2050 жж. деңгейлерінде анықтайды, жүйенің стохастикалық өзгергіштігі бір жылдық (T) уақыт қадамымен сипатталады. Өзен ағынының жылдық қатарын жасау үшін ағынның ықтималдық үлестірім функцияларын пайдалануға және диапазон $0 \leq \varphi^T \leq 99$ бойынша біркелкі бөлінген «жалған кездейсоқ сандарды» компьютерлік генерациялауға негізделген Монте-Карло ($2020 \leq T \leq 2050$ болжам кезеңінде) әдісі таңдалды.

Жылдық ағынның модульдік коэффициенттерін (k_i^T) модельдеуге берілген заңға және ықтималдық үлестірімінің параметрлеріне (Φ) сәйкес жүзеге асырылады:

$$k_i^T = \Phi(\varphi^T, C_V, C_S, r),$$

мұнда φ^T – жалған кездейсоқ біркелкі таралған сан; C_V и C_S – вариация және асимметрия коэффициенттері; r – автокорреляция коэффициенті.

Ағын нормасының берілген мәндерінде жылдық ағынның жалған кездейсоқ қатарларын \bar{Q} модельдеу келесі формула бойынша жүргізіледі:

$$Q_i^T = k_i^T \cdot \bar{Q}, \quad (1)$$

мұнда Q_i^T – T -ші жылдағы i -ші су көзінің жылдық ағынының мәні.

Жүйені дамытудың әрбір кезеңіндегі агрегатталған су пайдаланушыларының суға деген сұранысы әкімшілік аудандардың сұранысын қосу формуласы арқылы анықталады:

$$V_i^r = \sum_{j=1} (V_{i,j,k}^r + V_{i,j,n}^r + V_{i,j,c}^r), \quad (2)$$

мұнда i – біріктірілген су пайдаланушылар; j – i -ші су пайдаланушы құрамындағы әкімшілік аудандар; k, n, c – тиісінше, коммуналдық-тұрмыстық, өнеркәсіптік, ауылшаруашылық компоненттері.

Бассейндегі өзен ағынының экологиялық шығындары (булану мен сүзілуден туындайтын өнімді емес шығындар) арна ағынының мәніне немесе су айдындарының беткі ауданына эмпирикалық түрде белгіленген нақты су шығындарының көбейтіндісі ретінде агрегаттық көрсеткіштермен мына формулаларға сәйкес анықталады:

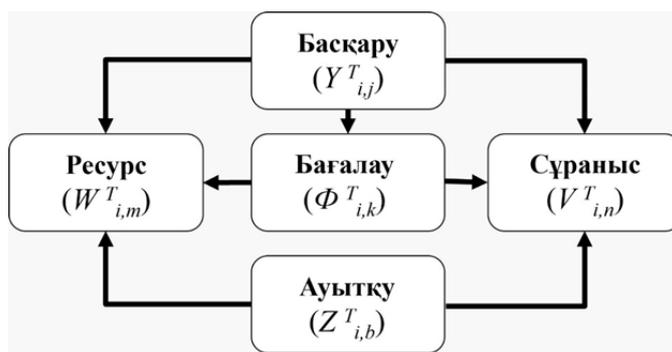
$$E_1^T = e_1^r (Q_1^T + Q_2^T), \quad (3)$$

$$E_2^T = e_2^r F_1^T, \quad (4)$$

мұнда $e_1^r, e_2^r - \tau$ (б.р.) кезеңіндегі арна ағынының жоғалуының эмпирикалық коэффициенттері.

Математикалық модель бойынша оны заманауи бағдарламалау тілдерінде компьютерлік іске асыру әзірленуде [13-19]. Компьютерлік модельдің жұмысы бірнеше кезеңнен тұрады: бастапқы деректерді жүктеу, есептеуге деректерді дайындау, Монте-Карло әдісін қолдана отырып, көрсетілген ықтималдық үлестірім функцияларына (жергілікті және трансшекаралық) негізделген жылдық өзен ағыны серияларын модельдеу, халық, өнеркәсіп, ауыл шаруашылығы және табиғи нысандар бойынша суға деген сұраныстың динамикасын модельдеу, болжамды даму деңгейлеріндегі негізгі жүйе компоненттері үшін су ресурстарының тапшылығы мен артықшылығын анықтай отырып, болжамды суды басқару теңгерімдерін модельдеу, қабылданған су қауіпсіздігі критерийлеріне негізделген сценарийлерді бағалау және модельдеу нәтижелерін визуализациялау. Сарапшының модельмен жұмысының соңғы кезеңі келесі эксперимент жүргізу және сумен қамтамасыз ету жүйесінің (СКЖ) тұрақты дамуы бойынша ұсыныстар беру мақсатында «ресурстарды басқару» және «сұранысты басқару» құралдарын пайдалана отырып, анықталған қауіптер мен қиындықтарға жауап беру шараларын әзірлеумен модельдеу нәтижелерін талдау және талқылау.

Имитациондық моделін компьютерде іске асыру бірге жұмыс істейтін әртүрлі жүйелердің күрделі жиынтығы болып табылады [20-22]. Бағдарламалық жасақтама жиынтығы интерактивті пайдаланушы интерфейсмен, дерекқорды басқарумен, операциялық жүйенің өзара әрекеттесуімен және көмекші модульдермен жұмыс істеу үшін әртүрлі кітапханаларды біріктіреді (4-сурет).



4-сурет – Модульдер диаграммасы және олардың арасындағы байланыстар

Figure 4 – Diagram of modules and relationships between them

Нәтижелерді талқылау. Шу-Талас трансшекаралық бассейніндегі Қазақстанның сумен қамтамасыз ету жүйесін дамыту мәселелері тұжырымдалынды, зерттеудің мақсаттары мен міндеттері айқындалынды.

Тұжырымдалған мақсаттар мен міндеттерге қол жеткізу үшін имитациялық динамикалық-стохастикалық модельдеу әдіснамасын қолданудың тиімділігі негізделген.

Модельдің кеңістіктік-уақыттық құрылымын және оның жұмыс істеу ережелерін анықтайтын талдап тексеру деңгейлері табылды.

Суды басқару жүйесінің логикалық және математикалық сипаттамасы суды басқару жүйесінің компоненттерінің – жер үсті және жер асты су көздерінің, әлеуметтік-экономикалық және экологиялық су пайдаланушылардың, сондай-ақ суды басқару инфрақұрылымы нысандарының жұмыс істеуі мен дамуын көрсететін өзара байланысты алгоритмдер жиынтығы ретінде берілген.

Имитациялық модельдеуді қолдана отырып, сумен қамтамасыз ету жүйесінің дамуын сценарийлік талдаудың бірінші кезектегі міндеттері тұжырымдалған, соның ішінде:

– климаттың өзгеруі және көршілес елдердің аумағынан трансшекаралық ағынның азаюы туралы деректерді ескере отырып, бассейнді қолжетімді су ресурстарының өзгеруіне арналған сценарийлік болжамдарды әзірлеу және модельдеу;

– халық санының болжамы, суды көп қажет ететін өндірістердің даму гипотезалары, табиғат объектілерін сақтау нормативтері негізінде бассейнді табиғи-шаруашылық жүйесінің суға сұраныс динамикасын әзірлеу және модельдеу;

– сумен қамтамасыз ету жүйесінің су шаруашылығы инфрақұрылымын оңтайландыру сценарийлерін әзірлеу және модельдеу, оның ішінде өзен ағынының бассейнаралық тасымалы және баламалы су көздерін игеру;

– модельдеу нәтижесінен максималды ақпарат алу үшін компьютерлік имитациялық модельдеу эксперименттерін жоспарлау, жүргізу және нәтижелерді талдау.

Қорытынды. Математикалық модельді қолдануға негізделген әзірленген зерттеу әдістемесі трансшекаралық Шу-Талас бассейнінің су шаруашылығы кешенін Стратегиялық жоспарлау саласында басқарушылық шешімдер қабылдауды қолдаудың, сондай-ақ өңірлік су қауіпсіздігін қамтамасыз етудің тиімді құралы болып табылады. Бұл әдісті қолдану су ресурстарын бөлуге және пайдалануға әсер ететін табиғи, әлеуметтік-экономикалық және басқару факторларын жан-жақты ескеруге мүмкіндік береді. Белгіленген тәсілдердің әмбебаптығына байланысты әдістемені басқа трансшекаралық өзен бассейндеріндегі су ресурстарын талдау және басқару үшін бейімдеуге және қолдануға болады.

Ұсынылған құрылым су ресурстарын басқарудың ақпараттық-аналитикалық жүйесінің логикалық құрылған және функционалды түрде аяқталған архитектурасын көрсетеді. Оны құрудың модульдік принципі жоғары икемділікті және жүйені әртүрлі даму мақсаттары мен сценарийлеріне бейімдеу мүмкіндігін қамтамасыз етеді, сондай-ақ ықтимал тәуекелдерді анықтауға, су шаруашылығының тұрақтылығын бағалауға және қабылданған шешімдердің салдарын талдауға мүмкіндік береді.

Деректерді визуализациялау мен графикалық бейнелеудің заманауи құралдарын біріктіру сарапшыларға, талдаушыларға және шешім қабылдаушыларға талдау нәтижелерінің көрнекілігі мен қол жетімділігіне ықпал етеді, суды пайдалану және су қауіпсіздігі саласындағы басқару процестерінің негізділігі мен тиімділігін арттырады.

Қаржыландыру. Зерттеу Қазақстан Республикасы Ғылым және жоғары білім Комитетінің қаржылық қолдауымен «Қазақстан Республикасының су қауіпсіздігі: 2050 жылға дейінгі кезеңге арналған климаттық өзгерістер мен шаруашылық қызмет жағдайындағы трансшекаралық Шу-Талас бассейні» тақырыбы бойынша орындалды.

ӘДЕБИЕТ

- [1] Положение о делении стока в бассейне реки Шу. Минводхоз СССР. – Москва, 1983. – 12 с.
- [2] Временное положение о водodelении р. Талас, Куркуреу-су и Аспара. Главводхоз СССР. – Фрунзе, 1948. – 25 с.
- [3] Мальковский И. М. Географические основы водообеспечения природно-хозяйственных систем Казахстана. – Алматы, 2008. – 204 с.
- [4] Медеу А. Р., Мальковский И. М., Толеубаева Л. С. Водные ресурсы Казахстана: оценка, прогноз, управление (концепция). – Алматы, 2012. – 94 с.
- [5] Медеу А. Р., Мальковский И. М., Толеубаева Л. С. Управление водными ресурсами Республики Казахстан: проблемы и решения // Материалы I международной научно-практической конференции «Гидрология и инновационные технологии в водном хозяйстве». – Астана, 2015. – С. 18-22.
- [6] Мальковский И. М., Толеубаева Л. С. К формированию единой системы водообеспечения Республики Казахстан // Вопросы географии и геоэкологии. – Алматы, 2010. – № 2. – С. 19-23.
- [7] Alimkulov S., Makhmudova L., Zagidullina A. Long-term water level projections for Lake Balkhash using scenario-based water balance modeling under climate and socioeconomic uncertainties // Water. – 2025. – Vol. 17, No. 13. – Article 2021. – DOI: 10.3390/w17132021.

- [8] Alcamo J., Gallopín G. Building a new generation of scenarios for environmental change. – Dordrecht: Springer, 2009. – 290 p.
- [9] Henriques V. Transboundary water management in Central Asia: Challenges and opportunities // *Environmental Science & Policy*. – 2015. – Vol. 54. – P. 25-36.
- [10] Mahmoud M., Liu Y., Hartmann H., Stewart S. A formal framework for scenario development in water resources planning // *Environmental Modelling & Software*. – 2011. – Vol. 26, No. 7. – P. 798-808.
- [11] Dong C., Zhang J., Guo S. Scenario analysis for sustainable water management // *Journal of Hydrology*. – 2013. – Vol. 493. – P. 45-58.
- [12] Leman M., Tairov A., Malkovskiy I., Toleubaeva L., Aldiyarova A. Dynamic-stochastic model of sustainable water resources management in Kazakhstan // *News of the National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan. Series of Geology and Technical Sciences*. – 2025. – No. 6(474). – P. 151-167. – DOI: 10.32014/2025.2518-170X.577.
- [13] Мальковский И. М., Толеубаева Л. С., Толекова А., Долбешкин М. В., Пузиков Е. М. Оценочная модель сценариев развития единой системы водообеспечения Республики Казахстан // «Вопросы географии и геоэкологии». – Алматы, 2015. – № 2. – С. 15-25.
- [14] Бектурганов Н. С., Пивоваров А. Н., Мальковский И. М. Водная безопасность Республики Казахстан: транскозахстанский канал «Ертис-Сырдария» // *Известия НАЕН*. – Астана, 2013. – № 4. – С. 4-9.
- [15] Официальный сайт MIKE powered by DHI [Электронный ресурс]. – URL: <https://www.mikepoweredbydhi.com/>.
- [16] Бектурганов Н. С., Пивоваров А. Н., Мальковский И. М. Водная безопасность Республики Казахстан: транскозахстанский канал «Ертис-Сырдарья» // *Известия НАН РК*. – Астана, 2013. – № 4. – С. 4-9.
- [17] Официальный сайт Hydrologic Engineering Center (HEC), U.S. Army Corps of Engineers [Электронный ресурс]. – URL: <http://www.hec.usace.army.mil/>.
- [18] Официальный сайт Aquaveo, LLC [Электронный ресурс]. – URL: <https://www.aquaveo.com/>.
- [19] Мальковский И. М., Толеубаева Л. С., Сорокина Т. Е., Тайров А. З., Пузиков Е. М., Толекова А., Абдибеков Д. У., Долбешкин М. В., Поветкин Р. Д. Методика имитационного динамико-стохастического моделирования систем водообеспечения Республики Казахстан // *Материалы МНПК «Водные ресурсы Центральной Азии и их использование», посвященной подведению итогов объявленного ООН 10-летия «Вода для жизни»*. – Алматы, 2016. – Т. 1. – С. 125-132.
- [20] Ji L., Wu T., Xie Y., Huang G., Sun L. A novel two-stage fuzzy stochastic model for water supply management from a water-energy nexus perspective // *Journal of Cleaner Production*. – 2020. – Vol. 277. – P. 123386. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.123386>.
- [21] Manakou V, Tsiakis P., Tsiakis T., Kungolos A. Management of the Hydrological Basin of Lake Koronia using Mathematical Programming <http://www.srcosmos.gr/srcosmos/showpub.aspx?aa=15664>.
- [22] Dong C., Zhang J., Guo S. Scenario analysis for sustainable water management // *Journal of Hydrology*. – 2013. – Vol. 493. – P. 45-58.

REFERENCES

- [1] Regulations on the division of flow in the Shu River basin. USSR Ministry of Water Resources. Moscow, 1983. 12 p. (in Russ.).
- [2] Provisional Regulation on Water Distribution in the Talas, Kurkureu-su, and Aspara Rivers. Main Water Management Administration of the USSR. Frunze, 1948. 25 p. (in Russ.).
- [3] Malkovsky I. M. Geographical Foundations of Water Supply for Natural and Economic Systems in Kazakhstan. Almaty, 2008. 204 p. (in Russ.).
- [4] Medeu A. R., Malkovsky I. M., Toleubaeva L. S. Water resources of Kazakhstan: assessment, forecast, management (concept). Almaty, 2012. 94 p. (in Russ.).
- [5] Medeu A. R., Malkovsky I. M., Toleubaeva L. S. Water resource management in the Republic of Kazakhstan: problems and solutions // *Proceedings of the First International Scientific and Practical Conference «Hydrology and Innovative Technologies in Water Management»*. Astana, 2015. P. 18-22 (in Russ.).
- [6] Malkovsky I. M., Toleubaeva L. S. On the formation of a unified water supply system in the Republic of Kazakhstan // *Issues of geography and geoecology*. Almaty, 2010. No. 2. P. 19-23 (in Russ.).
- [7] Alimkulov S., Makhmudova L., Zagidullina A. Long-term water level projections for Lake Balkhash using scenario-based water balance modeling under climate and socioeconomic uncertainties // *Water*. 2025. Vol. 17, No. 13. Article 2021. DOI: 10.3390/w17132021.
- [8] Alcamo J., Gallopín G. Building a new generation of scenarios for environmental change. Dordrecht: Springer, 2009. 290 p.
- [9] Henriques V. Transboundary water management in Central Asia: Challenges and opportunities // *Environmental Science & Policy*. 2015. Vol. 54. P. 25-36.
- [10] Mahmoud M., Liu Y., Hartmann H., Stewart S. A formal framework for scenario development in water resources planning // *Environmental Modelling & Software*. 2011. Vol. 26, No. 7. P. 798-808.
- [11] Dong C., Zhang J., Guo S. Scenario analysis for sustainable water management // *Journal of Hydrology*. 2013. Vol. 493. P. 45-58.
- [12] Leman M., Tairov A., Malkovskiy I., Toleubaeva L., Aldiyarova A. Dynamic-stochastic model of sustainable water resources management in Kazakhstan // *News of the National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan. Series of Geology and Technical Sciences*. 2025. No. 6 (474). P. 151-167. DOI: 10.32014/2025.2518-170X.577.
- [13] Malkovsky I. M., Toleubaeva L. S., Tolekova A., Dolbeshkin M. V., Puzikov E. M. Evaluation model of development scenarios for the unified water supply system of the Republic of Kazakhstan // *Problems of Geography and Geoecology*. Almaty, 2015. No. 2. P. 15-25 (in Russ.).

- [14] Bekturganov N. S., Pivovarov A. N., Malkovsky I. M. Water security of the Republic of Kazakhstan: the trans-Kazakhstan «Ertis-Syrdarya» canal // *Izvestiya NAEN*. Astana, 2013. No. 4. P. 4-9 (in Russ.).
- [15] Official website of MIKE powered by DHI. [Electronic resource]. – URL: <https://www.mikepoweredbydhi.com/> (in Russ.).
- [16] Bekturganov N. S., Pivovarov A. N., Malkovsky I. M. Water security of the Republic of Kazakhstan: the trans-Kazakhstan Ertis-Syrdarya canal // *News of the National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan*. Astana, 2013. No. 4. P. 4-9 (in Russ.).
- [17] Official website of the Hydrologic Engineering Center (HEC), U.S. Army Corps of Engineers. [Electronic resource]. – URL: <http://www.hec.usace.army.mil/> (in Russ.).
- [18] Official website of Aquaveo, LLC. [Electronic resource]. – URL: <https://www.aquaveo.com/>.
- [19] Malkovsky I. M., Toлеубаева L. S., Sorokina T. E., Tairov A. Z., Puzikov E. M., Toлекова A., Abdibekov D. U., Dolbeshkin M. V., Povetkin R. D. Methodology of simulation dynamic-stochastic modeling of water supply systems of the Republic of Kazakhstan // *Proceedings of the International Scientific and Practical Conference «Water Resources of Central Asia and Their Use»*, dedicated to summarizing the UN-declared Decade «Water for Life». Almaty, 2016. Vol. 1. P. 125-132 (in Russ.).
- [20] Ji, L., Wu, T., Xie, Y., Huang, G., Sun, L. (2020). A novel two-stage fuzzy stochastic model for water supply management from a water-energy nexus perspective. *Journal of Cleaner Production*, 277, 123386. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.123386>.
- [21] Manakou V., Tsiakis P., Tsiakis T., Kungolos A. Management of the Hydrological Basin of Lake Koronia using Mathematical Programming <http://www.srcosmos.gr/srcosmos/showpub.aspx?aa=15664>.
- [22] Dong C., Zhang J., Guo S. Scenario analysis for sustainable water management // *Journal of Hydrology*. 2013. Vol. 493. P. 45-58.

**И. М. Мальковский¹, Л. С. Толеубаева², А. З. Таиров³, М. В. Леман^{*4},
А. У. Абдибеков⁵, К. Т. Нарбаева⁶, А. Толекова⁷**

¹ Д. г. н., профессор, академик КазНАЕН, ГНС
(АО «Институт географии и водной безопасности», Алматы, Казахстан; aidatol_86@mail.ru)

² Д. г. н., ГНС (АО «Институт географии и водной безопасности»,
Алматы, Казахстан; lstoleu@mail.ru)

³ К. г. н., ВНС, руководитель лаборатории
(АО «Институт географии и водной безопасности», Алматы, Казахстан; amra2005@list.ru)

^{4*} PhD докторант, НС (КазНАИУ, АО «Институт географии и водной безопасности»,
Алматы, Казахстан; maxleman131@gmail.com)

⁵ НС (АО «Институт географии и водной безопасности»,
Алматы, Казахстан; darkhan@mail.ru)

⁶ PhD, СНС (АО «Институт географии и водной безопасности»,
Алматы, Казахстан; narbayeva.kn@gmail.com)

⁷ НС (АО «Институт географии и водной безопасности», Алматы, Казахстан; aidatol_86@mail.ru)

МОДЕЛИРОВАНИЕ СИСТЕМЫ ВОДОБЕСПЕЧЕНИЯ ТРАНСГРАНИЧНОГО ШУ-ТАЛАССКОГО БАСЕЙНА НА ОСНОВЕ ДИНАМИКО-СТОХАСТИЧЕСКОГО ПОДХОДА

Аннотация. Сформулированы проблемы развития системы водообеспечения (СВО) Республики Казахстан в трансграничном Шу-Таласском бассейне и определены цели и задачи моделирования. В качестве научного метода достижения целей предложена методология системного анализа, рассматривающего проблему устойчивого водообеспечения как сложную систему с присущими ей свойствами многомерности, конфликтности, неопределенности. В качестве инструмента системного анализа использована технология математического динамико-стохастического моделирования сложных систем, представляющего собой численный метод проведения на компьютере вычислительных экспериментов с математическими моделями, имитирующими поведение реальных объектов, во времени в течение заданного периода. Даны описание хронологической структуры систем водообеспечения бассейнов рек Шу и Талас, логико-математическое описание СВО. Благодаря универсальности заложенных методологических подходов и использованию формализованных математических моделей разработанная методика обладает высокой степенью адаптивности и масштабируемости. Методика может быть использована для оценки сценариев водопользования, выявления потенциальных конфликтов интересов между водопользователями, анализа рисков и обоснования согласованных межгосударственных решений, направленных на обеспечение устойчивого водохозяйственного развития и укрепление региональной водной безопасности.

Ключевые слова: математическое (имитационное) моделирование, компьютерная программа, система водообеспечения, трансграничный бассейн, водная безопасность, метод Монте-Карло.

I. M. Malkovsky¹, L. S. Toleubaeva², A. Z. Tairov³, M. V. Leman^{*4},
A. U. Abdibekov⁵, K. T. Narbayeva⁶, A. Tolekova⁷

¹ Doctor of Geography, Professor, Academician of the Kazakh National Academy of Sciences, Chief Researcher (JSC «Institute of Geography and Water Safety», Almaty, Kazakhstan; *aidatol_86@mail.ru*)

² Doctor of Geography, Chief Researcher (JSC «Institute of Geography and Water Safety», Almaty, Kazakhstan; *listoleu@mail.ru*)

³ Candidate of Geographical Sciences, Senior Researcher, Head (JSC «Institute of Geography and Water Security», Almaty, Kazakhstan; *amra2005@list.ru*)

^{4*} PhD doctoral student, research associate (KazNARU, JSC «Institute of Geography and Water Security», Almaty, Kazakhstan; *maxleman131@gmail.com*)

⁵ Research associate (JSC «Institute of Geography and Water Security», Almaty, Kazakhstan; *darkhan@mail.ru*)

⁶ PhD, Senior Researcher (JSC «Institute of Geography and Water Security», Almaty, Kazakhstan; *narbayeva.kn@gmail.com*)

⁷ Research associate (JSC «Institute of Geography and Water Security», Almaty, Kazakhstan; *aidatol_86@mail.ru*)

MODELING OF THE WATER SUPPLY SYSTEM OF THE TRANSBOUNDARY SHU-TALAS BASIN BASED ON A DYNAMIC-STOCHASTIC APPROACH

Abstract. The problems of developing the water supply system (WSS) of the Republic of Kazakhstan in the transboundary Shu-Talas basin are formulated, and the goals and objectives of modeling are defined. As a scientific method for achieving the objectives, a system analysis methodology is proposed, which considers the problem of sustainable water supply as a complex system with its inherent properties of multidimensionality, conflict, and uncertainty. The technology of mathematical dynamic-stochastic modeling of complex systems is used as a tool for system analysis, which is a numerical method for conducting computational experiments on a computer with mathematical models that simulate the behavior of real objects over time during a given period. A description of the chorological structure of the water supply systems of the Shu and Talas River basins is given, and a logical-mathematical description of the WSS is provided. Due to the versatility of the underlying methodological approaches and the use of formalized mathematical models, the developed methodology has a high degree of adaptability and scalability. The methodology can be used to assess water use scenarios, identify potential conflicts of interest between water users, analyze risks, and justify agreed interstate decisions aimed at ensuring sustainable water management development and strengthening regional water security.

Keywords: mathematical (simulation) modeling, computer program, water supply system, transboundary basin, water security, Monte Carlo method.

<https://doi.org/10.55764/2957-9856/2026-1-41-50.4>

МРНТИ 38.61.31

УДК 556.38

Ә. Т. Токтар^{*1}, А. А. Нургазиева², И. К. Рахметов³

^{1*} Докторант PhD, научный сотрудник (ТОО «Институт гидрогеологии и геоэкологии им. У. М. Ахмедсафина», Алматы, Казахстан; aliya.toktar@gmail.com)

² Младший научный сотрудник (ТОО «Институт гидрогеологии и геоэкологии им. У. М. Ахмедсафина», Алматы, Казахстан; asel-nurgazieva@mail.ru)

³ Докторант PhD, научный сотрудник (ТОО «Институт гидрогеологии и геоэкологии им. У. М. Ахмедсафина», Алматы, Казахстан; issa-92@mail.ru)

АКТУАЛЬНОЕ СОСТОЯНИЕ И ВОЗМОЖНОСТИ УСТОЙЧИВОГО ВОДООБЕСПЕЧЕНИЯ ПАСТБИЩ ЮЖНОГО КАЗАХСТАНА ЗА СЧЁТ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ПОДЗЕМНЫХ ВОД

Аннотация. Обводнение пастбищных угодий является ключевым условием устойчивого развития животноводства в засушливых и полувзасушливых зонах Южного Казахстана. Особенно остро данная проблема стоит в южных областях страны, где наблюдается дефицит поверхностных источников воды, а значительная часть пастбищ используется в экстенсивном режиме из-за слабой развитости инфраструктуры водоснабжения. Одним из перспективных направлений решения этой проблемы является использование подземных вод для обводнения пастбищ и организации круглогодичного водопоя сельскохозяйственных животных. Цель настоящего исследования заключается в оценке текущего состояния водообеспечения пастбищных территорий Южного Казахстана и выявлении потенциала устойчивого использования подземных вод. Рассмотрены природно-климатические и гидрогеологические условия региона, проанализированы пространственные различия в доступности водных ресурсов и приведены результаты полевых исследований. Используются материалы научно-технических исследований, выполненных Институтом гидрогеологии и геоэкологии им. У. М. Ахмедсафина в 2024 году. В ходе полевых экспедиций проведены маршрутные обследования пастбищных угодий, охватывающих зоны с различной степенью обеспеченности водными ресурсами. Осуществлен отбор проб воды из колодцев и скважин с последующим гидрогеохимическим анализом в лабораторных условиях. Определен уровень пригодности подземных вод для водопоя сельскохозяйственных животных, выявлены территориальные различия по гидрогеологическим условиям и обозначены направления для совершенствования системы обводнения.

Ключевые слова: обводнение пастбищ, подземные воды, Южный Казахстан, водообеспечение, пастбищное землепользование, гидрогеологические исследования, водные ресурсы, животноводство, колодцы, качество воды.

Введение. В условиях глобального изменения климата, учащения засух и роста водопотребления сельского хозяйства подземные воды приобретают стратегическое значение как наиболее стабильный источник водоснабжения аграрных территорий. По оценкам международных организаций, более 40% мирового продовольствия производится на орошаемых землях, при этом около 40-45 % ирригационной воды обеспечивается за счёт подземных водных ресурсов. За последние 70 лет мировое водопотребление в сельском хозяйстве увеличилось более чем в три раза, что обусловило значительное возрастание нагрузки на водоносные горизонты в аридных и семиаридных регионах [1].

Международный опыт показывает, что подземные воды являются ключевым резервом устойчивости сельского хозяйства в засушливые периоды: по глобальной инвентаризации потребление подземных вод на орошение достигает 545 км³/год (≈43% всего потребления воды на орошение). При этом рост водоотбора без регулирования приводит к снижению уровней подземных вод и удорожанию водоподъёма, что продемонстрировано в агропастбищных экотонах Северного Китая [2, 3]. Одновременно на пастбищах фиксируются риски ухудшения качества грунтовых вод вследствие миграции биогенов, что показано на примере пастбищных систем США, где вариабельность

нитратов связана с ландшафтным положением и зонами стока [4, 5]. Для аридных регионов, использующих минерализованные подземные воды, важен опыт Австралии, демонстрирующий необходимость управления солевым балансом при орошении пастбищ [6].

Аналогичные процессы характерны для засушливых регионов Центральной Азии, где сельское хозяйство остаётся крупнейшим водопотребителем, а климатическая аридизация усиливает зависимость от подземных источников. В условиях сокращения стока трансграничных рек и увеличения межгодовой изменчивости осадков подземные воды становятся основным резервом для стабилизации кормовой базы животноводства. Однако в большинстве случаев использование подземных вод для обводнения пастбищ осуществляется без комплексного гидрогеологического обоснования допустимых эксплуатационных режимов, без оценки восполняемости запасов и пространственной плотности водоотбора.

Для Южного Казахстана проблема устойчивого водообеспечения пастбищ приобретает особую актуальность в связи с высокой долей аридных и полуаридных ландшафтов, неравномерностью распределения поверхностного стока, деградацией пастбищ вследствие концентрации скота вокруг редких водопунктов и необходимостью вовлечения удалённых территорий в хозяйственный оборот. Подземные воды здесь рассматриваются как наиболее реалистичный и технологически доступный источник обеспечения пастбищ водой. Вместе с тем отсутствие системного подхода к регулированию водоотбора, оценке допустимой плотности скважин и внедрению водосберегающих технологий может привести к локальным депрессиям уровня, росту энергетических затрат на водоподъём и снижению устойчивости агроэкосистем.

Сегодня из 186,5 млн га пастбищных территорий Казахстана более 56,5% не используется из-за отсутствия обводнения и связанных с ним проблем с инженерной инфраструктурой для водопоя скота, питьевого и бытового водоснабжения обслуживающего персонала.

Южный регион республики охватывают территорию, равную 37 546 000 га, из них площадь пастбищ составляет 3 091 816 га (рисунок 1) [7-9].

За последние годы площадь пастбищных угодий уменьшается. В отчетном году они сократились на 196,5 тыс. га. Это обусловлено тем, что часть пастбищ отводится под строительство объектов несельскохозяйственного назначения, а часть осваивается как другие угодья, в том числе и пашня.

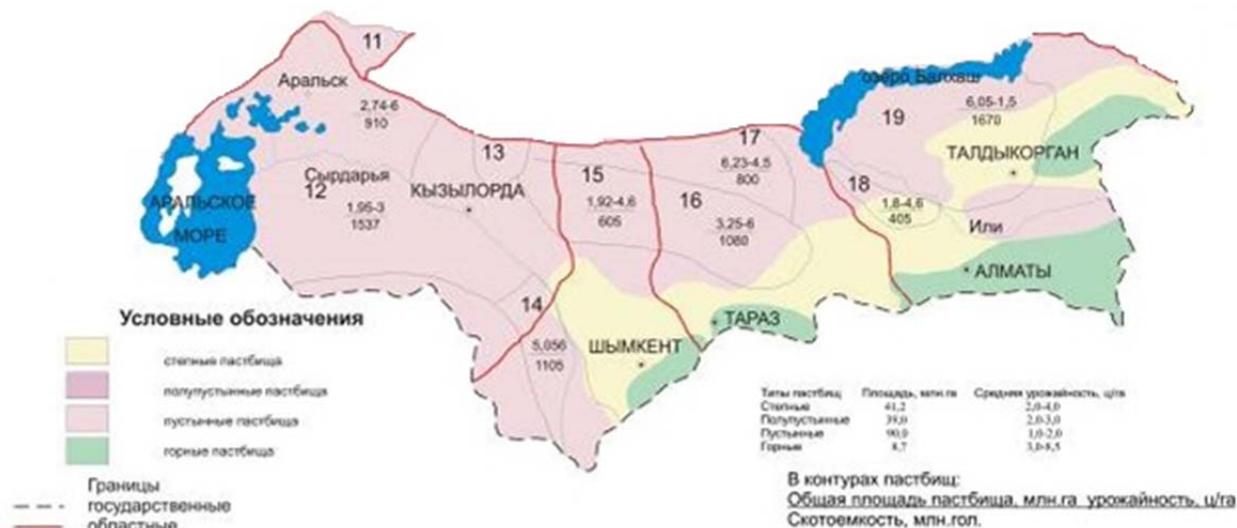


Рисунок 1 – Карта-схема зон развития животноводства и рекомендуемые зоны общинного использования пастбищ и сенокосов Южного региона Казахстана:
 11 – Приаральские Каракумы; 12 – Кызылординские Кызылжумы; 13 – Присарысуийские массивы;
 14 – Кызылжумы; 15 – Мойынжумы Туркестанской области; 16 – Мойынжумы Жамбылской области;
 17 – Бетпак-Дала; 18 – Сары-Таукумы; 19 – Сары-Ишик-Отрау

Figure 1 – Schematic map of livestock development zones and recommended areas for communal use of pastures and hayfields in the southern region of Kazakhstan:

11 – Pre-Aral Karakum; 12 – Kyzylorda Kyzylkum; 13 – Pre-Sarysu massifs; 14 – Kyzylkum;
 15 – Moyynkum of Turkestan Region; 16 – Moyynkum of Zhambyl Region; 17 – Betpak-Dala;
 18 – Sary-Taukum; 19 – Sary-Ishik-Otrau

Таблица 1 – Распределение пастбищ по природно-климатическим зонам

Table 1 – Distribution of pastures by natural-climatic zones

Зоны пастбищ	Площадь, млн га	Кормозапас, млн ц	Сенокос, млн га
Лесостепная и степная	32,6	144,6	1,8
Полупустыни	21,0	65,1	0,7
Пустыни	72,9	199,1	0,8
Мелкосопочник	32,4	95,3	0,9
Предгорные равнины	18,7	48,9	0,7
Горные зоны (низкогорье и среднегорье)	8,9	41,2	0,2
Всего	186,5	594,2	5,1

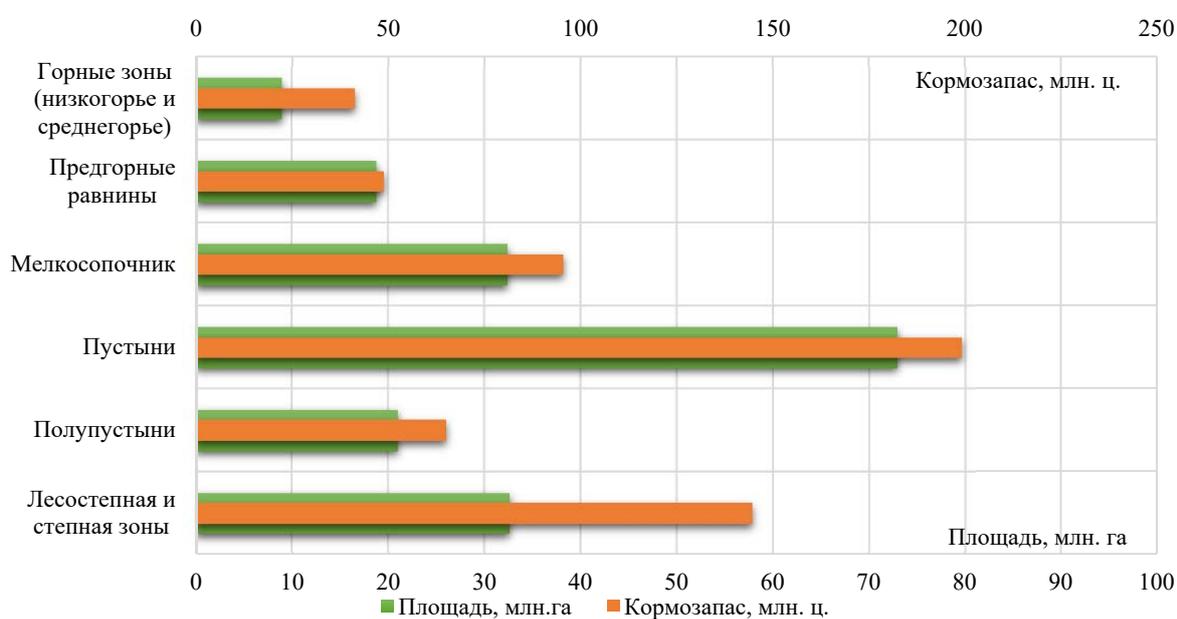


Рисунок 2 – График распределения пастбищ по природно-климатическим зонам

Figure 2 – Chart of the distribution of pastures by natural-climatic zones

В настоящее время не все сельские населенные пункты в равной степени обеспечены пастбищами и другими сельскохозяйственными угодьями. Если центральные и северные регионы в основном обеспечены сельскохозяйственными угодьями, то на юге республики, в связи с высокой плотностью сельского населения, испытывается большой дефицит пастбищных угодий (таблица 1, рисунок 2) [4-6].

Материалы и методы исследования. В исследовании использованы климатические данные, предоставленные РГП «Казгидромет», статистические сведения, размещённые на официальном интернет-ресурсе QazStat, тематические карты с интернет-ресурса КазНИИЖиК.

Статья основана на материалах научно-исследовательской работы, выполненной Институтом гидрогеологии и геоэкологии в 2023-2024 гг. В рамках полевых исследований были проведены маршрутные обследования пастбищных территорий в районах с различной степенью водообеспеченности, включая зоны предгорных, равнинных и пустынных пастбищ.

В ходе полевых гидрогеологических исследований на территории Южного Казахстана общая протяжённость маршрутных обследований составила около 12,2 тыс. км. В процессе работ детально обследованы 166 водопунктов, включая 45 эксплуатационных скважин, 117 шахтных колодцев, 1 родник и 3 оросительных канала. В ходе экспедиций осуществлялся отбор проб воды из эксплуатационных и шахтных колодцев, оценивалось санитарно-экологическое состояние участков и техническое состояние водопунктов.

По результатам обследования выполнен отбор 152 проб подземных вод для проведения химико-лабораторных исследований.

Для оценки качественного состояния подземных вод определялись основные гидрохимические показатели, включая общую минерализацию, водородный показатель (pH), содержание основных ионов (HCO_3^- , SO_4^{2-} , Cl^- , Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ , K^+), а также микрокомпоненты и загрязняющие вещества, в том числе кадмий, свинец, медь, цинк и нефтепродукты. Превышение предельно допустимых концентраций указанных компонентов рассматривалось как индикатор техногенного воздействия и ухудшения качества подземных вод. Всего выполнен анализ 152 проб подземных вод, что позволило получить репрезентативную характеристику гидрохимического состояния водоносных горизонтов пастбищных территорий Южного Казахстана.

Результаты. Пастбища Южного Казахстана расположены в аридной и семиаридной климатических зонах, характеризующихся крайне низкой обеспеченностью поверхностными водными ресурсами и высокой испаряемостью. Годовое количество атмосферных осадков изменяется от 130 до 300 мм, тогда как потенциальное испарение превышает 1000-1500 мм, что обуславливает формирование устойчивого дефицита влаги и ограничивает возможности использования поверхностных источников воды для водоснабжения пастбищ (рисунок 3). В этих условиях подземные воды являются наиболее стабильным и зачастую единственным источником водообеспечения.

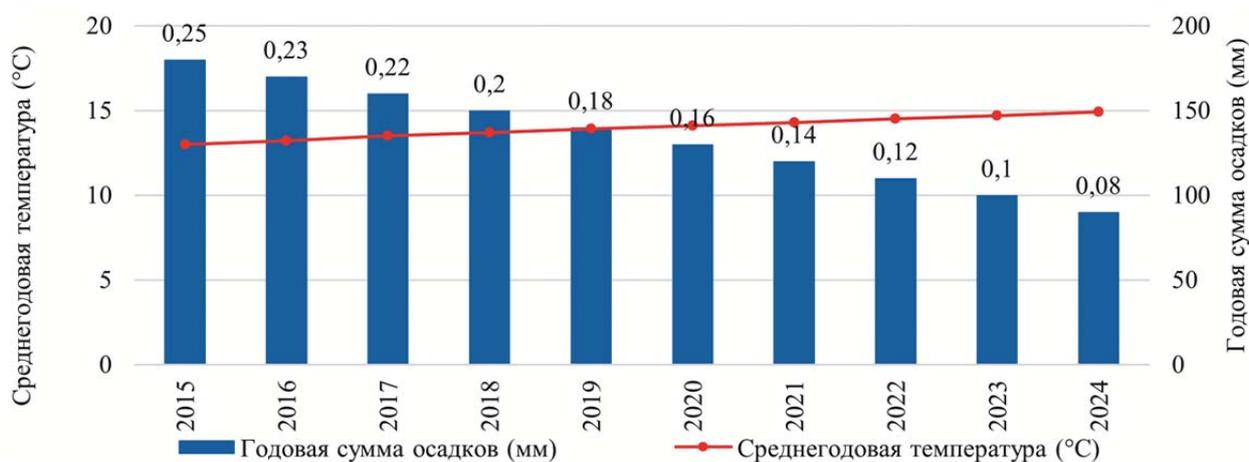


Рисунок 3 – Сводный график климатических характеристик Южного Казахстана за последние 10 лет (данные РГП «Казгидромет»). ГТК ниже 0,3 – засушливые условия

Figure 3 – Summary chart of climatic characteristics of Southern Kazakhstan over the last 10 years (based on data from RSE «Kazhydromet»). HTC below 0.3 – arid conditions

Полевые исследования и анализ фондовых материалов показали, что водоснабжение пастбищ Южного Казахстана осуществляется преимущественно за счёт подземных вод, вскрываемых колодцами и эксплуатационными скважинами. Наиболее высокая зависимость от подземных источников характерна для пустынных и полупустынных районов Туркестанской и Кызылординской областей, где доля водопунктов, использующих подземные воды, превышает 70-80 %, тогда как в предгорных районах Алматинской и Жамбылской областей часть пастбищ обеспечивается также поверхностными водотоками (рисунок 4) [10-15].

Обсуждение. Гидрогеологические условия региона характеризуются значительной пространственной неоднородностью, обусловленной разнообразием геолого-структурных и литологических факторов.

Прогнозные ресурсы подземных вод с минерализацией до 10 г/л составляют 1155,2 м³/с, пресные подземные воды занимают 65,9%, а слабосоленоватые с минерализацией 1-3 г/л – 26,5% от общей величины прогнозных ресурсов.

Основные ресурсы подземных вод приурочены к четвертичным аллювиальным и аллювиально-пролювиальным отложениям речных долин, песчаным массивам Кызылкум, Мойынкум, Сары-Ишик-Отрау и Таукум, а также к напорным горизонтам неогеновых и меловых отложений предгорных впадин.

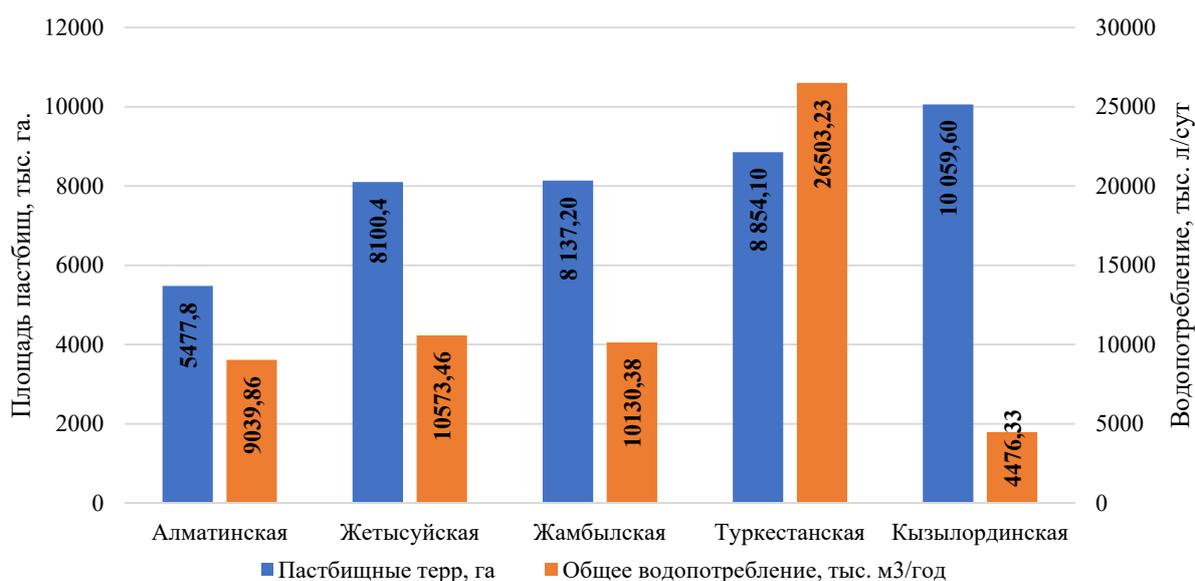


Рисунок 4 – Площадь пастбищ и общее водопотребление Южного Казахстана

Figure 4 – Pasture area and total water consumption in Southern Kazakhstan

Таблица 2 – Количество водозаборных сооружений по источникам и общие подвешенные к ним площади пастбищ, тыс. га

Table 2 – Number of water intake structures by source type and the total pasture areas supplied by them

Области	Открытые водные источники	Трубочатые колодцы	Шахтные колодцы
Алматинская + Жетысу	2465 (2538,95)	692 (366,05)	1302 (1218,9)
Жамбылская	676 (666,3)	729 (796,24)	1337 (1068,6)
Туркестанская	–	347 (410,4)	1280 (1921,1)
Кызылординская	248 (844,6)	1291 (498,2)	956 (921,1)

Глубина залегания подземных вод изменяется в широких пределах – от 1-5 м в поймах рек, межбарханных понижениях и зонах современного инфильтрационного питания до 30-70 м в песчаных массивах и до 80-150 м в предгорных и межгорных впадинах. Наиболее благоприятные условия для строительства традиционных колодцев наблюдаются при глубинах до 15-20 м, где эксплуатация возможна без применения сложного насосного оборудования. При глубинах более 40-50 м водоснабжение осуществляется преимущественно за счёт буровых скважин.

Производительность водозаборных сооружений также характеризуется значительной вариабельностью. Дебиты колодцев, вскрывающих безнапорные водоносные горизонты, составляют в среднем 0,1-0,5 л/с, что обеспечивает водой 200-800 голов мелкого рогатого скота или 50-150 голов крупного рогатого скота. Эксплуатационные скважины, вскрывающие напорные водоносные горизонты, характеризуются значительно более высокими дебитами – от 1 до 10-15 л/с, а в отдельных случаях превышают 20 л/с, что позволяет обеспечивать водоснабжение крупных пастбищных участков и создавать централизованные водопойные пункты.

Гидрохимический состав подземных вод характеризуется закономерной зональностью, связанной с условиями питания, литологическим составом пород и интенсивностью водообмена. В зонах активного инфильтрационного питания, приуроченных к предгорным районам и аллювиальным равнинам, распространены преимущественно пресные воды с минерализацией 0,2-1,0 г/л, гидрокарбонатного и гидрокарбонатно-кальциевого состава. В центральных частях пустынных массивов минерализация возрастает до 1-3 г/л, а на периферийных участках и в зонах замедленного водообмена может достигать 3-5 г/л и более, что обусловлено процессами испарительной концентрации и длительного взаимодействия воды с породами.

По результатам анализа установлено, что около 65-70% исследованных подземных вод относятся к пресным и слабосоленатым, пригодным для водопоя сельскохозяйственных животных без предварительной подготовки. Соленоватые воды распространены преимущественно в центральных частях пустынных массивов и требуют оценки их пригодности в зависимости от степени минерализации и химического состава.

Наиболее перспективными для водоснабжения пастбищ являются следующие гидрогеологические структуры:

- аллювиальные водоносные горизонты долин рек Сырдария, Иле, Шу и Талас;
- песчаные массивы Мойынкум, Кызылкум и Сары-Ишик-Отрау, характеризующиеся широким распространением грунтовых вод;
- напорные водоносные горизонты неоген-четвертичных отложений предгорных впадин;
- артезианские бассейны с устойчивыми запасами подземных вод.

Установлено, что, несмотря на наличие значительных ресурсов подземных вод, их использование ограничивается недостаточным развитием водохозяйственной инфраструктуры и неравномерным размещением водозаборных сооружений. В результате значительные площади пастбищ остаются недостаточно обводнёнными, что приводит к концентрации скота вблизи существующих водопунктов и ускоренной деградации пастбищных экосистем [16-18].

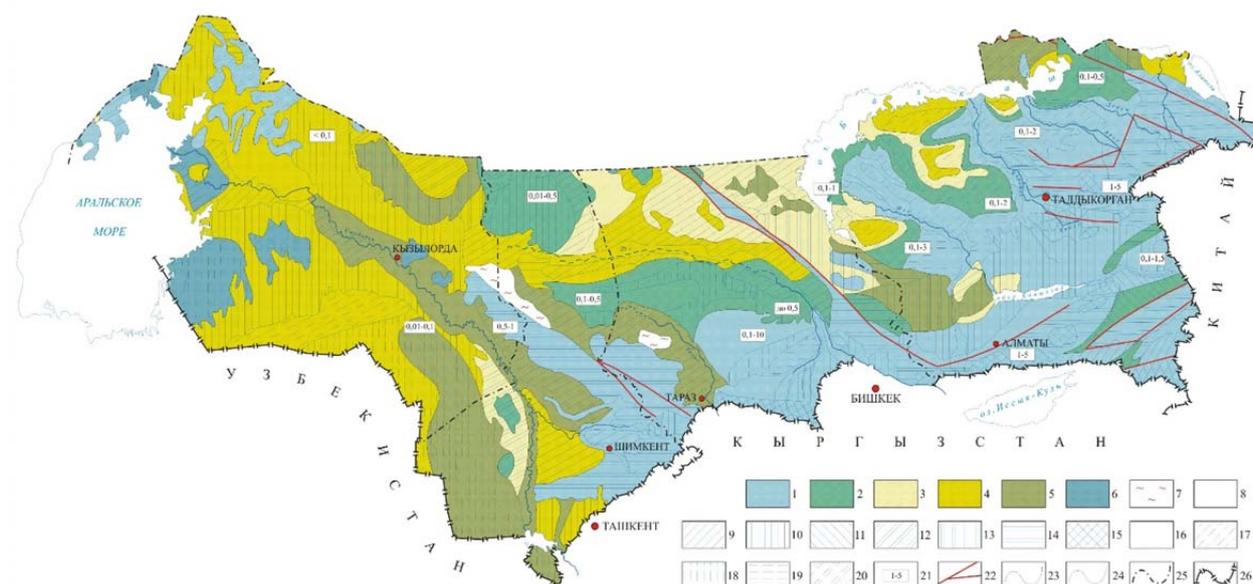


Рисунок 5 – Схематическая гидрогеологическая карта первых от поверхности водоносных горизонтов пастбищных территорий Южного Казахстана.

Преобладающая минерализация подземных вод г/л: 1 – до 1 (пресные); 2 – 1-3 (слабосоленоватые); 3 – 3-5 (соленоватые); 4 – 5 (слабосоленые и соленые); 5 – до 3 (пресные и слабосоленоватые); 6 – пёстрые с преобладанием пресных и слабосоленоватых; 7 – участки безводные.

Преобладающие глубины залегания подземных вод, м: 8 – до 5; 9 – 5-10; 10 – 10-30; 11 – 50-100; 12 – до 15; 13 – до 30; 14 – до 50; в песчаных массивах (а – в межбугристых и межгрядовых понижениях, б – под буграми и грядами): 16 – а – до 5, б – 5-15; 17 – а – 5-10, б – 10-30; 18 – а – 10-30, б – 30-50; 19 – а – 30-50, б – 50-100; 20 – а – до 15; 21 – интервалы дебитов водопунктов (родников, скважин, колодцев), л/с; 22 – региональные тектонические разломы; 23 – границы минерализации и глубин залегания подземных вод; 24 – границы глубин залегания подземных вод, не совпадающие с границами минерализации; 25 – границы областей; 26 – государственная граница Республики Казахстан

Figure 5 – Schematic hydrogeological map of the near-surface aquifers of pasture territories in Southern Kazakhstan.

The predominant mineralization of groundwater g/l: 1 – up to 1 (fresh); 2 – 1-3 (slightly salty); 3 – 3-5 (brackish); 4 – 5 (slightly salty and salty); 5 – up to 3 (fresh and slightly salty); 6 – mottled with a predominance of fresh and slightly salty; 7 – the plots are waterless.

Prevailing depths of groundwater, m: 8 – up to 5; 9 – 5-10; 10 – 10-30; 11 – 50-100; 12 – up to 15; 13 – up to 30; 14 – up to 50; in sandy massifs (a – in inter-hummocky and inter-ridge depressions, b – under mounds and ridges): 16 – a – up to 5, b – 5-15; 17 – a – 5-10, b – 10-30; 18 – a – 10-30, b – 30-50; 19 – a – 30-50, b – 50-100; 20 – a – up to 15; 21 – flow intervals of water points (springs, wells, wells), l/s; 22 – regional tectonic faults; 23 – boundaries of mineralization and groundwater depths; 24 – boundaries of groundwater depths that do not coincide with the boundaries of mineralization; 25 – boundaries of regions; 26 – the state border of the Republic of Kazakhstan

В целом проведённые исследования показали, что гидрогеологические условия Южного Казахстана обеспечивают значительный потенциал для расширения использования подземных вод в целях обводнения пастбищ. Основными ограничивающими факторами являются глубина залегания водоносных горизонтов, минерализация подземных вод и техническое состояние существующих водозаборных сооружений, тогда как ресурсный потенциал подземных вод позволяет обеспечить устойчивое водоснабжение значительных площадей пастбищ при условии рационального размещения и эксплуатации водозаборных сооружений.

С учётом установленных гидрогеологических условий и наличия эксплуатационных водоносных горизонтов существует значительный потенциал расширения обводнения пастбищных территорий, включая вовлечение ранее не используемых участков (см. рисунок 5) [19, 20].

Заключение. Проведённый анализ показал, что пастбищные территории Южного Казахстана располагают значительным ресурсным потенциалом подземных вод, способных обеспечить устойчивое водоснабжение животноводства в условиях аридного и семиаридного климата. При этом более 56% пастбищ республики в настоящее время не используется вследствие недостаточного развития водохозяйственной инфраструктуры и отсутствия водопойных пунктов, что приводит к локальной перегрузке доступных пастбищ и их деградации.

Установлено, что основные ресурсы подземных вод сосредоточены в песчаных массивах Кызылкум, Мойынкум, Сары-Ишик-Отрау, Таукум и в аллювиальных отложениях долин крупных рек. Производительность колодцев и мелких скважин составляет в среднем 0,1-0,5 л/с, а эксплуатационных скважин, вскрывающих напорные горизонты, достигает 3-15 л/с и более, что позволяет обеспечить устойчивый водоотбор для нужд пастбищного животноводства.

Минерализация подземных вод характеризуется значительной пространственной изменчивостью и составляет от 0,2-1,0 г/л в зонах активного питания и распространения пресных вод до 3-5 г/л и более в центральных и периферийных частях пустынных массивов. При этом значительная часть подземных вод (около 65,9%) относится к пресным, а 26,5% – к слабосоленатым, что позволяет использовать их для водопоя сельскохозяйственных животных без предварительной подготовки.

Анализ инфраструктуры водоснабжения показал, что, несмотря на значительное количество водозаборных сооружений, фактически обводнённая площадь составляет лишь 55-60% пастбищ вследствие их неравномерного размещения и технического состояния.

Установлено, что напорные водоносные горизонты меловых, неогеновых и четвертичных отложений обладают наиболее высоким эксплуатационным потенциалом, характеризуются стабильными дебитами и в ряде случаев самоизливающимся режимом, что позволяет значительно снизить энергетические затраты на водоподъём.

Полученные результаты подтверждают возможность расширения обводнения пастбищных территорий Южного Казахстана за счёт использования подземных вод при условии научно обоснованного размещения водозаборных сооружений, учёта гидрогеологических условий и внедрения современных технологий водопользования.

Для обеспечения устойчивого водообеспечения пастбищ необходимы:

- восстановление и модернизация существующих водопойных пунктов;
- бурение эксплуатационных скважин в наиболее перспективных гидрогеологических структурах;
- оптимизация пространственного размещения водозаборных сооружений;
- внедрение систем мониторинга уровней и качества подземных вод;
- разработка схем рационального использования ресурсов подземных вод.

Реализация указанных мероприятий позволит вовлечь в хозяйственный оборот значительные площади пастбищ, повысить продуктивность животноводства и обеспечить устойчивое развитие сельских территорий Южного Казахстана.

Финансирование. Работа выполнена в рамках программы «Научно-практическое обоснование устойчивого развития ответственного животноводства на основе обводнения пастбищных территорий подземными водами» (№ BR 247992885).

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Siebert S., Burke J., Faures J.M., Frenken K., Hoogeveen J., Döll P., Portmann F.T. Groundwater use for irrigation – a global inventory // *Hydrology and Earth System Sciences* [Электрон. ресурс]. – 2010. – Vol. 14. – P. 1863-1880. – URL: <https://hess.copernicus.org/articles/14/1863/2010/> (дата обращения: 24.12.2025).
- [2] Lian X., Zhao W., Li C., et al. Effect of Center-Pivot Irrigation Intensity on Groundwater Level Dynamics in the Agro-Pastoral Ecotone of Northern China // *Frontiers in Environmental Science*. – 2022. – Vol. 10. – P. 1-12. <https://doi.org/10.3389/fenvs.2022.892577>.
- [3] Zhang J., Liao Z., Jin J., Ni Y., Xu J., Wang M., Wang Z., Zhao Y., Zhang Y. Traceability of Phreatic Groundwater Contaminants and the Threat to Human Health: A Case Study in the Tabu River Basin, North China // *Sustainability*. – 2024. – Vol. 16(15). – P. 1-18 (6328). <https://doi.org/10.3390/su16156328>.
- [4] Gilbert C. Sigua, Robert K. Hubbard, Samuel W. Coleman, Mimi Williams. Nitrogen in soils, plants, surface water and shallow groundwater in a bahiagrass pasture of Southern Florida, USA // *Nutrient Cycling in Agroecosystems*. – 2010. – Vol. 86. – P. 175-187. <https://doi.org/10.1007/s10705-009-9281-8>.
- [5] Gomez D. G., Ochoa C. G., Godwin D., Tomasek A. A., Zamora Re M. I. Soil Water Balance and Shallow Aquifer Recharge in an Irrigated Pasture Field with Clay Soils in the Willamette Valley, Oregon, USA // *Hydrology*. – 2022. – Vol. 9(4). – P. 1-12 (60). <https://doi.org/10.3390/hydrology9040060>.
- [6] Slavich P. Irrigation using groundwater for watertable control: a model of water and salt balance limitations // *Australian Journal of Agricultural Research*. – 1992. – Vol. 43. – P. 225-239. <https://doi.org/10.1071/AR920225>.
- [7] Хожанов Н. Н., Мирдадаев М. С., Устабаев Т. Ш. Некоторые вопросы обводнения пастбищ в Казахстане // *Актуальные проблемы науки и техники. Инноватика*. – Уфа, 2021. – С. 49-58.
- [8] Тумлерт В. А., Онаев М. К. Обводнение пастбищ Западного Казахстана: современное состояние и перспективы использования // *Наука и мир*. – 2020. – № 1(77). – С. 24-27.
- [9] Ожанов Ф. С., Умбеткалиев Н. М., Шадьяров Т. М., Денизбаев С. Е. Жайылымдарды суландырудың қазіргі жағдайы // *Ғылым және Білім*. – 2022. – № 1-2 (66) – Б. 111-118. <https://doi.org/10.52578/2305-9397-2022-1-1-110-117>.
- [10] Серимбетов А. Е., Асу А. А. Подземные источники обводнения пастбищ юга Казахстана // *Integration of the Scientific Community to the Global Challenges of Our Time- Materials of the III International Scientific-Practical Conference*. In 3 volumes, Kyoto, Japan, 26-28 февраля 2018 года. Том III. – Kyoto, Japan: Общественный фонд "Региональная Академия Менеджмента", 2018. – С. 412-417.
- [11] Тумлерт В. А., Югай И. А., Кушенов К. И. Прогноз состояния обводнения пастбищ на основе информационных систем // *Наука и мир*. – 2018. – № 12-1(64). – С. 84-87.
- [12] Калиев Г. А., Сабирова А. И. Развитие пастбищного животноводства в Казахстане // *Проблемы агрорынка*. – 2016. – № 1. – С. 7-14.
- [13] Jabassov A. M., Yermenbay A. M., Zhakibayeva A. Zh., Livinsky Yu. N. Use of artificial groundwater recharge technologies for Central Kazakhstan pastures watering // *География и водные ресурсы*. – 2024. – No. 3. – P. 37-43. <https://doi.org/10.55764/2957-9856/2024-3-37-44.24>.
- [14] Есполов Т. И., Тиреуов К. М., Керимова У. К. Водные ресурсы в сельском хозяйстве Республики Казахстан: взгляд ученых на рациональное использование, перспективы и управление // *Проблемы агрорынка*. – 2022. – № 3. – С. 155-163. <https://doi.org/10.46666/2022-3.2708-9991.17>
- [15] Пастбищные ресурсы Казахстана [Электрон. ресурс]. – 2025. – URL: <https://pastures.kazniizhik.kz/Home/About> (дата обращения: 20.12.2025).
- [16] Водные ресурсы Казахстана: Оценка, прогноз, управление. Том XII: Технологии и технические средства обводнения пастбищ Казахстан. / Под ред. А. Р. Медеу. – Алматы, 2012. – 296 с.
- [17] Базарбаев А., Лебедь Л., Степанов Б., Хейлман Ф., Чередниченко А., Чи Дж. Водобеспеченность аридных пастбищ Прибалхашья, роль гидрогеологического фактора в условиях глобального потепления // *Гидрометеорология и экология*. – 2015. – № 1(76). – С. 75-89.
- [18] Абдрахметов М., Аблайсанова Г., Байшоланов С. Оценка агроклиматических условий и состояния пастбищ в южной половине Казахстана // *Гидрометеорология и экология*. – 2018. – № 3(90). – С. 15-28.
- [19] Ongayev M., Denizbayev S., Ozhanov G., Yesmagulova B., Umbetkaliyev N., Shadyarov T. Analysis of hydrochemical parameters of surface water sources used for watering pastures to improve the water quality // *Caspian Journal of Environmental Sciences*. – 2023. – Vol. 21(4). – P. 875-883. <https://doi.org/10.22124/CJES.2023.7145>.
- [20] Ongayev M., Denizbayev S., Umbetkaliyev N., Yesmagulova B., Ozhanov G., Shadyarov T. The Zonality of Underground Water Supply Sources for Pastures in the West Kazakhstan Region // *Journal of ecological engineering*. – 2022. – Vol. 23(8). – P. 56-65. <https://doi.org/10.12911/22998993/150612>.

REFERENCES

- [1] Siebert S., Burke J., Faures J.M., Frenken K., Hoogeveen J., Döll P., Portmann F.T. Groundwater use for irrigation – a global inventory // *Hydrology and Earth System Sciences* [Electronic resource]. 2010. Vol. 14. P. 1863-1880. URL: <https://hess.copernicus.org/articles/14/1863/2010/> (24.12.2025).
- [2] Lian X., Zhao W., Li C., et al. Effect of Center-Pivot Irrigation Intensity on Groundwater Level Dynamics in the Agro-Pastoral Ecotone of Northern China // *Frontiers in Environmental Science*. 2022. Vol. 10. P. 1-12. <https://doi.org/10.3389/fenvs.2022.892577>.
- [3] Zhang J., Liao Z., Jin J., Ni Y., Xu J., Wang M., Wang Z., Zhao Y., Zhang Y. Traceability of Phreatic Groundwater Contaminants and the Threat to Human Health: A Case Study in the Tabu River Basin, North China // *Sustainability*. 2024. Vol. 16(15). P. 1-18 (6328). <https://doi.org/10.3390/su16156328>.

- [4] Gilbert C. Sigua, Robert K. Hubbard, Samuel W. Coleman, Mimi Williams. Nitrogen in soils, plants, surface water and shallow groundwater in a bahiagrass pasture of Southern Florida, USA // *Nutrient Cycling in Agroecosystems*. 2010. Vol. 86. P. 175-187. <https://doi.org/10.1007/s10705-009-9281-8>.
- [5] Gomez D.G., Ochoa C.G., Godwin D., Tomasek A.A., Zamora Re M.I. Soil Water Balance and Shallow Aquifer Recharge in an Irrigated Pasture Field with Clay Soils in the Willamette Valley, Oregon, USA // *Hydrology*. 2022. Vol. 9(4). P. 1-12 (60). <https://doi.org/10.3390/hydrology9040060>.
- [6] Slavich P. Irrigation using groundwater for watertable control: a model of water and salt balance limitations // *Australian Journal of Agricultural Research*. 1992. Vol. 43. P. 225-239. <https://doi.org/10.1071/AR9920225>.
- [7] Khozhanov N.N., Mirdadayev M.S., Ustabayev T.Sh. Some Issues of Pasture Watering in Kazakhstan // *Actual Problems of Science and Technology. Innovatika*. Ufa, 2021. P. 49-58 (in Russ.).
- [8] Tumlert V. A., Onaev M. K. Pasture Watering in Western Kazakhstan: Current State and Prospects of Use // *Science and World*. 2020. No. 1 (77). P. 24-27 (in Russ.).
- [9] Ozhanov G. S., Umbetkaliyev N. M., Shadyarov T. M., Denizbayev S. E. Current State of Pasture Irrigation // *Science and Education*. 2022. No. 1-2 (66). P. 111-118. <https://doi.org/10.52578/2305-9397-2022-1-1-110-117> (in Kaz.).
- [10] Serimbetov A. E., Asu A. A. Underground Sources of Pasture Watering in Southern Kazakhstan // *Integration of the Scientific Community to the Global Challenges of Our Time – Materials of the 3rd International Scientific and Practical Conference*. In 3 volumes, Kyoto, Japan, February 26-28, 2018. Volume III. – Kyoto, Japan: Regional Academy of Management Public Fund, 2018. P. 412-417 (in Russ.).
- [11] Tumlert V. A., Yugay I. A., Kushenov K. I. Forecast of the Pasture Watering Condition Based on Information Systems // *Science and World*. 2018. No. 12-1 (64). P. 84-87 (in Russ.).
- [12] Kaliyev G. A., Sabirova A. I. Development of Pasture Livestock Farming in Kazakhstan // *Problems of the Agricultural Market*. 2016. No. 1. P. 7-14 (in Russ.).
- [13] Jabassov A. M., Yermenbay A. M., Zhakibayeva A. Zh., Livinsky Yu. N. Use of artificial groundwater recharge technologies for Central Kazakhstan pastures watering // *Geography and Water Resources*. 2024. No. 3. P. 37-43. <https://doi.org/10.55764/2957-9856/2024-3-37-44.24>.
- [14] Yespolov T. I., Tireuov K. M., Kerimova U. K. Water Resources in the Agriculture of the Republic of Kazakhstan: Scientists' View on Rational Use, Prospects, and Management // *Problems of the Agricultural Market*. 2022. No. 3. P. 155-163. <https://doi.org/10.46666/2022-3.2708-9991.17> (in Russ.).
- [15] Pasture Resources of Kazakhstan [Electronic resource]. 2025. URL: <https://pastures.kazniizhik.kz/Home/About> (in Russ.).
- [16] Water Resources of Kazakhstan: Assessment, Forecast, Management Vol. XII: Technologies and Technical Means of Pasture Watering in Kazakhstan / Edited by A.R. Medeu. Almaty, 2012. 296 p. (in Russ.).
- [17] Bazarbayev A., Lebed L., Stepanov B., Heilman F., Cherednichenko A., Chi J. Water Supply of Arid Pastures in the Pribalkhash Region: The Role of the Hydrogeological Factor under Global Warming Conditions // *Hydrometeorology and Ecology*. 2015. No. 1(76). P. 75-89 (in Russ.).
- [18] Abdrakhmetov M., Ablaisanova G., and Baisholanov S. Assessment of Agroclimatic Conditions and the State of Pastures in the Southern Half of Kazakhstan // *Hydrometeorology and Ecology*. 018. No 3 (90). P. 15-28 (in Russ.).
- [19] Ongayev M., Denizbayev S., Ozhanov G., Yesmagulova B., Umbetkaliyev N., Shadyarov T. Analysis of hydrochemical parameters of surface water sources used for watering pastures to improve the water quality // *Caspian Journal of Environmental Sciences*. 2023. Vol. 21(4). P. 875-883. <https://doi.org/10.22124/CJES.2023.7145>.
- [20] Ongayev M., Denizbayev S., Umbetkaliyev N., Yesmagulova B., Ozhanov G., Shadyarov T. The Zonality of Underground Water Supply Sources for Pastures in the West Kazakhstan Region // *Journal of Ecological Engineering*. 2022. Vol. 23(8). P. 56-65. <https://doi.org/10.12911/22998993/150612>.

Ә. Т. Тоқтар^{*1}, А. А. Нургазиева², И. К. Рахметов³

¹*PhD докторант, ғылыми қызметкер («У. М. Ахмедсафин атындағы Гидрогеология және геоэкология институты» ЖШС, Алматы, Қазақстан; aliya.toktar@gmail.com)

²Кіші ғылыми қызметкер («У. М. Ахмедсафин атындағы Гидрогеология және геоэкология институты» ЖШС, Алматы, Қазақстан; asel-nurgazieva@mail.ru)

³PhD докторант, ғылыми қызметкер («У. М. Ахмедсафин атындағы Гидрогеология және геоэкология институты» ЖШС, Алматы, Қазақстан; issa-92@mail.ru)

ОҢТҮСТІК ҚАЗАҚСТАН ЖАЙЫЛЫМДАРЫН ЖЕР АСТЫ СУЛАРЫН ПАЙДАЛАНУ АРҚЫЛЫ ТҰРАҚТЫ СУМЕН ҚАМТАМАСЫЗ ЕТУДІҢ ҚАЗІРГІ ЖАҒДАЙЫ МЕН МҮМКІНДІКТЕРІ

Аннотация. Оңтүстік Қазақстанның қуаң және шала-қуаң аймақтарында мал шаруашылығын тұрақты дамыту үшін жайылымдарды суландыру – негізгі шарттардың бірі болып табылады. Әсіресе, бұл мәселе елдің оңтүстік өңірлерінде өзекті, өйткені бұл аймақтарда жерүсті су көздерінің тапшылығы байқалады және жайылымдардың едәуір бөлігі су инфрақұрылымының жеткіліксіз дамуына байланысты экстенсивті түрде пайдаланылады. Бұл мәселені шешудің келешегі бар бағыттарының бірі – жайылымдарды суландыру және ауыл шаруашылығы жануарларын жыл бойы суару үшін жер асты суларын пайдалану болып табылады.

Зерттеудің мақсаты – Оңтүстік Қазақстандағы жайылымдардың қазіргі суландырылу жағдайын бағалау және жер асты суларын тұрақты пайдалану әлеуетін анықтау. Мақалада өңірдің табиғи-климаттық және гидрогеологиялық жағдайлары қарастырылып, су ресурстарының қолжетімділігіндегі кеңістіктік айырмашылықтар талданады және далалық зерттеулердің нәтижелері келтіріледі. Мақалада 2024 жылы У. М. Ахмедсафин атындағы Гидрогеология және геоэкология институты жүргізген ғылыми-техникалық зерттеулердің материалдары пайдаланылды. Далалық экспедициялар барысында әртүрлі су қамтылу деңгейіне ие жайылымдық аумақтарда маршруттық зерттеулер жүргізілді. Осы зерттеулер аясында құдықтар мен ұңғымалардан су үлгілері алынып, олар зертханалық жағдайда гидрогеохимиялық талдаудан өтті. Алынған деректер жер асты суларының ауыл шаруашылығы жануарларын суаруға жарамдылық деңгейін анықтауға, гидрогеологиялық жағдайлар бойынша аумақтық айырмашылықтарды айқындауға және суландыру жүйесін жетілдіру бағыттарын белгілеуге мүмкіндік берді.

Түйін сөздер: жайылымдарды суландыру, жер асты сулары, Оңтүстік Қазақстан, су ресурстарымен қамтамасыз ету, жайылымдарды пайдалану, гидрогеологиялық зерттеулер, су ресурстары, мал шаруашылығы, құдықтар, судың сапасы.

A. T. Toktar^{*1}, A. A. Nurgaziyeva², I. K. Rakhmetov³

¹ *PhD student, Researcher (LLP “U. M. Akhmedsafin Institute of Hydrogeology and Geoecology”,
Almaty, Kazakhstan; aliya.toktar@gmail.com)

² Junior Researcher (LLP “U. M. Akhmedsafin Institute of Hydrogeology and Geoecology”,
Almaty, Kazakhstan; asel-nurgaziyeva@mail.ru)

³ PhD student, Researcher (LLP “U. M. Akhmedsafin Institute of Hydrogeology and Geoecology”,
Almaty, Kazakhstan; issa-92@mail.ru)

CURRENT STATE AND PROSPECTS FOR SUSTAINABLE WATER SUPPLY FOR PASTURES IN SOUTHERN KAZAKHSTAN THROUGH THE USE OF GROUNDWATER

Abstract. The watering of pasture lands is a key condition for the sustainable development of livestock farming in the arid and semi-arid zones of southern Kazakhstan. This issue is particularly acute in the southern regions of the country, where there is a shortage of surface water sources and a significant portion of pastures is used extensively due to underdeveloped water supply infrastructure. One of the promising solutions to this problem is the use of groundwater for pasture irrigation and year-round livestock watering. The aim of this study is to assess the current state of water supply for pasture areas in southern Kazakhstan and to identify the potential for the sustainable use of groundwater. The article examines the natural-climatic and hydrogeological conditions of the region, analyzes spatial differences in water resource availability, and presents the results of field research. The study is based on scientific and technical materials from research conducted by the U. M. Akhmedsafin Institute of Hydrogeology and Geoecology in 2024. During field expeditions, route surveys of pasture lands were carried out, covering zones with varying degrees of water availability. Water samples were collected from wells and boreholes, followed by hydrogeochemical analysis under laboratory conditions. The results made it possible to determine the suitability of groundwater for livestock watering, to identify territorial differences in hydrogeological conditions, and to outline directions for improving the pasture watering system.

Keywords: pasture irrigation, groundwater, southern Kazakhstan, water supply, pasture land use, hydrogeological studies, water resources, livestock farming, wells, water quality.

Гидрохимия и качество воды

Гидрохимия және судың сапасы

Hydrochemistry and water quality

<https://doi.org/10.55764/2957-9856/2026-1-51-62.5>

МРНТИ 70.27.17

УДК 556.53:556.114 (574.4)

М. Т. Дюсембаева¹, В. Н. Бубликов², В. В. Колбин³,
С. Д. Смирнов⁴, Н. К. Нургайсинова⁵, А. Ж. Ташекова^{*6}

¹ PhD, заместитель начальника отдела (Филиал "Институт радиационной безопасности и экологии",
НЯЦ РК, Курчатов, Казахстан; koigeldinova@nnc.kz)

² Специалист (Филиал "Институт радиационной безопасности и экологии",
НЯЦ РК, Курчатов, Казахстан; bublikov@nnc.kz)

³ Начальник лаборатории (Филиал "Институт радиационной безопасности и экологии",
НЯЦ РК, Курчатов, Казахстан; kolbin@nnc.kz)

⁴ Специалист-эколог (Филиал "Институт радиационной безопасности и экологии",
НЯЦ РК, Курчатов, Казахстан; smirnov@nnc.kz)

⁵ Специалист (Филиал "Институт радиационной безопасности и экологии",
НЯЦ РК, Курчатов, Казахстан; nurgaisinova@nnc.kz)

^{6*} PhD, начальник группы (Филиал "Институт радиационной безопасности и экологии",
НЯЦ РК, Курчатов, Казахстан; zhymanova.13@mail.ru)

ХИМИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА МАЛЫХ РЕК ГОРОДА РИДДЕРА ВОСТОЧНОГО КАЗАХСТАНА

Аннотация. В Восточном Казахстане находятся центры металлургической промышленности и крупные притоки трансграничной реки Ертис. Для исследования были взяты три реки, находящиеся в окрестностях города Риддера: Журавлиха, Тихая и Филипповка. Дана сравнительная характеристика этих рек за 2023-2024 гг., изучен химический состав их воды вдоль русел, а именно кислотность, жёсткость, концентрации ионов кальция, гидрокарбонат-, хлорид- и сульфат-ионов, а также общая минерализация. Воды рек относятся к классу SC_f^{ca} (по классификации О. А. Алёкина), не имеют превышений ПДК, установленных законодательством Казахстана, и находятся в пределах значений, рекомендуемых US EPA. Исключением является река Филипповка, в которой в 2023 году наблюдалась жёсткость, превышающая ПДК. Вероятнее всего, это связано с техногенной аварией, произошедшей накануне.

Ключевые слова: Восточный Казахстан, малые реки, гидрохимические показатели, речные воды.

Введение. Недостаток и низкое качество питьевой воды являются обостряющимися экологическими проблемами современности, особенно остро стоящими в мире с быстрорастущим населением, потребностями развивающейся промышленности и сельского хозяйства. Эта проблема усугубляется дальнейшим загрязнением водных ресурсов отходами промышленности и сельского хозяйства [1, 10].

В Восточном Казахстане развитая металлургическая промышленность отличается большим преобладанием производства цветных металлов. Одним из центров цветной металлургии является город Риддер (население ~50 000 человек на первое января 2024 года) [2], в котором расположено градообразующее предприятие Риддерский горно-обогатительный комбинат (РГОК). В окрестностях города также находятся три рудника (Риддер-Сокольный, Тишинский, Долинный) [3]. Промышленные предприятия Риддера являются потенциальным источником различных загрязнений, таких, как сульфаты, нитраты, ионы магния и кальция [10]. Кроме того, сбросы от Риддер-

ского горно-обогатительного комбината и сточные воды г. Риддера могут негативно повлиять на экологию водных ресурсов Восточного Казахстана.

Главный интерес для авторов статьи представляют малые реки в окрестностях города Риддера, составляющие часть бассейна реки Ертис, в частности реки Филипповка, Журавлиха и Тихая. По официальным данным [3], в Филипповку сбрасываются очищенные сточные воды РГОК.

Период с 2023-2024 года представляет интерес из-за прорыва пульпопровода Риддерского горно-обогатительного комплекса ТОО «Казцинк», произошедшего в 2023 году. В ходе аварии было пролито более 1,3 тыс. м³ шлама, часть из которого попала в реку Филипповку [4]. Таким образом, целью исследования является оценка изменений в общих химических показателях проб воды, взятых из малых рек окрестностей города Риддера в 2023 и 2024 годах.

Материалы и методы. В июле 2023 и 2024 годов были проведены экспедиционные работы для отбора проб воды малых рек города Риддера (Журавлиха, Филипповка и Тихая). Карта региона с отмеченными реками и точками отбора проб представлена на рисунке 1.



Рисунок 1 –
Карта с отмеченными реками
и точками отбора проб
Figure 1 –
Map with rivers
and sample collection sites

Выбор рек обусловлен тем, что при прорыве пульпопровода РГОК произошло загрязнение рек Филипповка и Тихая. Также была изучена река Журавлиха, так как она расположена далеко от города Риддера и его предприятий, находится выше по течению и может быть использована как фон. Реки Филипповка и Журавлиха являются притоками Ертиса третьего порядка, а река Тихая – притоком второго порядка. Отбор проб проводился в направлении от устья реки к истоку с интервалом в 1 км. Из-за технических ограничений в 2023 году было собрано меньше проб, чем в 2024 году (таблица 1).

Таблица 1 – Количество собранных проб по годам и рекам
Table 1 – Number of collected samples by year and by site

Река	Количество проб в 2023 году	Количество проб в 2024 году
Журавлиха	6	9
Тихая	4	8
Филипповка	7	15

Отбор проб проводился согласно ГОСТ 31861-2012 [5]. Объём отбираемых проб составлял 1,5 л, консервация проб азотной кислотой не проводилась.

Для анализа пробы были доставлены в лабораторию, где они профильтрованы через двойной фильтр из бумаги «белая лента». Определяемые параметры и методы [6] представлены в таблице 2. Анализ проб воды проводился в испытательном центре «Центр радиэкологических исследований» Филиала «Институт радиационной безопасности и экологии» Республиканского государственного предприятия «Национальный ядерный центр Республики Казахстан», номер аттестата № KZ.T.07.E1325 (действителен до 04.10.2027 г.)

Таблица 2 – Описание использованных методов

Table 2 – Description of utilized methods

Показатели	Использованный метод
pH	Потенциометрический метод с применением водородного электрода
Жёсткость	Комплексонометрическое титрование трилоном Б
Ca^{2+}	Комплексонометрическое титрование трилоном Б с мурексидом в качестве индикатора
HCO_3^-	Кислотно-основное титрование соляной кислотой в присутствии фенолфталеина и метилоранжа
Cl^-	Аргентометрический метод (метод Мора)
SO_4^{2-}	Гравиметрический метод с предварительным осаждением сульфатов с помощью раствора хлорида бария
Общая минерализация (Total Dissolved Solids – TDS)	Кондуктометрический метод с применением кондуктометра Seven Compact Conductivity S220

Результаты были обработаны и представлены в виде графиков с помощью программного обеспечения Jupyter [7] и Matplotlib [8].

Результаты. По гигиеническим нормативам показателей безопасности хозяйственно-питьевого и культурно-бытового водопользования, действующим в Казахстане [9], для кислотности воды регламентирован диапазон от 6 до 9 единиц. На графиках, представленных на рисунке 2, допустимый диапазон pH показан зелёной областью.

Слишком высокая и слишком низкая кислотность приводит к негативным последствиям для биоты рек: при повышенной кислотности живым организмам сложнее поддерживать ионный баланс, что приводит к уменьшению концентрации ионов натрия в тканях; в кислой среде повышается растворимость ионов металлов в воде, что может повлечь за собой их оседание на жабрах рыб [10].

Кроме того, согласно данным Агентства по охране окружающей среды США (U.S. Environmental Protection Agency, далее EPA) [12], слишком высокие и низкие значения pH вызывают усиленную коррозию металла и выпадение осадка на внутренней поверхности труб, что сокращает срок службы и эффективность инфраструктуры, использующей такую воду, а также наносит экономический ущерб. Также по данным EPA pH сильно влияет на вкус воды: при низких значениях он становится горьким и металлическим, а при высоких вода по вкусу становится похожей на соду и создаёт скользкое ощущение на языке.

Как видно из рисунка 2, pH воды рек на протяжении всей их длины находится в допустимом диапазоне. Ярко выраженных пиков или провалов в уровне pH не наблюдается. Также во всех реках в 2024 году наблюдается низкий уровень pH.

Согласно источнику [13], pH вод реки Ертис на территории Казахстана колеблется в летний период 2023 года от 7,3 до 8,2 единицы, таким образом кислотность вод малых рек окрестностей города Риддера сопоставима с кислотностью вод реки Ертис. По О. А. Алекину [15], воды всех изученных рек относятся к слабощелочным. Почти все реки находятся в рекомендуемом EPA диапазоне pH (6,5-8,5), за исключением реки Филипповка в 2023 году, где наблюдался pH больше 8,5. В 2024 году её pH снизился и входит в установленные EPA диапазоны [12].

ПДК по жёсткости воды составляет не более 14 мг-экв/дм³ [9]. Уровень общей жёсткости сильно влияет на экологию и биоту рек: малая жёсткость воды затрудняет развитие раковин моллюсков, а повышенный уровень жёсткости влияет на кислотность воды [10].

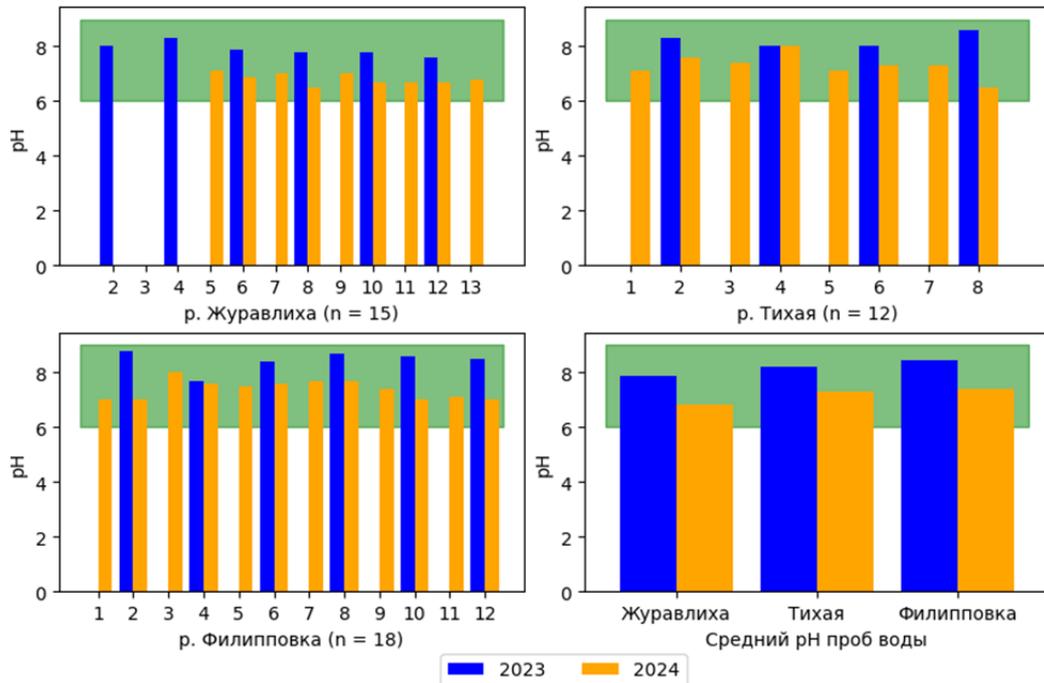


Рисунок 2 – Уровень pH в реках в окрестностях города Риддера за 2023-2024 гг.
 Figure 2 – pH level in rivers around Ridder town in 2023-2024

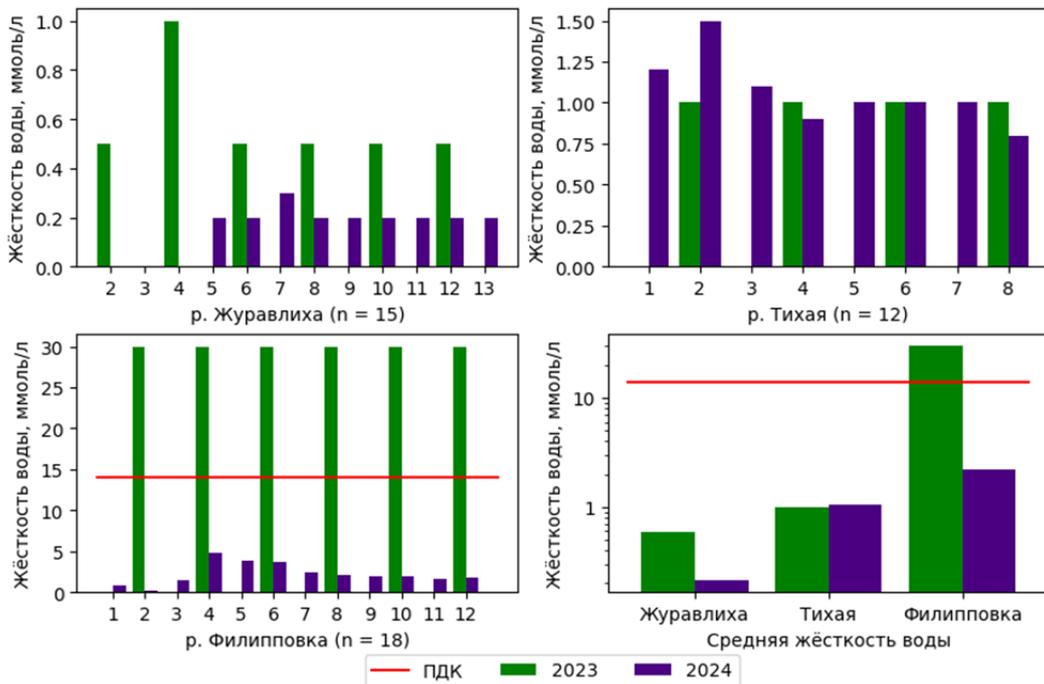


Рисунок 3 – Жёсткость воды в малых реках г. Риддера за 2023-2024 гг.
 Figure 3 – Hardness of water in rivers around Ridder town in 2023-2024

Жёсткость воды рек Журавлиха и Тихая на всех точках значительно меньше уровня ПДК, но в водах р. Филипповка в 2023 году наблюдалось превышение ПДК более чем в 2 раза. Это, вероятнее всего, связано с разливом, произошедшим в июле 2023 года, после которого в реке Филипповка наблюдалось превышение ПДК по марганцу в 5 раз. В 2023 году все отобранные из р. Филипповка пробы имели одинаковое и очень высокое значение жёсткости (30 мг-экв/дм³), что свидетельствует о насыщении вод реки ионами кальция и магния. В 2024 году уровень жёсткости в этой реке упал

значительно ниже уровня ПДК (менее 5 мг-экв/дм³). В двух реках заметно сильное уменьшение жёсткости с 2023 по 2024 год: в 2,8 раза в Журавлихе и в 13 раз для р. Филипповка, в реке Тихая же наблюдались незначительные изменения уровня жёсткости, которые могут быть объяснены естественными колебаниями.

В работе [11] показаны средние концентрации различных ионов в разных частях света, и по этим данным в реках Азии средняя общая жёсткость составляет 2,74 мг-экв/дм³. Согласно [13] в казахстанской части реки Ертис общая жёсткость варьируется от 1,7 до 2,2 мг-экв/дм³. Таким образом, жёсткость воды в реках Тихая и Журавлиха ниже средней жёсткости Ертиса и рек Азии, а река Филипповка по жёсткости близка к средним значениям рек Азии.

Жёсткость воды в изученных реках изменяется на разных участках. В реке Филипповка в 2024 году наблюдалась более высокая жёсткость в черте города Риддера и вблизи отстойников (см. рисунок 1, точки 4-6). Также в реке Тихая в 2024 году отмечалась более высокая концентрация вблизи ее истока, где в неё впадает р. Филипповка.

Жёсткость воды обусловлена сбросами предприятий и вымыванием горных пород [10]. По полученным данным о средней жёсткости в изученных реках и реках Азии был составлен убывающий ряд по отношению к среднему значению жёсткости в реках Азии (средняя жёсткость воды в реках Азии взята из источника [11] и составляет 2,74 мг-экв/дм³):

Филипповка_{10,95} > Тихая_{1,0} > Журавлиха_{0,21} – 2023 год;

Филипповка_{0,8} > Тихая_{0,4} > Журавлиха_{0,07} – 2024 год.

ПДК для хлорид-ионов в воде, согласно действующим нормативным документам, составляет 350 мг/дм³ [9]. Избыток хлорид-ионов может сильно повысить кислотность воды и растворимость ионов-металлов и часто является побочным эффектом повышенной солёности воды [10].

По данным ЕРА, хлорид-ионы могут придать воде неприятный запах и солоноватый привкус, а также негативно влияют на коррозию металлов и эффективность инфраструктуры из-за выделения хлоридов на внутренней поверхности труб. ЕРА призывает держать концентрацию хлоридов в воде в пределах 250 мг/дм³ [12].

Данные о содержании хлоридов в воде были обработаны и нанесены на графики, представленные на рисунке 4. Во всех исследуемых пробах воды концентрация хлорид-ионов была менее 10 мг/дм³, что значительно ниже ПДК. На графиках наблюдается тенденция уменьшения средней концентрации хлорид-ионов в водах всех изученных рек с 2023 по 2024 год.

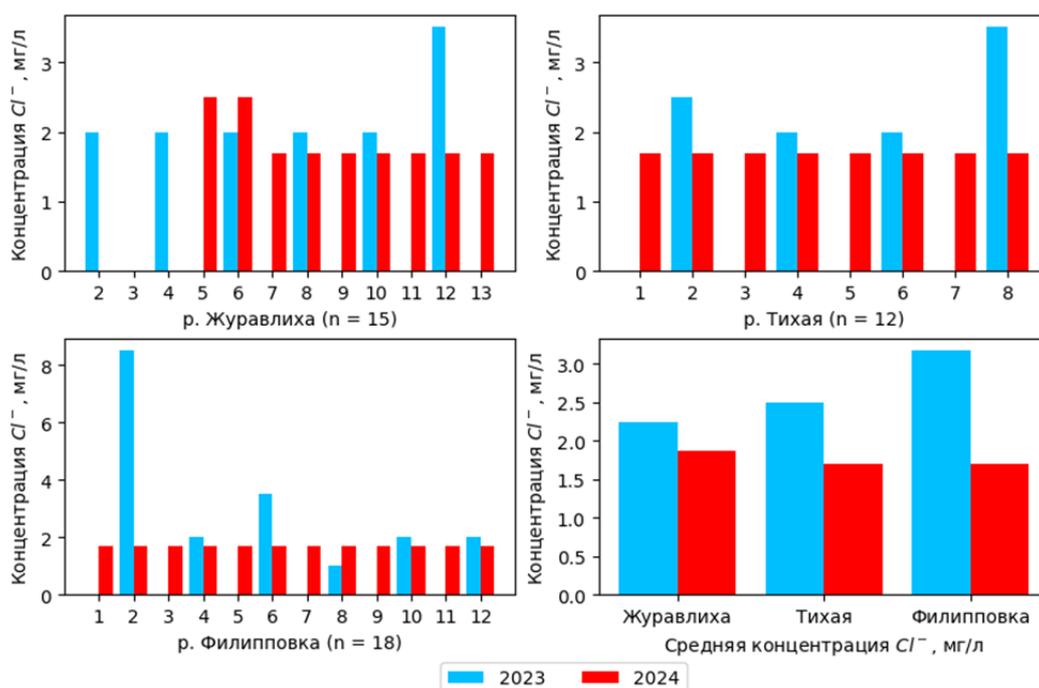


Рисунок 4 – Концентрация хлорид-ионов в водах малых рек города Риддера за 2023-2024 гг.

Figure 4 – Concentration of chloride-ions in rivers around Ridder town in 2023-2024

В водах рек Тихая и Журавлиха в 2023 и 2024 годах наблюдалось содержание хлорид-ионов в пределах $3,5 \text{ мг/дм}^3$, значительно меньше среднего значения по рекам Азии [11]. В реке Филипповка на протяжении почти всей длины наблюдается концентрация хлорид-ионов $3,5 \text{ мг/дм}^3$, кроме точки 2 в 2023 году, где концентрация хлорид-ионов поднималась до $8,5 \text{ мг/дм}^3$, что всё равно ниже средней концентрации хлорид-ионов по рекам Азии [11]. Кроме того, эти концентрации гораздо ниже установленных ЕРА значений. Также во всех изученных реках в 2023-2024 годах отмечалась тенденция к уменьшению концентрации ионов хлора, показанная в убывающих рядах относительно рек Азии ($8,7 \text{ мг/дм}^3$ по данным источника [11]):

$$\text{Филипповка}_{0,36} > \text{Тихая}_{0,29} > \text{Журавлиха}_{0,26} - 2023 \text{ год};$$

$$\text{Журавлиха}_{0,21} > \text{Филипповка}_{0,2} = \text{Тихая}_{0,2} - 2024 \text{ год}.$$

Для сульфат-ионов в Казахстане установлен ПДК 500 мг/дм^3 [9]. Избыток этих ионов способствует повышению кислотности воды, кроме того, сульфаты придают воде солоноватый привкус и неприятный запах [12]. Данные по содержанию сульфат-ионов в водах изучаемых рек представлены на рисунке 5.

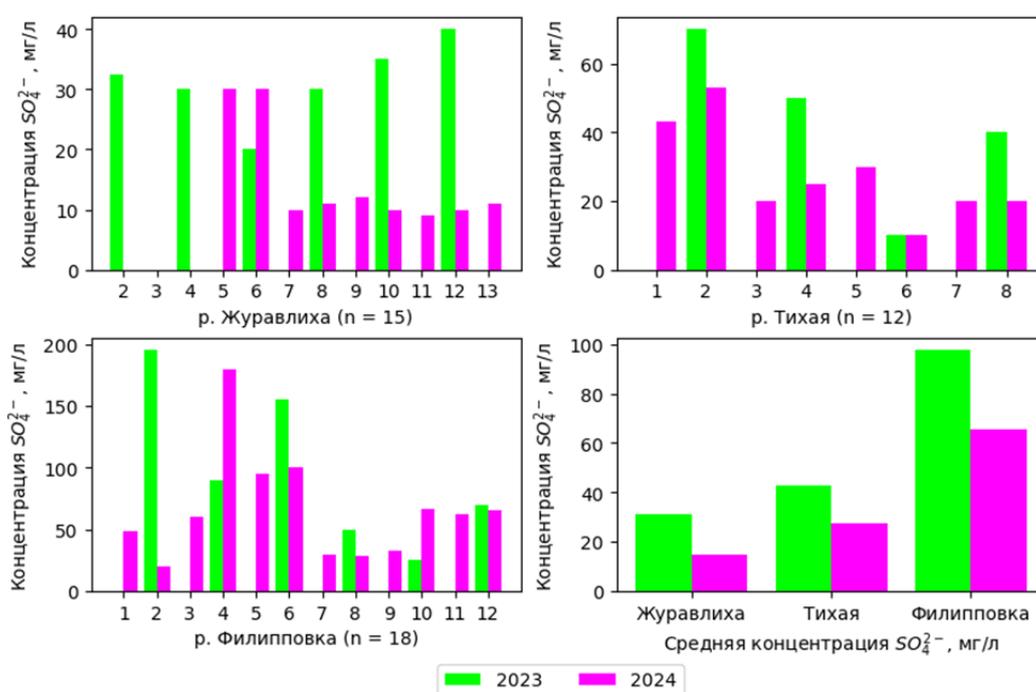


Рисунок 5 – Концентрация сульфат-ионов в водах малых рек окрестностей города Риддера за 2023-2024 гг.

Figure 5 – Concentration of sulfate ions in rivers around Ridder town in 2023-2024

Из графика видно, что ни в одной из изученных рек не наблюдается превышений ПДК. Однако содержание сульфат-ионов во всех реках гораздо выше среднего по рекам Азии [11]. Несмотря на это, во всех изученных реках отмечалась тенденция к снижению концентрации сульфат-ионов (примерно в 1,5 раза за период наблюдения). Также наиболее высокие концентрации сульфат-ионов встречаются в реке Филипповка, где они более чем в 2 раза выше, чем в остальных изученных реках. Однако ни в одной из рек за период наблюдений не было обнаружено превышение рекомендованных ЕРА значений [12].

В реке Журавлиха в 2024 году на графике наблюдаются пики на точках 5 и 6. В реке Тихая пики отмечаются в точках 1 и 2 в 2023 и 2024 годах (на этом участке река Тихая течёт вдоль окраин города Риддера). В реке Филипповка пики встречаются в 2023 году на точках 2 и 6 и в 2024 году на точке 4, которые физически расположены в городе Риддере и рядом с промышленными предприятиями и рудниками (см. рисунок 1).

Полученные данные представили в виде убывающего ряда относительно среднего значения в реках Азии ($8,4 \text{ мг/дм}^3$) [11]:

Филипповка_{11,6} > Тихая_{5,06} > Журавлиха_{3,72} – 2023 год;

Филипповка_{7,8} > Тихая_{3,3} > Журавлиха_{1,76} – 2024 год.

Концентрация ионов кальция напрямую влияет на жёсткость воды. Концентрация кальция в разных участках рек представлена на рисунке 6.

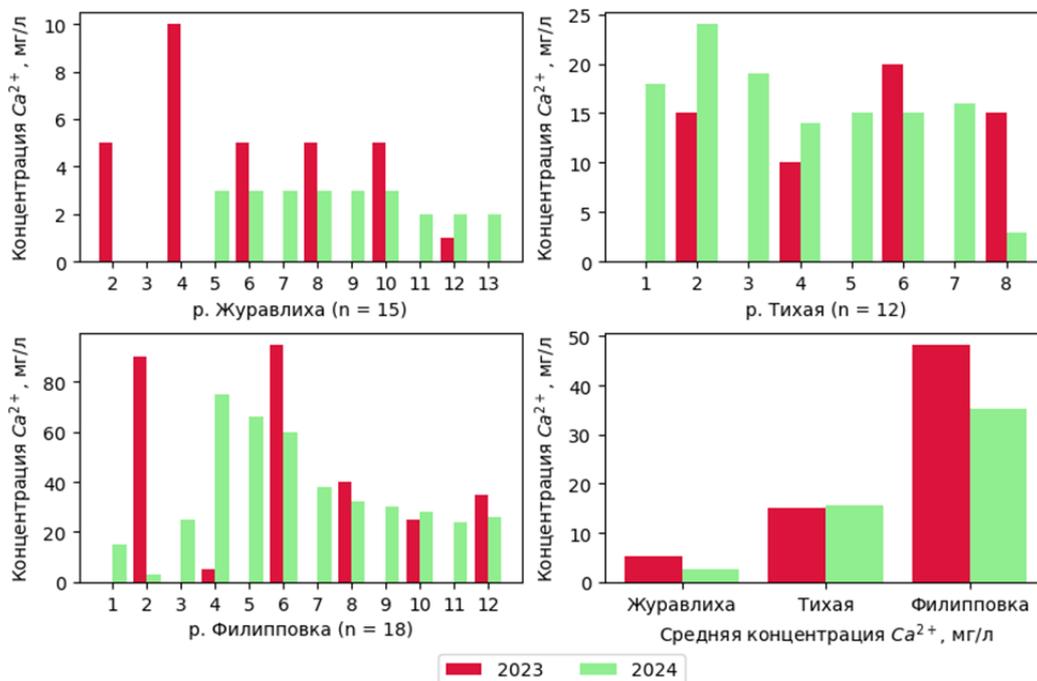


Рисунок 6 – Концентрация ионов кальция в водах малых рек окрестностей города Риддера за 2023-2024 гг.

Figure 6 – Concentration of calcium ions in rivers around Ridder town in 2023-2024

Наибольшая концентрация ионов кальция установлена на реке Филипповка, где средняя концентрация превосходит все остальные в изученных реках более чем в 2 раза. В реке Тихая концентрация ионов кальция гораздо ниже, чем в р. Филипповка, но более чем в 2 раза превосходит концентрацию этих ионов в р. Журавлиха. Для рек Азии средняя концентрация ионов кальция составляет $18,4 \text{ мг/дм}^3$ [10]. Таким образом, река Тихая по концентрации ионов кальция близка к среднему показателю для рек Азии, река Журавлиха относительно бедна кальцием, в то время как река Филипповка содержит кальция более чем в 2 раза относительно среднего показателя рек Азии. Полученные данные также были представлены в виде убывающего ряда относительно средних значений рек Азии, составляющего $18,4 \text{ мг/дм}^3$ по данным источника [11]:

Филипповка_{2,63} > Тихая_{0,82} > Журавлиха_{0,28} – 2023 год;

Филипповка_{1,91} > Тихая_{0,84} > Журавлиха_{0,15} – 2024 год.

Концентрация гидрокарбонат-ионов в воде является важным параметром для экологии рек. Высокие концентрации гидрокарбонат-ионов говорят о том, что происходит вымывание богатых карбонатами горных пород или активное разложение органических веществ реки микроорганизмами. Малое содержание гидрокарбонатов обычно является следствием активной деятельности фотосинтезирующих организмов [10]. На рисунке 7 показаны графики, характеризующие концентрацию гидрокарбонат-ионов на разных участках рек.

Как видно из графика на рисунке 7, наибольшая концентрация гидрокарбонат-ионов была зарегистрирована в реке Филипповка в 2023 году. Она более чем в 2 раза превосходит концентрацию этих ионов в реке Тихая и в 4 раза в реке Журавлиха. При этом средняя концентрация ионов в реке Тихая не изменилась за исследуемый период, а в реках Журавлиха и Филипповка концентрация гидрокарбонат-ионов уменьшилась.

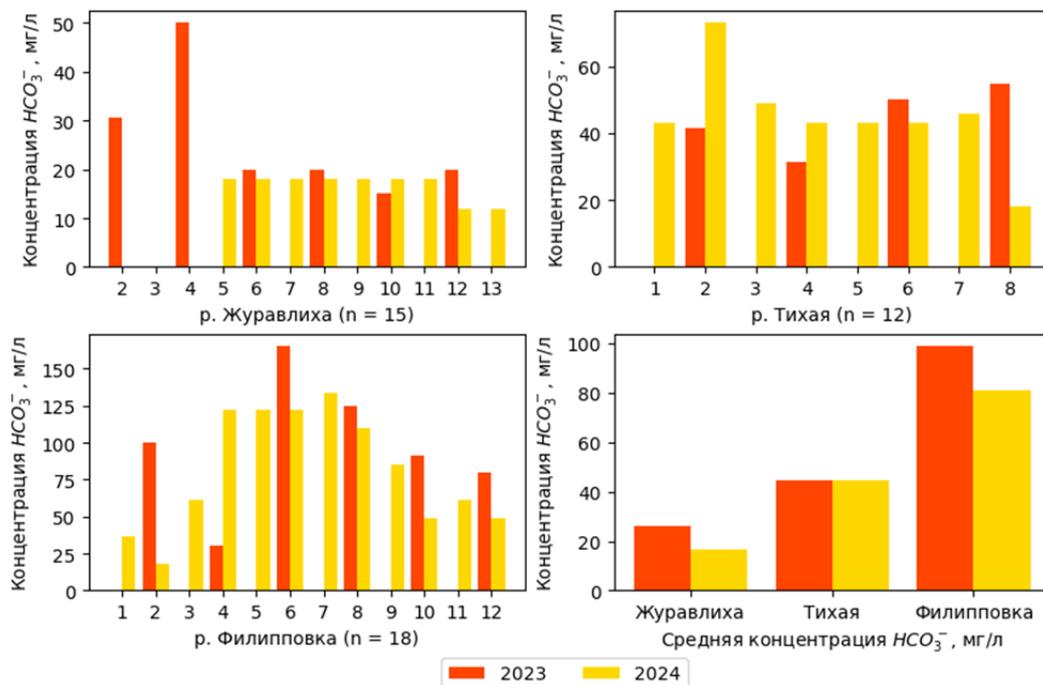


Рисунок 7 – Концентрация гидрокарбонат-ионов в водах малых рек окрестностей города Риддера за 2023-2024 гг.
 Figure 7 – Concentration of hydrocarbonate ions in rivers around Ridder town in 2023-2024

Средняя концентрация гидрокарбонат-ионов в водах рек Азии составляет 79,0 мг/дм³ [11]. Воды рек Журавлиха и Тихая значительно менее богаты HCO₃⁻-ионами, в то время как р. Филипповка содержит больше гидрокарбонат-ионов относительно средних показателей рек Азии. Концентрация HCO₃⁻-ионов в водах реки Ертис колеблется от 48,82 до 195,26 мг/дм³ [13]. Концентрации гидрокарбонат-ионов вод рек Тихая и Филипповка находятся в этом диапазоне, тогда как концентрации гидрокарбонат-ионов в р. Журавлиха гораздо ниже.

В реке Журавлиха концентрация HCO₃⁻ равномерна на всём её протяжении и в 2023, и в 2024 году, кроме проб из точек 2 и 4 в 2023 году. В реке Тихая также наблюдается равномерное распределение гидрокарбонат-ионов, с пиками в точке 2 в 2024 году, а в реке Филипповка явных пиков не отмечается, концентрация ионов плавно растёт от истока, достигает максимального значения на среднем участке реки и плавно понижается к ее устью. Полученные за 2023 и 2024 годы данные были представлены в виде двух убывающих рядов относительно средних показателей рек Азии, составляющих 79,0 мг/дм³ [11]:

$$\begin{aligned} & \text{Филипповка}_{1,25} > \text{реки Азии} > \text{Тихая}_{0,56} > \text{Журавлиха}_{0,38}; \\ & \text{Филипповка}_{1,02} > \text{реки Азии} > \text{Тихая}_{0,57} > \text{Журавлиха}_{0,21}. \end{aligned}$$

Общая минерализация воды является важным показателем её качества. Для пресноводных организмов уровень минерализации воды должен находиться в определённых пределах. Вода со слишком низкой общей минерализацией содержит недостаточно элементов для нормального развития водных организмов, большие значения общей минерализации соответствуют солёной воде, в которой не может выживать пресноводная биота [10]. По данным ЕРА [12], избыточная минерализация воды придаёт ей жёсткость, вызывает повышенную накипь и налёт на трубах, придаёт воде цвет и солоноватый вкус, и такая вода оставляет после себя пятна.

ПДК общей минерализации для воды, согласно нормативам Республики Казахстан [9], составляет 1000 мг/л, что значительно выше полученных при анализе показаний. ЕРА рекомендует общую минерализацию (Total Dissolved Solids – TDS) в пределах 500 мг/дм³, что также значительно выше полученных показаний [12]. Результаты измерений общей минерализации вод исследуемых рек представлены на рисунке 8.

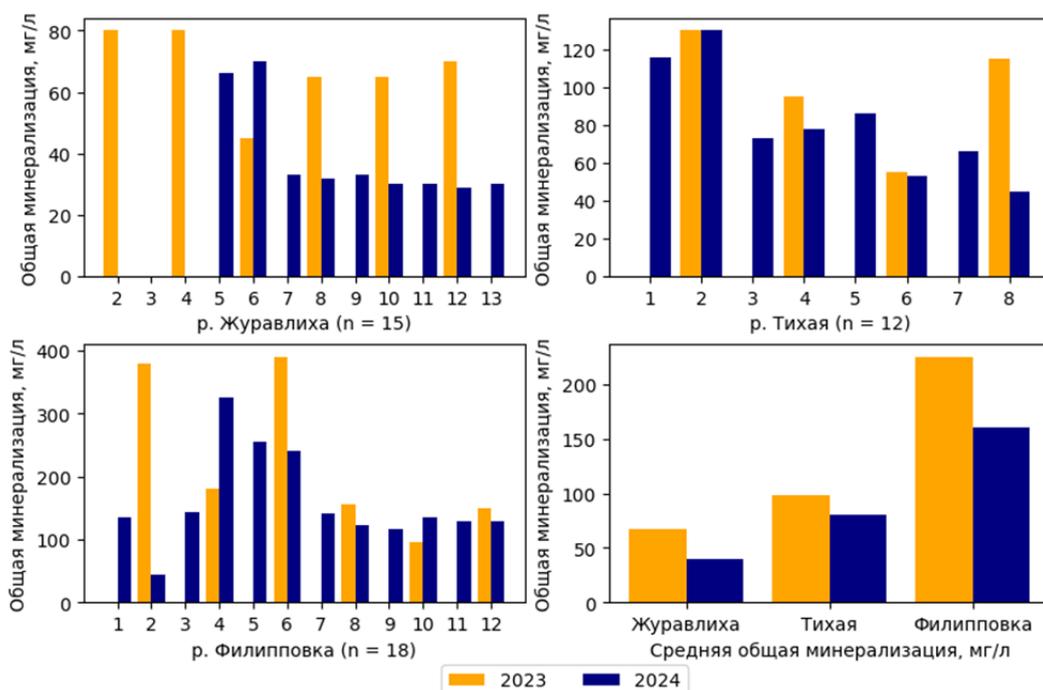


Рисунок 8 – Общая минерализация в малых реках окрестностей города Риддера за 2023-2024 гг.

Figure 8 – Total Dissolved Solids (TDS) in rivers around Ridder town in 2023-2024

По классификации А. М. Овчинникова [14], реки с общей минерализацией вод менее 200 мг/л относятся к ультрапресным, а с общей минерализацией 200-500 мг/л – к пресным. Из графика видно, что реки Журавлиха (70 и 40 мг/дм³ в 2023 и 2024 гг.) и Тихая (100 и 81 мг/дм³ в 2023 и 2024 гг.) ультрапресные на протяжении всей своей длины. Река Филипповка является ультрапресной на протяжении почти всей своей длины, кроме нескольких точек (точки 2 и 6 в 2023 г.; точки 4-6 в 2024 г.). Также воды реки Ертис, притоками которой являются изучаемые реки, ультрапресные [13]. Согласно источнику [11], средняя общая минерализация рек в Азии составляет 142 мг/л. Таким образом, общая минерализация рек Журавлиха и Тихая (кроме первой и последней точек) по всей длине ниже среднего значения рек Азии [11]. В реке Филипповка на некоторых участках наблюдается общая минерализация больше среднего значения рек Азии [11].

Обсуждение. Для классификации речной воды применяется классификация вод по химическому составу А. О. Алёкина [15]. По этой классификации рекам присваивается класс по преобладающему аниону, а каждый класс делится на группы по преобладающему катиону. Класс при этом делится на типы по соотношению преобладающих катионов и анионов. По графику, представленному на рисунке 9, можно сделать вывод, что в изученных реках воды относятся к карбонатному и сульфатному классу, группе кальция, первому типу (SC_1^{Ca}).

В целом такой химический состав рек воды характерен для горных рек со снеговым и ледниковым питанием [14, 15]. В сравнении со средними показателями рек Азии [11] в изученных реках наблюдается малая концентрация примесей, однако в р. Филипповка установлены высокая общая минерализация и высокая жёсткость относительно других исследованных рек. Высокая жёсткость проб воды в реке Филипповка, вероятно, связана с аварией, которая произошла в результате прорыва пульпопровода на хвостохранилище Риддерского горно-обогатительного комплекса ТОО «Казцинк», и утечкой шлама на рельеф местности, откуда по естественному уклону жидкие отходы стекли в реку Филипповка [4]. При сравнении средней общей минерализации в реках в 2023 и 2024 годах наблюдается тенденция к уменьшению общей минерализации.

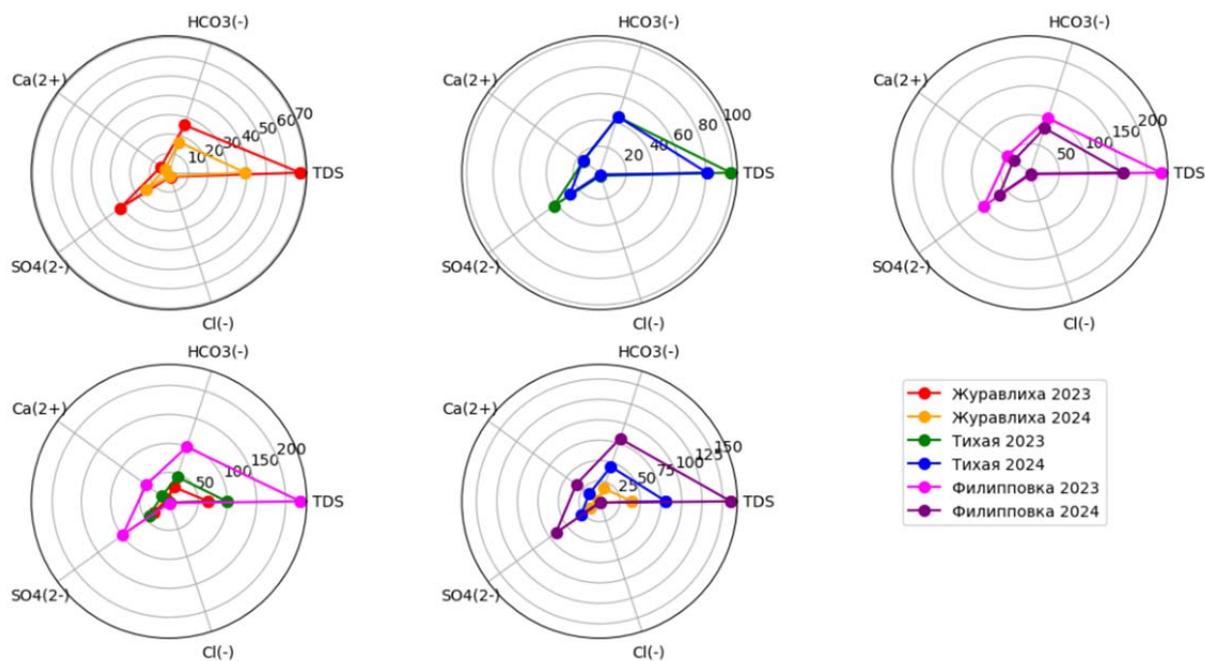


Рисунок 9 – Распределение ионов в водах изученных малых рек Риддера за 2023-2024 гг.
 Figure 9 – Distribution of ions in waters of investigated rivers around Ridder town in 2023-2024

Заклучение. Химический анализ рек показал, что превышений ПДК основных ионов в малых окрестностей города Риддера не отмечается, за исключением превышений ПДК по жёсткости воды в р. Филипповка в 2023 году на всей её протяжённости, вероятно, за счёт воздействия промышленных предприятий. В то же время согласно анализу средние значения многих исследуемых показателей в малых реках города Риддера ниже среднего значения относительно рек Азии. Наибольшие концентрации растворённых веществ обнаруживаются в реке Филипповка в черте города Риддера и рядом с отстойниками. Похожие концентрации встречаются у воды в месте слияния рек Филипповка и Тихая (это место расположено на границе города Риддера и вблизи отстойников). Воды изученных рек относятся к ультрапресным, по классификации А. О. Алёкина им был присвоен SC_I^{Ca} – карбонатный и сульфатный класс, группа кальция, первого типа.

С 2023 по 2024 год была тенденция к уменьшению жёсткости, общей минерализации и концентрации растворённых веществ. Среди рек в период наблюдения выделяется р. Филипповка – наиболее загрязнённая, в которой также отмечаются сильные изменения измеряемых показателей (до 13 раз в отношении жёсткости воды). В р. Тихая установлены меньшие концентрации ионов и меньшая жёсткость в сравнении с р. Филипповка. Самой чистой рекой оказалась Журавлиха, расположенная за чертой города и с минимальным влиянием промышленного комплекса региона.

Финансирование. Работа выполнена при поддержке грантового финансирования АР19576259 «Экологическая оценка малых рек как показатель трансформации геосистем горнодобывающих районов Восточного Казахстана».

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Aidarkhanova A. et al. Assessment of the radionuclide and chemical composition of the Irtysh River water at the Republic of Kazakhstan territory // RSC Adv. – 2024. – Вып. 36. – С. 26208-26218. DOI: 10.1039/d4ra02557a
- [2] Департамент статистики населения Численность населения Республики Казахстан по полу и типу местности (на 1 января 2024 г.) [Электрон. ресурс]. – 2024. – URL: <https://stat.gov.kz/ru/industries/social-statistics/demography/publications/117680/> (дата обращения: 03.07.2025).
- [3] СП «Вектор» Программа управления отходами Риддерского металлургического комплекса ТОО «Казцинк» на 2022-2028 годы [Электрон. ресурс]. – 2022. – URL: <https://ecoportal.kz/Public/PubHearings/LoadFile/32379> (дата обращения: 03.07.2025).
- [4] О принятых мерах по ликвидации последствий аварийного порыва трубопровода хвостового хранилища Риддерского горно-обогатительного комплекса ТОО «Казцинк» в Восточно-Казахстанской области [Электрон. ресурс]. – 2023. – URL: <https://www.gov.kz/memleket/entities/cerc/press/news/details/614676?lang=ru&ysclid=memgrubz1w43550889> (дата обращения: 22.08.2025).

- [5] ГОСТ 31861-2012 «Вода. Общие требования к отбору проб». – М.: Стандартинформ, 2019. – 36 с.
- [6] ГОСТ 26449.1-85. Установки дистилляционные опреснительные стационарные. Методы анализа соленых вод. – М.: Изд-во стандартов, 2003. – С. 57-101.
- [7] Jupyter Foundation About Us Project Jupyter's origins and governance [Электрон. ресурс]. – 2025. – URL: <https://jupyter.org/about> (дата обращения: 03.07.2025).
- [8] Hunter J. D. Matplotlib: A 2D Graphics Environment // Computing in Science & Engineering – 2007. – Vol. 9. – P. 90-95. DOI: 10.1109/MCSE.2007.55.
- [9] Правовая информационная служба МЮ РК Закон «Об утверждении Гигиенических нормативов показателей безопасности хозяйственно-питьевого и культурно-бытового водопользования». Приказ министра здравоохранения Республики Казахстан от 24 ноября 2022 года, № КР ДСМ-138 [Электрон. ресурс]. – 2022. – URL: <https://adilet.zan.kz/rus/docs/V2200030713> (дата обращения: 03.07.2025).
- [10] Allan J. David, Castillo María M., Krista A. Capps Stream Ecology Structure and Function of Running Waters. – Ham: Springer Nature Switzerland AG, 2021. – 494 p. <https://doi.org/10.1007/978-3-030-61286-3>.
- [11] Allan J. David, Castillo María M., Krista A. Capps Stream Ecology Structure and Function of Running Waters. – Ham: Springer Nature Switzerland AG, 2021. – P. 79. Table 4.2 <https://doi.org/10.1007/978-3-030-61286-3>
- [12] United States Environmental Protection Agency Secondary Drinking Water Standards: Guidance for Nuisance Chemicals [Электрон. ресурс]. – 2025. – URL: <https://www.epa.gov/sdwa/secondary-drinking-water-standards-guidance- nuisance-chemicals#table-of-secondary> (дата обращения: 03.07.2025).
- [13] Романова С. М., Крупа Е. Г., Серикова А. С., Алексеев С. Н. Современная гидрохимическая характеристика водных объектов казахстанской части бассейна р. Ертіс // Гидрометеорология и экология. – 2024. – Вып. 1. – С. 121-132. DOI: 10.54668/2789-6323-2024-112-1-121-132.
- [14] Овчинников А. М. Общая гидрогеология: учебник – М.: Государственное научно-техническое издательство литературы по геологии и охране недр, 1955. – 382 с.
- [15] Алёкин О. А. Основы гидрохимии – Ленинград: Гидрометеорологическое издательство, 1953. – 296 с.

REFERENCES

- [1] Aidarkhanova A. et al. Assessment of the radionuclide and chemical composition of the Irtysh River water at the Republic of Kazakhstan territory // RSC Adv. 2024. Issue 36. P. 26208-26218. DOI: 10.1039/d4ra02557a
- [2] Department of Population Statistics Population of the Republic of Kazakhstan by gender and type of locality (as of January 1, 2024) [Electronic resource]. 2024. URL: <https://stat.gov.kz/ru/industries/social-statistics/demography/publications/117680/> (date of request: 07/03/2025) (in Russ.).
- [3] JV Vector Waste management program of the Ridder Metallurgical Complex of Kazzinc LLP for 2022-2028 [Electron. resource]. 2022. URL: <https://ecoportal.kz/Public/PubHearings/LoadFile/32379> (date of request: 07/03/2025) (in Russ.).
- [4] On measures taken to eliminate the consequences of an emergency burst of the pipeline of the tailings storage facility of the Ridder Mining and Processing complex of Kazzinc LLP in the East Kazakhstan region. [The electron. resource]. 2023. URL: <https://www.gov.kz/memleket/entities/cerc/press/news/details/614676?lang=ru&ysclid=memgrubz1w43550889> (accessed: 08/22/2025) (in Russ.).
- [5] GOST 31861-2012 Water. General requirements for sampling. M.: Standartinform, 2019. 36 p. (in Russ.).
- [6] GOST 26449.1-85. Stationary distillation and desalination plants. Methods of salt water analysis. Moscow: Izdvo standartov, 2003. P. 57101 (in Russ.).
- [7] Jupyter Foundation About the Us Project Jupyter's origins and governance [Electron. resource]. 2025. URL: <https://jupyter.org/about> (date of request: 07/03/2025)
- [8] Hunter J. D. Matplotlib: A 2D Graphics Environment // Computing in Science & Engineering. 2007. Issue 9. P. 90-95. DOI: 10.1109/MCSE.2007.55.
- [9] Legal Information Service of the Ministry of Justice of the Republic of Kazakhstan The Law "On approval of Hygienic standards for safety indicators of household, drinking and cultural water use". Order of the Minister of Health of the Republic of Kazakhstan dated November 24, 2022 No. KR DSM-138 [Electronic. resource]. 2022. URL: <https://adilet.zan.kz/rus/docs/V2200030713> (date of request: 07/03/2025) (in Russ.).
- [10] Allan J. David, Castillo María M., Krista A. Capps Stream Ecology Structure and Function of Running Waters. Ham: Springer Nature Switzerland AG, 2021. 494 p. <https://doi.org/10.1007/978-3-030-61286-3>.
- [11] Allan J. David, Castillo María M., Krista A. Capps Stream Ecology Structure and Function of Running Waters. Ham: Springer Nature Switzerland AG, 2021. P. 79. Table 4.2 <https://doi.org/10.1007/978-3-030-61286-3>.
- [12] United States Environmental Protection Agency Secondary Drinking Water Standards: Guidance for Nuisance Chemicals [Electronic. resource]. 2025. URL: <https://www.epa.gov/sdwa/secondary-drinking-water-standards-guidance- nuisance-chemicals#table-of-secondary> (date of request: 07/03/2025).
- [13] Romanova S. M., Krupa E. G., Serikova A. S., Alekseev S. N. Modern hydrochemical characteristics of water bodies in the Kazakh part of the Yertis River basin // Hydrometeorology and Ecology. Issue 1. 2024. P. 121-132. DOI: 10.54668/2789-6323-2024-112-1-121-132 (in Russ.).
- [14] Ovchinnikov A.M. General hydrogeology: textbook Moscow: State Scientific and Technical Publishing House of Literature on Geology and Subsoil Protection, 1955 382 p. (in Russ.).
- [15] Alekin O. A. Fundamentals of hydrochemistry. Leningrad: Hydrometeorological Publishing House, 1953. 296 p. (in Russ.).

М. Т. Дюсембаева¹, В. Н. Бубликов², В. В. Колбин³,
С. Д. Смирнов⁴, Н. К. Нургайсинова⁵, А. Ж. Ташекова^{*6}

¹ PhD, бөлімі бастығының орынбасары (Радиациялық қауіпсіздік және экология институты филиалы, ҰЯО ҚР, Курчатов, Қазақстан; koigeldinova@nnc.kz)

² Зертханасының маманы (Радиациялық қауіпсіздік және экология институты филиалы, ҰЯО ҚР, Курчатов, Қазақстан; [ublikov@nnc.kz](mailto:bublikov@nnc.kz))

³ Зертханасының бастығы (Радиациялық қауіпсіздік және экология институты филиалы, ҰЯО ҚР, Курчатов, Қазақстан; kolbin@nnc.kz)

⁴ Зертханасының маман (Радиациялық қауіпсіздік және экология институты филиалы, ҰЯО ҚР, Курчатов, Қазақстан; smirnov@nnc.kz)

⁵ Зертханасының маманы (Радиациялық қауіпсіздік және экология институты филиалы, ҰЯО ҚР, Курчатов, Қазақстан; nurgaisinova@nnc.kz)

^{6*} PhD, Топ бастығы (Радиациялық қауіпсіздік және экология институты филиалы, ҰЯО ҚР, Курчатов, Қазақстан; zhymanova.13@mail.ru)

ШЫҒЫС ҚАЗАҚСТАННЫҢ РИДДЕР ҚАЛАСЫ КІШІ ӨЗЕНДЕРДІҢ ХИМИЯЛЫҚ СИПАТТАМАСЫ

Аннотация. Шығыс Қазақстанда металлургия өнеркәсібінің орталықтары мен трансшекаралық Ертіс өзенінің ірі сағалары орналасқан. Зерттеу үшін Риддер қаласының маңында орналасқан үш өзен алынды, олар: Журавлиха, Тихая және Филипповка. 2023-2024 жылдардағы осы өзендерге салыстырмалы сипаттама берілді, олардың арналары бойындағы өзендер суының химиялық, атап айтқанда: қышқылдық, қаттылық, кальций иондарының концентрациясы, гидрокарбонат, хлорид- және сульфат иондары, сондай-ақ жалпы минералдану құрамына зерттелді. Зерттелген өзендердің сулары SC_I^{Ca} класына жатады (О.А. Алекин жіктемесі бойынша) және Қазақстан заңнамасында белгіленген ШРК-дан аспайды және US EPA ұсынған мәндер шегінде орналасқан. Ерекшелетіні Филипповка өзені, онда 2023 жылы ШРК-дан асатын қаттылық байқалды. Бұл, алдында болған техногендік апатқа байланысты.

Түйін сөздер: Шығыс Қазақстан, кіші өзендер, гидрохимиялық көрсеткіштер, өзен сулары.

М. Т. Dyusembayeva¹, V. N. Bublikov², V. V. Kolbin³,
S. D. Smirnov⁴, N. K. Nurgaisinova⁵, A. Zh. Tashekova^{*6}

¹ PhD, Deputy head (Branch office 'Institute of Radiation Safety and Ecology', NNC RK, Kurchatov, Kazakhstan; koigeldinova@nnc.kz)

² Specialist laboratory (Branch office 'Institute of Radiation Safety and Ecology', NNC RK, Kurchatov, Kazakhstan; [ublikov@nnc.kz](mailto:bublikov@nnc.kz))

³ Head of the laboratory (Branch office 'Institute of Radiation Safety and Ecology', NNC RK, Kurchatov, Kazakhstan; kolbin@nnc.kz)

⁴ Specialist laboratory (Branch office 'Institute of Radiation Safety and Ecology', NNC RK, Kurchatov, Kazakhstan; smirnov@nnc.kz)

⁵ Specialist laboratory (Branch office 'Institute of Radiation Safety and Ecology', NNC RK, Kurchatov, Kazakhstan; nurgaisinova@nnc.kz)

^{6*} PhD, A team lead (Branch office 'Institute of Radiation Safety and Ecology', NNC RK, Kurchatov, Kazakhstan; zhymanova.13@mail.ru)

CHEMICAL CHARACTERISTIC OF SMALL RIVERS IN RIDDER CITY OF THE EAST KAZAKHSTAN

Abstract. East Kazakhstan has centers for smelting industry and large tributaries to the transboundary Irtysh river. three rivers were taken for research in the neighborhood of Ridder c.: Zhuravlikha, Tikhaya and Filippovka. Comparative characteristic was given to these rivers over 2023-2024, a chemical composition of water studied along the riverbeds, namely: acidity, hardness, concentrations of calcium ions, hydrocarbonate-chloride- and sulfate ions as well as total salinity. The waters of studied rivers are classed as SC_I^{Ca} (as classified by O. A. Alekina) with no excess of MPC established by the Kazakhstani legislation and range within the values recommended by the US EPA. The exception is the Filippovka riv., which exhibited hardness exceeding MPC in 2023. Most likely, this was due to a man-made accident that had took place the day before.

Keywords: East Kazakhstan, small rivers, hydrochemical indicators, river waters.

Земельные ресурсы, ландшафтоведение и рациональное природопользование

Жер ресурстары, ландшафттану және қоршаған ортаны басқару

Land resources, landscape science and environmental management

<https://doi.org/10.55764/2957-9856/2026-1-63-70.6>

IRSTI 39.19:24
UDC 631.5

A. Aidarova¹, A. Mussagaliyeva*², Zh. Assipova³,
N. Oryngoza⁴, S. Turganaliyev⁵, F. Yıldız⁶

¹ PhD student (Kazakh National Agrarian Research University, Almaty, Kazakhstan;
asema_aidarova@mail.ru)

² *PhD, Associate Professor (Al-Farabi Kazakh National University,
Almaty, Kazakhstan; *aizhan.mussagaliyeva@kaznu.edu.kz*)

³ PhD, Associate Professor (Al-Farabi Kazakh National University,
Almaty, Kazakhstan; *zhanna.assipova@kaznu.edu.kz*)

⁴ Magistr (Al-Farabi Kazakh National University, Almaty, Kazakhstan; *naz3ere@gmail.com*)

⁵ Candidate of Economic Sciences (Al-Farabi Kazakh National University,
Almaty, Kazakhstan; *saken.turganaliyev@mail.ru*)

⁶ Professor (Selcuk University, Konya, Türkiye; *fyildiz@ktun.edu.tr*)

EFFECTIVE MANAGEMENT OF LAND RESOURCES TO OPTIMIZE THEIR RATIONAL AND SUSTAINABLE LAND USE FROM DEGRADATION AND ECOLOGICAL AND ECONOMIC ASSESSMENT OF LANDS

Abstract. The article presents data on effective land management for optimization of their rational use from land degradation and This article presents effective land management methods for mitigating land degradation and addressing water and wind erosion. It summarizes theoretical and practical knowledge about the mechanisms of erosion processes and methods for reducing land degradation. Currently, science offers effective technologies and protection of land use from degradation; a new, different view of the mood-ecological state of land use. This means research and analysis of optimal land use methods and methods to reduce land degradation in land use in Kazakhstan, which accounts for about 90 percent. Thus, as Kazakh scientists have proven, land degradation occurs naturally and is largely dependent on human activity. Furthermore, local climatic conditions and anthropogenic impacts in many cases influence soil degradation in Kazakhstan. The main existing factors of soil erosion are rain, snow, wind, and floods, which are very harmful because they degrade the soil quality. In Kazakhstan's main regions, degraded local lands are used for agricultural purposes, as this involves the use of toxic and chemical pollutants that are hazardous to the soil, impairing the life of organisms, and reducing soil adhesion. The country's primary agricultural practices rely exclusively on fertilizers and harmful chemical pesticides, often due to excessive and, apparently, improper use of chemical fertilizers. As a result, beneficial bacteria and other microorganisms that are part of the soil are destroyed. It is necessary to take into account the urgent problem of improving the methods of rational use of lands in conditions of degradation. In these conditions, improving the organizational and economic mechanism for protecting agricultural lands from degradation. This predetermines the choice of the topic, object and main directions of research.

Keywords: land management, management, land resources, optimization, rational use, degradation, irrigation of lands.

Introduction. Land degradation is the reduction, and sometimes complete loss, of the biological and economic efficiency of land use. It is a major problem that often leads to very serious, immediate negative consequences of land use. Land degradation during land use occurs primarily as a result of human activity and is also destroyed by natural processes such as climate change. More than 25% of the world's used land is in a state of degradation. Thus, the development of new technologies and methods to combat land degradation using new improving materials for degraded lands and rational land use methods is an urgent task. To reduce land degradation, it is necessary to introduce new technologies, use soil compactors, and develop optimal agronomic and reclamation measures.

Along with the application of mineral fertilizers, it is necessary to carry out competent anti-erosion measures. There are various forms of land degradation, including the contamination of the soil's fertile composition or its improvement. Salinization, acidification, or salinization, natural flooding, the introduction of large volumes of toxic pollutants into the soil, erosion, and the destruction of soil structure. These factors cause significant soil degradation. Soil conditions remain constant and high. In some regions of the country, severe soil degradation caused by chemical use is having immediate and widespread consequences compared to previous years. This serious problem is leading to global environmental problems for the republic. Soil degradation also occurs naturally. Human impacts are largely dependent on human activity. Climate change, human organization and activities continue to worsen soil degradation every year [1-4].

Therefore, this article discusses effective land management methods to optimize their rational use in the context of land degradation and irrigation, and provides a review of national problems: water and wind erosion, land degradation.

Methods and materials. In Kazakhstan's agriculture, the main factors and direct causes of soil erosion include physical and active factors. These include natural vegetation cover and the structure of the earth's surface. Seasonal rains and heavy rains, as well as floods, are all factors of erosion. Furthermore, wind waves and dangerous landslides pose a significant risk of crustal destruction. Soil quality deteriorates, including under the influence of biological natural factors, depending on its ability. resulting in a decline in soil quality. This significantly impacts the microbial composition due to active biochemical reactions. Thus, upon completion of these reactions, its activity, efficiency and fertility of the layer decrease. We believe that misuse of resources in agriculture can also lead to soil deterioration and a decrease in soil fertility at the expense of plant nutrients. In these cases, the reduction in microbial activity depends mainly on biological factors.

In our country, chemical erosion is primarily caused by the loss of nutrients from the soil – alkalis, acids, etc. This alters the chemical composition of the soil, as well as the nutrients available for land use. This process occurs in such a way that salts accumulate in the soil in large quantities and leach out essential nutrients, causing negative changes in the chemical composition of the soil, leading to a deterioration in its quality. As a result of this exposure, along with hazardous chemical factors, significant losses of nutrients for various plants and a decrease in soil fertility occur in some areas of Kazakhstan. Consequently, the soil turns into a hardened, clay-, iron-, and aluminum-containing soil that hardens like cement [2, 5-8].

Private farmers, unaware of the degradation of their own lands in some regions of Kazakhstan, resort to intensive and targeted use of pesticides and chemical fertilizers. They fail to understand that chemical fertilizers reduce the viability of organisms and weaken the soil's adhesive system.

In Kazakhstan, the use of chemical fertilizers and other beneficial pesticides is common in agriculture. Simply put, this leads to their improper and even very dangerous use in land cultivation. Consequently, after treatment with ethical chemicals, beneficial bacteria and other microorganisms involved in soil formation die.

It is necessary to take into account the urgent problem of improving the methods of rational use of lands in conditions of degradation. In these conditions, improving the organizational and economic mechanism for protecting agricultural lands from degradation. This predetermines the choice of the topic, object and main directions of research.

These include:

1. Reducing deforestation.
2. Land reclamation.
3. Preventing soil salinization.

4. Proper soil cultivation methods are one of the most sustainable ways to prevent deterioration of soil quality [2, 5, 9-12].

Agricultural activity increases the negative impact of erosion processes on soils and causes gradual and steadily continuing land degradation, loss of fertility, and a decrease in the economic and business performance of agricultural production. To justify measures to restore soil fertility and soil conservation land management projects, an analysis of the economic consequences of degradation and an economic assessment of the organization of anti-erosion protection are required. The paper assesses the degree of degradation of agricultural lands in Kazakhstan based on the magnitude of economic losses due to water and wind erosion of soil with differentiation by administrative and land assessment regions, and develops maps of the distribution of regions with varying degrees of erosion. The values of the coefficient of productivity reduction and economic losses under the influence of erosion processes are calculated, the regions are ranked according to the potential efficiency of land restoration. The main directions of internal land management are outlined depending on the landscape features and the nature of damage.

In the Republic of Kazakhstan, there are four types of land degradation: the first type is biological, the second is chemical, the third is physical, and the fourth is mechanical. Our scientists conducted a thorough analysis of soil degradation processes in several regions of Kazakhstan and found that the deterioration in soil quality is primarily due to human activity. It turns out that the destruction of soil and vegetation under human influence is primarily caused by anthropogenic factors. They also found that soil degradation sometimes occurs across the entire latitude, while other times it occurs only in isolated areas due to the destruction of vegetation. Economic activity plays a particularly important role in the republic. This includes mineral extraction, road construction, various industrial facilities that generate profits for the country's economy, and the maintenance of oil and gas pipelines – all of which represent a global problem of agricultural land degradation [12, 13-19].

As is well known, soil erosion is the destruction of the deforming layer of the earth's upper vegetation cover under the influence of water and wind, and it is a dangerous phenomenon. Soil erosion is divided into five main groups based on factors or types: the first is the influence of climate, the second is topographic features, the third is the impact on the soil, the fourth is biological and genetic factors, and finally, the fifth is anthropogenic, that is, human-induced.

According to research, the intensity of erosion directly depends on key factors:

- climate intensity (rain and snow), air pressure, and the speed and direction of temporary wind forces;
- terrain topography – extent, steepness, slope, and terrain type;
- soil permeability, erosion resistance, and soil characteristics;
- biological genetic factors and the formation of the soil network. Invertebrates and the protection of green vegetation from wind and temperature fluctuations.

The republic's economic activity counteracts the impact of soil erosion factors and accelerates soil vitality. Research has shown that physical destruction completely destroys soil compared to natural objects [16, 20, 21].

Our scientists studied this issue in more detail, revealing that chemical soil degradation is caused by various soil properties, as well as natural and anthropogenic factors.

The factors, or, so to speak, the consequences of chemical degradation, are divided into the following categories:

- in agriculture, processes occur that result in the loss of minerals in humic substances and the acidification of fertilizers, forming acids and oxidizing sulfides;
- factories and their waste products cause soil pollution with chemical waste, acid rain from pesticides, and waste and methane from the oil industry.

Accumulated organic compounds are poorly suited for agricultural planning at research institutes to achieve high yields. Furthermore, research has shown that the composition of a high-quality humus mixture directly changes depending on the soil layer treatment. We have demonstrated that these changes are directly proportional to the volume of greenery grown. This is because they depend on the quantity and quality of chemical treatments applied to agricultural crops during land reclamation [16, 17-22].

In scientific studies, foreign and domestic scientists use gypsum and soil liming to regulate soil composition. However, the positive effect is achieved through precise rate control. Research shows that

undesirable components penetrate the soil, the threshold migration of components increases, and the harmfulness of chemicals to the soil increases. Furthermore, alkalis and acids from rainfall affect soil vegetation, as nitrogen oxides, sulfur ions, chlorine, fluorine, and harmful dust emissions from factories accumulate in the atmosphere. The challenge facing scientists is combating harmful industrial emissions of acids and sediments that impact the earth's surface and the soil profile of vegetation. As scientists have proven, these acidic deposits increase the content of acidic compounds and hinder soil degradation by destroying the topsoil [8, 22, 23].

The country's main economic driver is the extraction and processing of minerals, which have a harmful impact when using technologies with various chemical compounds, releasing various hazardous wastes and gases into the atmosphere.

Results. In the republic, the inspection body and the land destruction control agency conduct land use monitoring every five years, which has a positive impact on farmers' land use. This allows for the identification of errors and assessment of land use processes, as well as the prevention of negative land use impacts. Soil and vegetation pollution near cities and industrial facilities is monitored against the backdrop of greenery.

As shown in the works, agricultural lands (fields), forests, recreation areas (parks, sanatoriums, holiday homes) and coastal zones are considered as objects of the nature protection network and soil pollution monitoring.

Pastures and arable lands pose environmental challenges and impact land use efficiency. Intensive agricultural development in Kazakhstan has led to land and landscape degradation. A significant portion of the country is susceptible to desertification and declining livestock and crop productivity as a result of four human activities: soil depletion; increased livestock numbers, which destroy vegetation; deforestation; and inadequate irrigation and drainage.

First and foremost, the land resources of the Republic of Kazakhstan are constantly changing, which determines the dynamics of various land types. The goal of rational use of natural resources and the legal and economic foundations for environmental protection for present and future generations is essential. To achieve this goal, it is necessary to structurally and restructurally protect various areas, implement resource-saving technical policies, and utilize zero-waste and low-waste technologies.

Scientific research has shown that the consequences of anthropogenic impacts lead to soil degradation and reduced productivity of agricultural crops and landscapes. Landowners are obligated to properly manage their land to improve its fertility and effectively implement a range of organizational, economic, agronomic, reforestation, and hydraulic engineering measures. They must prevent and combat salinization, land pollution, and soil degradation.

Scientists and local mayors are proposing measures to reclaim and protect land from forestation, as well as to combat soil erosion and other measures for efficient land use within the framework of state environmental development plans.

Our research has shown that when creating a mobile system of state, municipal and private land use, oriented towards the agricultural market, cooperation in the supply, marketing and processing of raw materials, agricultural services and the principles of territorial organization must be supplemented as follows (table) [2, 5, 20-24]:

1. Land management ensures the intended use of agricultural land and real estate intended for agricultural production.

Justification for the content of the project for developing land use for agricultural enterprises

Basic Rules and Conditions Labor Process	Natural Resources	Resources Production	Labor Resources
Purpose of the Production Process	Improving Soil Fertility	Continuous production of capital goods	Continuous Production of Production (Land) Relations
The Role of Land in Social Production	Soil is a universal condition of production, a product of nature, a natural resource	Land is the primary means of production	Land is the object of socio- economic (land) relations
Types of Land Use Efficiency	Ecological	Economy	Social

2. Ensure access by owners and users of agricultural land to territorial production and social infrastructure facilities.

3. Voluntary selection of the organizational and legal form of agricultural enterprise and participation of producers in land use planning.

4. Consideration of the national and historical characteristics of the land use area.

The State Decree on Production Intensification, Land Protection, and Rational and Efficient Use provides for laws and measures [2, 24]:

- reduce industrial land use and the construction of large numbers of buildings during design;
- combat environmental pollution from industrial enterprises; - Reclaim areas disturbed by mining operations.

Discussion. Erosion studies abroad and in Kazakhstan show that it is a process caused by human activity and man-made natural disasters, as well as the negative impact of vegetation destruction on land and in the subsurface. Accelerated erosion, even normal erosion, leads to soil destruction, which is classified as soil degradation. Anthropogenic impacts resulting from human activity sometimes lead to changes in soil properties:

The first characteristic is the determination of the degree of soil and disturbed land degradation using remote sensing methods for land restoration and reclamation; the second characteristic definition is the complete and partial destruction of the surface, requiring reclamation and restoration of the disturbed lands with the formation of a disturbed soil cover [13].

In several regions of Kazakhstan, we scientifically determined the physical properties of organic soil horizon degradation and changes in specific physical properties, as well as mechanical disturbance of the soil layer. Active soil destruction processes involving the impact of foreign abiotic deposits on soil vegetation were also identified. These processes are known to impair the productivity and plant function of soil composition [1, 20].

The physical and mechanical destruction of soil composition and the physical destruction of the soil profile due to human activity, i.e., anthropogenic impacts on the soil, were studied [1, 20].

Two types of degradation have been identified, indicating the dangers of soil erosion:

- the accumulation of existing and degrading processes that have reached a critical point over many years.

- changes in the soil will lead to disaster and the depletion of natural resources and the topsoil.

Conclusions. In conclusion of this scientific article, we would like to note that a comprehensive ecological and economic assessment of urban lands for sustainable land use, including the example of the Almaty agglomeration, shows that any soil degradation inevitably occurs with any normal agricultural use.

Protection of land resources and their rational use is one of the most responsible and urgent problems. Over the past years of exploitation of ploughed lands, several thousand tons of humus have been lost as a result of wind and water erosion. Measures are being taken in the republic to correct the situation, but their implementation is hampered by the high capital intensity of the work.

An ecological approach to landscape directly influences the topography, soil and vegetation cover, as well as the economic impact of natural resource production and the territory. Thus, to improve agricultural lands, methods of soil protection from agricultural erosion systems are proposed, which are largely aimed at combating water and wind erosion.

Rational use of land resources is of great importance in the land management system. Accounting and assessment of the state of land resources is of great importance, since land is the basis of agricultural production.

In recent years, the growth of arable land has ceased, convenient and suitable lands have been developed, and inconvenient solonetz, solonchaks and sands remain. The allocation of agricultural land for non-agricultural needs continues: for the construction of roads, industrial enterprises, housing and other facilities.

Land management projects within agricultural enterprises include projects for organizing the territories of gardening associations or projects for organizing territories under the jurisdiction of local administrations. The third group includes land reclamation projects, erosion control projects within crop rotation systems, and others.

As mentioned earlier, in land use practice such concepts as one-stage and two-stage design, draft and technical designs are used; finally, the content of the projects depends significantly on the natural and economic conditions of the territory being developed [5, 7, 8-15]:

The diversity of land management project types requires a clear classification. This allows us to address the following issues:

- defining the types of land management projects and differentiating their content;
- substantiating project development methods and technologies;
- identifying missing links in the overall land management planning system.

Given the diversity of land management projects, their different focus, subject matter, nature, and content, projects can be grouped according to various classification criteria, namely:

- type of land management;
- design stages;
- project readiness;
- type of land management activities;
- regional land management characteristics.

The land resources available to the Republic of Kazakhstan, if used rationally and improved, are capable of ensuring the production of a variety of agricultural products in quantities that satisfy domestic and export needs. The presence of agricultural lands prone to soil deflation in their composition requires careful use of such lands, constant concern for their protection and increasing their productivity.

Funding. The work was carried out with the financial support of grant funding for scientific and (or) scientific and technical projects for 2025-2027 - the Ministry of Science and Higher Education of the Republic of Kazakhstan (individual registration number – AP 26100641 "Comprehensive ecological and economic assessment of urban lands for sustainable land use (on the example of the Almaty agglomeration)").

REFERENCES

- [1] Restoration of damaged areas / P. N. Grishin, N. A. Mosienko and others. Saratov: MGAU publishing house, 2011. 236 p.
https://www.researchgate.net/publication/281308166_Restoration_of_Damaged_Ecosystem_Services_on_Wetlands_in_Northern_Part_of_the_Volga-Akhtuba_Floodplain_Russia
- [2] Protective afforestation / Ed. E. S. Pavlov. Agropromizdat, 2012. 263 p.
https://www.researchgate.net/publication/351015523_LANDSAFTNO-GEOGRAFICESKIJ_PODHOD_K_OCENKE_SOSTOANIA_NASAZDENIJ_V_BALKE_OTRADNOJ
- [3] Guidelines for the design and cultivation of protective forest plantations on the lands of agricultural enterprises. M.: Kolos, 2011. 46 p. <https://www.mdpi.com/1999-4907/14/10/1955>
- [4] Guidelines for the design and cultivation of protective forest plantations on the lands of agricultural enterprises. M.: Kolos, 2011. 335 p.
https://www.researchgate.net/publication/365369362_AGRICULTURAL_LAND_PROTECTION_AS_A_BASIS_OF_SUSTAINABLE_LAND_MANAGEMENT_IN_THE_DRY_STEPPEES_OF_ALTAI_KRAI (in Russ.).
- [5] Forest reclamation with the basics of forestry. M.: Ear, 2012. 333 p. <https://www.mdpi.com/1999-4907/12/7/845>
- [6] Kolpakov V. V., Sukharev I. P. Agricultural reclamations/ Textbook for universities. M.: Kolos, 2012. 328 p.
<https://www.google.com/search?q=V.V.+Kolpakov%2C+universities.+M.%3A+Kolos%2C+2012> (in Russ.).
- [7] Land reclamation and restoration workshop. Uch. allowance / N. S. Yerkhov, L. P. Kozochkina, T. Orderly. M: GUZ, 2010. <https://www.google.com/search?q=Land.+Orderly.+M.+GUZ%2C+2010>. (in Russ.).
- [8] Cheremisinov Yu., Revenkov A. I., Burlakov S. P. Restoration of damaged areas. Fly. allowance. M., 2010. 80 p.
<https://www.google.com/search?q=A.+Cheremisinov+Yu.storation-M.%3A+2010> (in Russ.).
- [9] Chernysheva A. P. Workshop on forestry and protective forestry. M.: Kolos, 2011. 152p.
<https://www.google.com/search?q=Chernysheva+A.P.+Workshop+on+forestry+and+protective+forestry.+M.%3B+Kolos%2C+2011> (in Russ.).
- [10] Oldroyd D., Grape R. (2008). Contributions to the history of geomorphology and Quaternary geology: an introduction:1–17 <https://www.lyellcollection.org/doi/full/10.1144/sp301.1>
- [11] Kleman J., Borgström I., Skelton A., Hall A. (2016). Landscape evolution and landform inheritance in tectonically active regions: the case of the Southwestern Peloponnese, Greece. *Zeitschrift Für Geomorphologie* 60:171–193
<https://www.research.ed.ac.uk/en/publications/landscape-evolution-and-landform-inheritance-in-tectonically-acti>
- [12] Castelltort S., Whittaker A., Vergés J. (2015). Tectonics, sedimentation and surface processes: from the erosional engine to basin deposition. *Earth Surface Processes and Landforms* 40:1839–1846
<https://onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1002/esp.3769>
- [13] Zhang J., Yin A., Liu W., Ding L., Xu X. (2016). First geomorphological and sedimentological evidence for the combined tectonic and climate control on Quaternary Yarlung river diversion in the eastern Himalaya. *Lithosphere* 8: 293–316

[https://www.google.com/search?q=13.+Zhang+JY%2C+Yin+A%2C+Liu+WC%2C+Ding+L%2C+Xu+XM+\(2016\)](https://www.google.com/search?q=13.+Zhang+JY%2C+Yin+A%2C+Liu+WC%2C+Ding+L%2C+Xu+XM+(2016))

[14] Marshall J., Roering J., Gavin D., Granger D. (2017). Late Quaternary climatic controls on erosion rates and geomorphic processes in western Oregon, USA. *GSA Bulletin* 129:715–731 [https://www.google.com/search/ Marshall+JA+Gavin+DG%2C+Granger+DE+\(2017\)](https://www.google.com/search/ Marshall+JA+Gavin+DG%2C+Granger+DE+(2017))

[15] Szabó J., Dávid L., Lóczy D. (2010). Anthropogenic geomorphology: a guide to man-made landforms. Springer Science & Business Media, Netherland https://www.researchgate.net/publication/272403864_Anthropogenic_Geomorphology

[16] Ellis E., Fuller D., Kaplan J., Lutters W. (2013). Dating the Anthropocene: towards an empirical global history of human transformation of the terrestrial biosphere. *Elementa: Science of the Anthropocene* 1, p.000018, DOI: 10.12952/journal.elementa.000018 <https://folia.unifr.ch/global/documents/182542>

[17] Tarolli P., Sofia G. (2016). Human topographic signatures and derived geomorphic processes across landscapes. *Geomorphology* 255:140–161 https://www.researchgate.net/publication/290390408_Human_topographic_signatures_and_derived_geomorphic_processes_across_landscapes

[18] Tarolli P. (2020). Humans and the Earth's surface. *Earth Surface Processes and Landforms* 41 (15):2301-2304 https://anthroecology.org/wp-content/uploads/2020/09/tarolli_2019.pdf

[19] Brown A. G., Tooth S., Bullard J. E., Thomas D., Chiverrell R., Plater A. J., Murton J., Thorndycraft V. R., Tarolli P., Rose J., Wainwright J., Downs P., Aalto R. (2016). The geomorphology of the Anthropocene: emergence, status and implications. *Earth Surface Processes and Landforms* 42:71–90 <https://durham-repository.worktribe.com/output/1407940>

[20] Penna D., Borga M., Aronica G. T., Brigandì G., Tarolli P. (2014). The influence of grid resolution on the prediction of natural and road-related shallow landslides. *Hydrology and Earth System Sciences* 18 (6):2127-2139 <https://hess.copernicus.org/articles/18/2127/2014/>

[21] Ramos-Scharrón C. E. (2018). Land disturbance effects of roads in runoff and sediment production on dry-tropical settings. *Geoderma* 310:107-119 <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0016706117300411>

[22] Hromykh V. V., Hromykh O. V. *Cifrovoye modeli rel'efa: uchebnoe posobie*. Tomsk, 2007. <https://vital.lib.tsu.ru/vital/access/manager/Repository/vtls:000244031> (in Russ.).

[23] Molzhigitova D. K., Turganaliyev S. R., Usenova A. N., Izbasar Z.G., Bisengalieva L. V. Assessment of land use by small farms in fruit and vegetable growing // *Izdenister, netizheler - Research, results* No. 1.2021 (89) IP. 149-156. <https://www.researchgate.net/scientific-contributions/DK-Molzhigitova-2203982131> (in Kaz.).

[24] Ospanbaev Zh., Doszhanova A. S., Abdrazakov E., Kozhageldy E. Features of the formation of productivity of legendary crops under drip irrigation. // *Research, results - Research, results* No. 1.2021 (89) P. 283-292. <https://www.researchgate.net/scientific-contributions/DK-Molzhigitova-2203982131> (in Kaz.).

Ә. Айдарова¹, А. Мұсағалиева^{*2}, Ж. Асипова³,
Н. Орынғожа⁴, С. Тұрғаналиев⁵, Ф. Ялдыз⁶

¹ PhD докторант (Қазақ ұлттық аграрлық зерттеу университеті, Алматы, Қазақстан; asema_aidarova@mail.ru)

^{2*} PhD (Әл-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университеті, Алматы, Қазақстан; ramazanova.ud@gmail.com)

³ PhD (Әл-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университеті, Алматы, Қазақстан; zhanna.assipova@kaznu.edu.kz)

⁴ Магистр (Әл-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университеті, Алматы, Қазақстан; naz3ere@gmail.com)

⁵ Экономика ғылымдарының кандидаты (Әл-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университеті,

Алматы, Қазақстан; saken.turganaliyev@mail.ru)

⁶ Профессор (Селчук университеті, Конья, Түркия; fyildiz@ktun.edu.tr)

ЖЕР РЕСУРСТАРЫН ТИІМДІ БАСҚАРУ ЖЕРДІ ТОЗУҒАН ЖӘНЕ ЖЕРДІ ЭКОЛОГИЯЛЫҚ-ЭКОНОМИКАЛЫҚ БАҒА БЕРУ ҮШІН ОЛАРДЫ ҰТЫМДЫ ЖӘНЕ ОРНЫҚТЫ ПАЙДАЛАНУДЫ ОҢТАЙЛАНДЫРУ

Аннотация. Мақалада жердің тозуынан және суарудан тиімді пайдалану үшін тиімді жер ресурстарын басқару бойынша деректер берілген және жел эрозиясы, жердің тозу проблемалары, сондай-ақ олардың эрозия процестерінің механизмін және жердің тозуының алдын алу жолдарын зерттеуге арналған теориялық-әдістемелік және ғылыми-практикалық ұсыныстар берілген. Қазіргі ғылым жерді тозудан қорғаудың тиімді әдістері мен әдістерін әзірледі; мысалы, соңғы жылдары жерге орналастыру мәселелеріне ландшафтық-экологиялық көзқарасқа негізделген жерге орналастырудың жаңа бағыты әзірленді. Сондықтан, зерттеудің мақсаты – материалдарды пайдалана отырып, жерді ұтымды пайдалану әдістерін зерделеу және талдау, сонымен қатар біздің елімізде жердің тозуы 90 пайызды құрайтынын ескере отырып, жерді тиімді пайдалану әдістерін жетілдіру бойынша ұсыныстар әзірлеу, қателеспеймін. Топырақтың деградациясы табиғи жолмен жүруі мүмкін болғанымен, оған адам әрекеті де қатты әсер етеді. Сонымен қатар, климаттың өзгеруі мен адам әрекеті топырақтың деградациясын тездетеді. Топырақ эрозиясының факторлары мен себептері: жаңбыр, ағын су, су тасқыны, жел эрозиясы – мұның бәрі топырақтың сапасын нашарлатады.

Түйін сөздер: жерге орналастыру, басқару, жер ресурстары, оңтайландыру, тиімді пайдалану, деградация, жер суару.

А. Айдарова¹, А. Мусагалиева*², Ж. Асипова³,
Н. Орынгожа⁴, С. Турганалиев⁵, Ф. Ялдыз⁶

¹ PhD докторант (Казахский национальный аграрный исследовательский университет, Алматы, Казахстан; asema_aidarova@mail.ru)

^{2*} PhD (Казахский национальный университет имени аль-Фараби, Алматы, Казахстан; ramazanova.ud@gmail.com)

³ PhD (Казахский национальный университет им. аль-Фараби, Алматы, Казахстан; zhanna.assipova@kaznu.edu.kz)

⁴ Магистр (Казахский национальный университет им. аль-Фараби, Алматы, Казахстан; naz3ere@gmail.com)

⁵ Кандидат экономических наук (Казахский национальный университет им. аль-Фараби, Алматы, Казахстан; saken.turganaliyev@mail.ru)

⁶ Профессор (Селчукский университет, Конья, Турция; fyildiz@ktun.edu.tr)

ЭФФЕКТИВНОЕ УПРАВЛЕНИЕ ЗЕМЕЛЬНЫМИ РЕСУРСАМИ ДЛЯ ОПТИМИЗАЦИИ ИХ РАЦИОНАЛЬНОГО И УСТОЙЧИВОГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ОТ ДЕГРАДАЦИИ И ЭКОЛОГО-ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА ЗЕМЕЛЬ

Аннотация. Приведены данные эффективного управления земельными ресурсами для оптимизация их рационального использования от деградации и орошения земель. Представлены исторический экскурс проблем водной и ветровой эрозии, деградации земель, а также теоретико-методологические и научно-практические рекомендации по изучению механизма развития эрозионных процессов и способов предотвращения деградации земельных угодий. Современная наука выработала эффективные методы и приемы защиты земель от деградации. Так, за последние годы разработано новое направление в обустройстве территории, основанное на ландшафтно-экологическом подходе. Цель исследования – изучение и анализ методов рационального использования земель с применением материалов, а также разработка предложений по совершенствованию методов рационального использования земель, учитывая, что деградация земель в нашей стране составляет 90 %. Хотя деградация почв может происходить естественным образом, на неё также сильное влияние оказывает деятельность человека. Кроме того, изменение климата и деятельность человека ускоряют деградацию почв. Факторы и причины эрозии почв: дожди, стоки, наводнения, ветровая эрозия – все это ухудшает качество почвы.

Ключевые слова: землеустройство, управление, земельные ресурсы, оптимизация, рациональное использование, деградация, орошение земель.

<https://doi.org/10.55764/2957-9856/2026-1-71-83.7>

МРНТИ 87.21.02

ӨОЖ 504.53

Г. А. Мұқанова¹, Б. Е. Шимшиков², Т. А. Базарбаева³,
А. А. Ошақбай⁴, Қ. Қ. Қырғызбай⁵, У. Т. Амангазиева^{*6}

¹ Б. ғ. к., қауымдастырылған профессор (Әл-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университеті, Алматы, Қазақстан; gulzhanatmukanova@gmail.com)

² Б. ғ. к., қауымдастырылған профессор (Әл-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университеті, Алматы, Қазақстан; bshimshikov@gmail.com)

³ Г. ғ. к., профессор (Әл-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университеті, Алматы, Қазақстан; tursynkul.bazarbayeva@gmail.com)

⁴ Аға оқытушы (Әл-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университеті, Алматы, Қазақстан; aitu.oshakbay@gmail.com)

⁵ PhD, доцент-зерттеуші (Әл-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университеті, Алматы, Қазақстан; kyrgyzbay.kudaibergen@gmail.com)

^{6*} Доктарант (Әл-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университеті, Алматы, Қазақстан; uldarina9797@mail.ru)

АЛМАТЫ ҚАЛАСЫ ТОПЫРАҒЫНЫҢ МОРФОЛОГИЯЛЫҚ ЖӘНЕ ФИЗИКА-ХИМИЯЛЫҚ ҚАСИЕТІН ЗЕРТТЕУ

Аннотация. Мақалада Алматы қаласы топырақ жамылғысын зерттеу үшін оның морфологиялық сипаттамасы, физика-химиялық қасиеттері және механикалық (гранулометрлік) құрамы талданған. Қала топырағының физика-химиялық қасиетін талдау үшін топырақ кескіндері қазылды. Топырақ кескіні таулы қара топырақта, орманды-шалғынды, аз гумусты, ауыр құмбалшықты, ірі шаңды, сары-қоңыр түсті элювиальды-делювиальды жыныстарда сонымен қатар таулы күңгірт қара-қоңыр және таулы сұр қара-қоңыр топырақтарда қазылды. Топырақ кескіндерінің гранулометриялық құрамы ұсақ дисперсті фракциялардың (<0,01 мм) басымдығымен сипатталады (41–51%), бұл топырақтың орташа және ауыр механикалық құрамға жататынын көрсетеді. Су физикалық қасиеті бойынша көлемдік салмақ 0,96–1,43 г/см³, ал жалпы кеуектілік 38–59% аралығында өзгеріп, орманды аймақ топырақтарының су ұстау қабілеті жоғары болды. Топырақтың агрохимиялық қасиеті бойынша гумус мөлшері 1,44–6,21% аралығында өзгеріп, ең жоғары көрсеткіш Баум тоғайының топырағында анықталды. Қоректік элементтердің жылжымалы формалары жоғарғы қабаттарда шоғырланып, тереңдеген сайын азаю үрдісі байқалды, бұл топырақтың биологиялық белсенділігі мен табиғи құнарлылық деңгейін көрсетеді.

Түйін сөздер: қала топырағы, морфологиялық сипаттама, топырақ кескіні, гранулометриялық құрамы, жылжымалы және жалпы қоректік элементтер, құрылым, көлемдік салмақ.

Кіріспе. Қазіргі жағдайда урбандалу үдерісінің қарқынды дамуы және өнеркәсіп өндірісінің өсуі қоршаған ортаны қорғау мен табиғи ресурстарды ұтымды пайдалану мәселелерінің маңыздылығын арттыруда. Қалалық экожүйенің ең осал құрамдас бөліктерінің бірі – топырақ жамылғысы, өйткені ол ластаушы заттарды жинақтап, қалалық ортаның экологиялық жағдайын төмендетеді. Алматы қаласы республиканың оңтүстік-шығысында, Іле Алатауының етегінде орналасқан. Алматының климаты континентальды сипатта және тау-аңғарлық ауа айналымының әсерімен ерекшеленеді, бұл әсіресе таулы беткейлердің жазыққа өтпелі аймағында орналасқан қаланың солтүстік бөлігінде айқын байқалады [1].

Қаланың топырақ жамылғысы құрылымы толықтай Іле Алатауының биіктік белдеулігімен анықталады: биіктік артқан сайын табиғи-климаттық аймақтар мен белдеулер, соған сәйкес топырақ пен өсімдік жамылғысы да өзгереді. Жоғарғы бөлігінде орналасқан Медеу шатқалы шалғынды-орманды дала аймағына жатады және мұнда шайылған қара топырақтар, орманды-даланың күңгірт сұр топырақтары мен таулы орманды-шалғынды топырақтар таралған.

Төменірек, теңіз деңгейінен 1000–1200–1400 м биіктікте далалық тау етегі аймағы орналасқан, ол бірнеше белдеуден тұратын қара топырақты жоғары тау етегі белдеуі және 750–1000 м биіктіктен басталатын тау етегіндегі күңгірт қарақоңыр топырақтар белдеуімен сипатталады [2].

Алматы қаласы топырақтары ұзақ уақыт бойы антропогендік әсерге ұшыраған. Қалаларда табиғи топырақ қабаттары сырттан әкелінген топырақ қабаттарымен жабылған және асфальт, бетон, тас төсемдер сияқты қатты жабындар арқылы атмосфералық ауадан оқшауланған, сонымен қатар, ауадағы химиялық ластанушы заттарды сіңіреді. Топырақтың өзін-өзі тазарту қарқыны су мен ауа сияқты қозғалмалы орталарға қарағанда әлдеқайда төмен, сондықтан оған бір рет түскен заттар ұзақ уақыт бойы өсімдіктерге зиян келтіруі мүмкін [2].

Алматы қаласы Қазақстандағы ең ірі мегаполистердің бірі бола отырып, халық тығыздығының жоғарылығымен, автокөлік қозғалысының көптігімен және өнеркәсіптік әрі коммуналдық-тұрмыстық нысандардың алуан түрлілігімен ерекшеленеді [3]. Осы факторлар топырақ жамылғысына күрделі техногендік жүктеме түсіріп, ауыр металдардың, мұнай өнімдерінің және басқа да улы қосылыстардың жиналуына әкеледі. Нәтижесінде топырақтағы табиғи процестер бұзылып, биологиялық белсенділік пен экожүйелердің тұрақтылығы төмендейді.

Қалалық топырақтар – үйінді немесе араласқан топырақтардан түзілген, құрамында құрылыс және тұрмыстық қалдықтар жиі кездесетін, техногендік тұрғыдан қатты өзгеріске ұшыраған күрделі түзілімдер болып табылады. Бұл олардың гранулометриялық құрамының әркелкі болуына және физика-химиялық қасиеттерінің қалыптан тыс өзгеруіне себеп болады [4]. Қала аумағында, әсіресе орталық бөлігінде асфальтталған беттердің көбеюі жер беті суларының топыраққа сіңуін төмендетіп, аудандардың су басуына әкеледі [5, 6]. Осыған байланысты Алматы қаласының топырақ жамылғысын зерттеу өзекті мәселелердің бірі болып табылады.

Алматы қаласы топырағының морфологиялық сипаттамасы, физика-химиялық қасиеттері мен гранулометрлік құрамына қатысты бұрынғы зерттеулер қала шекарасы кеңейгенге дейін және халық саны 1,5 млн-нан аз болған кезеңде жүргізілген. Қала топырақтарының осы көрсеткіштер бойынша жеткілікті деңгейде зерттелмеуі мәліметтерді жаңарту қажеттілігін туындатады.

Бұрын жүргізілген зерттеулерде қазіргі урбандалу үдерісінің табиғи орта компоненттеріне әсері және мырыш, мыс, қорғасын сияқты ауыр металдардан топырақтың ластану қарқыны қарастырылған. Бірақ Алматы қаласы топырағының 8 аудан (Алмалы, Алатау, Медеу, Жетісу, Наурызбай, Бостандық, Түрксіб, Әуезов) бойынша морфологиялық, физика-химиялық жағдайы көп зерттелмеген және топырақтың ластануы жылдан жылға артуда. Осыған орай Алматы қаласы топырақ жамылғысын зерттеу мәліметтерін жаңа шекаралар аясында жаңарту қажет.

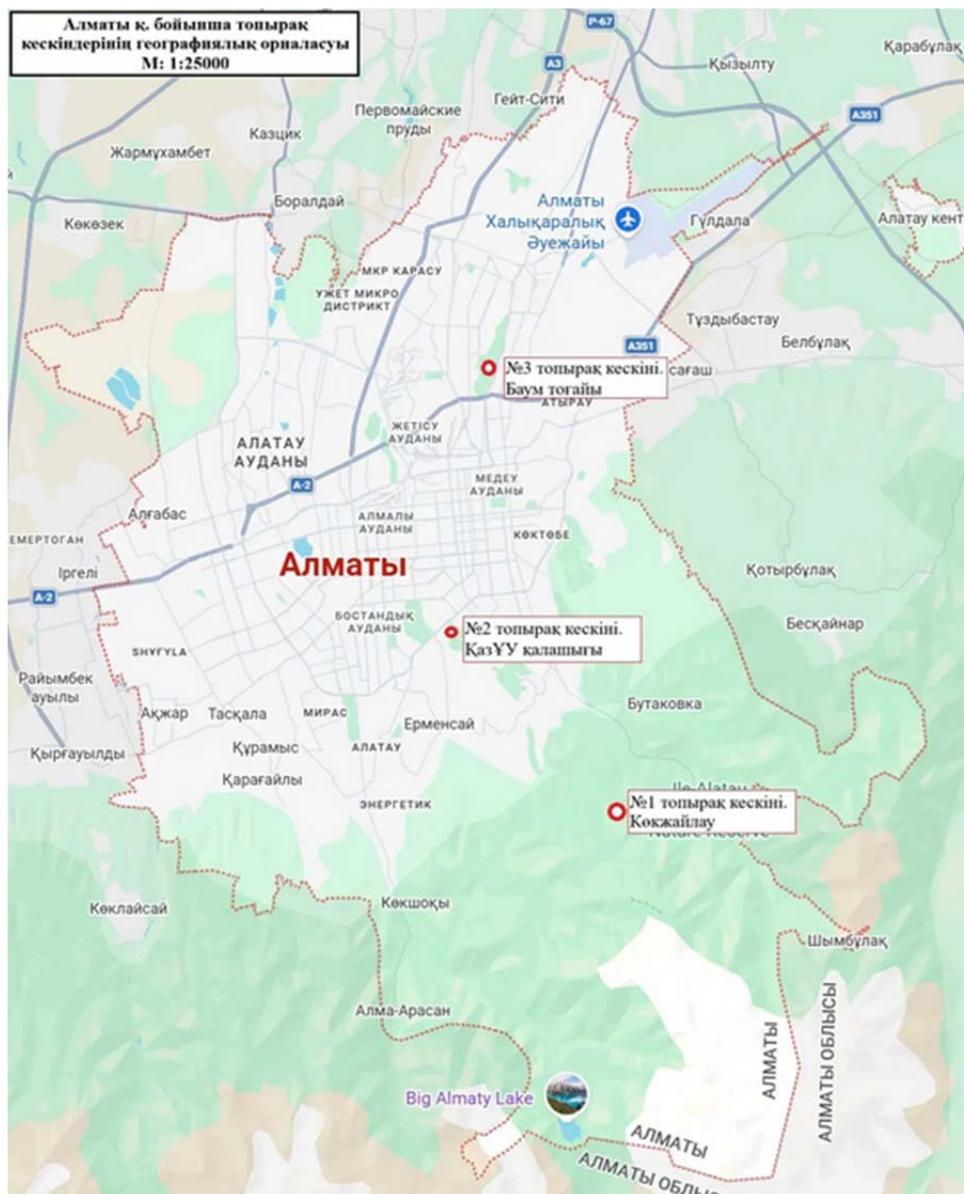
Зерттеу мақсаты – Алматы қаласы урбандалған топырақтарының морфологиялық және физика-химиялық қасиеттерін зерттеу.

Зерттеу әдістері және материалдар. Зерттеу нысаны – Алматы қаласының урбандалған (қалалық) топырақтары. Қалада, қоңыр және қара-қоңыр топырақтар, шалғынды-қоңыр топырақтар, сондай-ақ тау етегі мен таулы аймақтарда қалыптасатын таулы-шалғынды топырақ кешендері кездеседі. Қаланың солтүстік бөлігі, яғни Алатау, Жетісу және Түрксіб аудандарының шағын аумақтарын қамтитын аймақ, негізінен кәдімгі және солтүстік сұр топырақтармен сипатталады. Бұл топырақтар құрғақ климат жағдайында және табиғи өсімдік жамылғысы әлсіз ортада қалыптасады, гумус мөлшерінің төмен болуымен ерекшеленеді және көбіне тұрғын үй мен өндірістік құрылысқа, көлік дәліздеріне, сондай-ақ қала маңындағы ауыл шаруашылығына пайдаланылады.

Алатау, Жетісу және Түрксіб аудандарының едәуір бөлігінде карбонатты сұр-қоңыр қалыпты топырақтар таралған. Алматы қаласының орталық бөлігінде, соның ішінде Алмалы ауданы мен оған іргелес аумақтарда, шалғынды-сұр топырақтар және құрылыс пен шаруашылық қызметтің қарқынды әсерінен күшті трансформацияға ұшыраған урбандалған топырақ кешендері кездеседі. Бұл жерде топырақ кескіні өзгерген, су режимі бұзылған, ал топырақ құнарлылығын агротехникалық және мелиоративті әдістерді қолдану арқылы көтеру керек.

Қаланың оңтүстік аудандары, соның ішінде Наурызбай, Бостандық және Медеу аудандары топырақ жамылғысының әртүрлілігімен сипатталады. Тау етегі белдеуінде органикалық заттарға бай, бау-бақша, саябақ және рекреациялық аймақтар үшін қолайлы күңгірт қара-қоңыр және шалғынды-қара-қоңыр топырақтар басым таралған. Іле Алатауының беткейлері бойымен жоғары көтерілген сайын гумус мөлшері жоғарылайды, құрылымы жақсы және су-физикалық қасиеттері қолайлы таулы-шалғынды қара топырақтар мен қара түсті топырақтар кездеседі. Бұл аймақтарда құнарлы шалғындар, бақтар мен жайылымдар қалыптасады.

Медеу ауданының ең биік таулы бөліктерінде қоректік заттар мөлшері салыстырмалы түрде төмен болғанымен, биік таулы экожүйелердің қалыптасуында, биоалуантүрлілікті сақтауда және



1-сурет – Топырақ кескіндері орналасқан аймақ

Figure 1 – Area of soil profile locations

таулы өзендерді қоректендіруде маңызды рөл атқаратын таулы-шалғынды субальпілік және альпілік топырақтар таралған.

Осылайша, Алматы қаласының топырақ жамылғысы айқын биіктік белдеулікке ие: тау етегіндегі сұр топырақтардан бастап биік таулардың таулы-шалғынды топырақтарына дейін өзгереді. Бұл құрылым климатпен, жер бедерімен және гидрографиялық жағдайлармен тығыз байланысты және әрбір аудан аумағындағы жер пайдаланудың ерекшелігін анықтайды. Сұр топырақтар мен урбандалған топырақ кешендері тығыз құрылыс пен өнеркәсіп шоғырланған аймақтарда орналасса, тау етегі мен таулы аумақтардың құнарлы топырақтары бау-бақша шаруашылығы, рекреация және табиғатты қорғау қызметі үшін негіз болып табылады [7-9].

Топырақ үлгілерінде талдаулар жалпы қабылданған әдістемелер бойынша жүргізілді: гранулометриялық және микроагрегаттық құрам – Н. А. Качинский әдісімен; жалпы гумус, гумустың топтық және фракциялық құрамы – И. Тюрин бойынша; жалпы азот – Кельдаль әдісімен; карбонаттардың көмірқышқыл газы – Гейслер-Максимюк бойынша; агрегаттық талдау – Саввинов бойынша; максималды гигроскопиялық ылғалдылық – Митчерлих бойынша; топырақтың қатты фазасының салмағы – пикнометриялық әдіспен; көлемдік тығыздығы – Некрасов бұрғысымен;

топырақ ылғалдылығы - салмақтық әдіспен; су өткізгіштігі – Н. С. Нестеров аспабымен (есеп алаңы 0,1 м², су қысымы 5 см); далалық ылғал сыйымдылығы – ылғалдылықты анықтау арқылы; жылжымалы фосфор – Мачигин әдісімен; жылжымалы калий – Протасов бойынша; гидролизденетін азот – Тюрин мен Кононова бойынша; жалпы фосфор – Памбертон әдісімен; [10, 11] Топырақ кескінінің морфологиялық сипаттамасы профильдік әдіспен жасалды [12, 13].

Жобаның қойылған мақсаттарына қол жеткізу және ғылыми тұрғыдан негіздеу үшін картографиялық, статистикалық, топырақтанудың жалпы қабылданған әдістері қолданылды.

Қала топырағы ұзақ уақыт бойы жүріп жатқан үдерістер мен өзгерістер туралы ақпаратты өзінде жинақтайды. Сондықтан топырақтың физика-химиялық қасиетін талдау урбоэкожүйенің жағдайын бағалаудағы ең маңызды міндеттердің бірі болып табылады. Қала аумағынан алынған топырақ үлгілері талдау Ө. Ө. Оспанов атындағы Қазақтың топырақтану және агрохимия ғылыми зерттеу институтының аналитикалық зертханасында жүргізілді.

Нәтижелері. Топыраққа морфологиялық сипаттама жасау үшін, физика-химиялық қасиеті мен механикалық (гранулометрлік) құрамын талдау мақсатында олардың тік зоналылығын бейнелейтін топырақ кесінділері қазылды. Төменде олардың сипаттамасы берілген.

Таулы қара топырақ кескіні оңтүстік-шығыс экспозициялы жайпақ таулы беткейде қазылды. Жер бедерінің еңістігі шамамен 10° (2-сурет), өсімдік жамылғысы Тянь-Шань шыршасы, қайың, көктерек, талдан құралған аралас орман. Шөптесін өсімдіктерден әртүрлі шөпті-астық тұқымдас-ты – ормандық қысқааяқ, қоңырбас, бетеге, балдырған, орман қазтамыры, қалақай, қияқ және басқада түрлер кездеседі. Шөптесін өсімдіктер жамылғысының проективтік жабындысы – 100%. Гумустық А+В қабатының қалыңдығы 60 – 100 см. Карбонаттардың бөлінуі 100 см-ден терең қабатта байқалады.



2-сурет – Көкжайлау ауданындағы топырақ кескіні

Figure 2 – Soil profile in the Kokzhaylau area

Топырақ – таулы қара топырақ, орманды-шалғынды, аз гумусты, ауыр саздақты, ірі шаңды, сары-қоңыр түсті элювиальды-делювиальды жыныстарда қалыптасқан.

0–2 см тереңдіктегі А₀₁ қабатында топырақтың морфологиялық сипаттамасы жартылай ыдыраған өсімдік қалдықтары мен ұсақ бұтақтардан тұратын төсеніш қабаты.

2–11 см А₁ қабаты қою сұрдан қара түске дейін, құрғақ, өсімдік тамырлары тығыз, құрылымы жақсы айқындалған, ірі түйіршікті, әлсіз тығыздалған, ауыр құмбалшық, НСІ әсерінен әлсіз қайнайды, келесі қабатқа біртіндеп өтеді.

11–28 см А₂ қабаты қою сұр түсті, қалыпты ылғалды, тығыздалған, түйіршікті-ұсақ кесекті, өсімдік тамырларымен торланған, ауыр құмбалшық, келесі қабатқа біртіндеп өтеді.

28–60 см АВ қабаты сұр-қара түсті, қоңырлау реңкті, қалыпты ылғалды, өсімдік тамырлары сирек, тығыздау, құрылымы кесекті, ауыр құмбалшық, келесі қабатқа біртіндеп өтеді.

60–100 см В₁ қабаты қою сұр түсті, қоңырлау реңкті, өсімдік тамырлары сирек кездеседі, тығыз, әлсіз кесекті, топырақ құрттарының сирек жүрістері байқалады, ауыр құмбалшық, түсі бойынша келесі қабатқа өтуі айқын емес.

100–120 см В₂ қабаты сарғыш-қоңыр түсті, қалыпты ылғалды, өте тығыз, өсімдік тамырлары жоқ, құрылымы әлсіз айқындалған, ауыр құмбалшық.

120–150 см С қабаты сарғыш-ақшыл түсті, ылғалды, өте тығыз, карбонаттардың тарамдары байқалады, құрылымы айқын емес, ауыр құмбалшық, сирек тастар кездеседі.

Күңгірт кара қоңыр топырақ кескіні (3-сурет) сұрғылт-кара түсті топырақта қазылды. Абсолюттік биіктігі – 869 м. Топырақ кескіні нүктесінің координаттары: N – 43°13,405', E – 76°05,119'. Бақ аумағының беті тегістелген, алма ағаштарының астындағы шөптесін өсімдіктер жамылғысы павлониямен (Шан Тонг сорты, гибрид), жоңышқа, беде, шалғындық бетеге, бақбақ және басқада түрлермен ұсынылған. Шөптесін жамылғысының проективтік жабындысы шамамен 90% құрайды.



3-сурет – Әл-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университеті аумағындағы топырақ кескіні

Figure 3 – Soil profile within the territory of Al-Farabi Kazakh National University

Агроландшафт болған соң алма өсіру, топырақтың бетін тегістеу үшін үстіне құнарлы топырақ қабатын әкеліп төсеген. Сондықтан топырақтың жоғарғы қабаты үйінді қабаттан құралған.

0–10 см тереңдіктегі А₁ қабатында топырақтың морфологиялық сипаттамасы үйінді гумустық қабат, сұрғылт-кара түсті, ылғалды (жауыннан кейін), әлсіз тығыздалған, құрылымы кесекті, НСІ әсерінен қайнайды, ауыр құмбалшықты, төменгі қабатқа өтуі айқын көрінеді.

10–18 см А₂ қабаты күңгірт сұр түсті, құрғақ, тығыз, шөптесін өсімдіктердің ұсақ тамырлары кездеседі, құрылымы ұсақ кесекті, қабатталған, НСІ әсерінен әлсіз қайнайды, ауыр құмбалшықты, келесі қабатқа біртіндеп өтеді.

18–38 см В қабаты күңгірт қоңыр түсті, құрғақ, өте тығыз, құрылымы айқын емес, өсімдік тамырлары сирек кездеседі, НСІ әсерінен әлсіз қайнайды, орташа құмбалшықты, келесі қабатқа біртіндеп өтеді.

38–70 см С қабаты сарғыш-боз түсті, құрғақ, өте тығыз (лесс), құрылымсыз, өсімдік тамырларының жекелеген талшықтары кездеседі, НСІ әсерінен қарқынды қайнайды.

Сұр кара – қоңыр топырақ кескіні Алматы қаласындағы мемлекеттік табиғи ескерткіш Баум тоғайында қазылды (4-сурет). Топырақ кескіні салынған орынның абсолюттік биіктігі 723 м, координаттары: N – 43°18,219', E – 76°56,927'. Жер бедері – жайпақ еңісті тау етегіндегі жазық. Негізгі ағаш түрлері әртүрлі жастағы үйеңкі, емен, қайың, шаған, сирегірек терек, қарағаш кездеседі. Ағаштар астындағы шөптесін өсімдіктер жамылғысы пиязшықты қоңырбас, қияқша, астрагал, ақ құлқайыр және басқа түрлермен ұсынылған. Жер бетінің жалпы проективтік жабындысы 50–60% құрайды. Топырағы – делювиальды орташа құмбалшықты жыныстарда қалыптасқан урбандалған күңгірт кара-қоңыр түсті, ауыр құмбалшықты топырақ.



4-сурет – Баум тоғайы аумағындағы топырақ кескіні
Figure 4 – Soil profile within the territory of Baum Grove

Топырақ – сұр-қоңыр түсті орман топырағы, жеңіл құмбалшықты. Қаланың солтүстік бөлігінде Сүйінбай, Сейфуллин және Рысқұлов даңғылдарының арасында орналасқан бірегей орман кешені. Оның аумағы 137,7 гектарды құрайды. Тоғайдың жанынан Үлкен Алматы каналы ағып өтеді. 2006 жылдан бастап тоғай республикалық маңызы бар ерекше қорғалатын табиғи аумақ мәртебесіне ие. Баум тоғайындағы топырақ жамылғысы 130 жылдан астам уақыт бойы ағаш өсімдіктерінің астында қалыптасуы нәтижесінде зоналық қоңыр топырақпен салыстырғанда өзгерістерге ұшыраған. Біріншіден, ағаш өсімдіктерінің астында атмосфералық ауасы ылғалдырақ болатын микроклимат қалыптасады, екіншіден, топыраққа өсімдік қалдықтары әлдеқайда көп түседі. Топырақ профилінің морфологиялық белгілерінде, су-физикалық және химиялық қасиеттерінде өзгерістер байқалады.

0–4 см тереңдіктегі А₁ қабатында топырақтың морфологиялық сипаттамасы қара түсті, ылғалды, борпылдақ, ағаш және шөптесін өсімдіктердің тамырлары бар, құрылымы шанды-ұсақ кесекті, жеңіл құмбалшықты, НСІ әсерінен қайнамайды, төменгі қабатқа өтуі түсі мен тығыздығы бойынша айқын байқалады.

4–17 см А₂ қабаты сұрғылт-қара қоңыр түсті, қалыпты ылғалды, тығыздалған, өсімдік тамырлары кездеседі, құрылымы кесекті-түйіршікті, жеңіл құмбалшықты, НСІ әсерінен қайнамайды, келесі қабатқа біртіндеп өтеді.

17–32 см АВ қабаты сұр-қара қоңыр түсті, қалыпты ылғалды, тығыз, ағаш өсімдіктерінің тамырлары және шөптердің ұсақ тамыр талшықтары бар, құрылымы түйіршікті-кесекті, орташа саздақты, НСІ әсерінен қайнамайды, келесі қабатқа біртіндеп өтеді.

32–57 см В₁ қабаты сұр-боз түсті, қалыпты ылғалды, тығыз, ағаш өсімдіктерінің тамырлары бар, құрылымы кесекті-шанды, орташа саздақты, НСІ әсерінен қайнамайды, келесі қабатқа біртіндеп өтеді.

57–75 см В₂ қабаты сұр-боз түсті, қалыпты ылғалды, тығыз, құрылымы шанды-кесекті, тек ағаш өсімдіктерінің тамырлары ғана кездеседі, ауыр құмбалшықты, НСІ әсерінен қайнамайды, келесі қабатқа біртіндеп өтеді.

75–120 см С қабаты сарғыш-боз түсті, қалыпты ылғалды, тығыз, ағаш өсімдіктерінің тамырлары бар, құрылымы шанды-ірі кесекті, НСІ әсерінен қайнамайды, ауыр құмбалшықты.

Талқылау. Топырақ үлгілерінің гранулометриялық құрамы профиль бойынша біршама тұрақты сипатқа ие. Зерттелген қабаттарда <0,01 мм өлшемді ұсақ дисперсті фракциялар үлесі 49,5–51,3% аралығында өзгеріп, топырақтың негізінен ауыр механикалық құрамды екенін көрсетеді. Бұл көрсеткіштер топырақтың шанды-тұнбалы фракцияларға бай екенін және су ұстау қабілетінің жоғары болуын айқындайды (4-кесте).

1-кесте – Алматы қаласы топырақтарының гранулометриялық құрамы
Table 1 – Particle-size (granulometric) composition of soils in the city of Almaty

№	Үлгі алу орны	Тереңдігі, см	А.С.Н., % H ₂ O	Абсолютті құрғақ топыраққа шаққандағы фракция мөлшері, %						
				Фракция өлшемдері, мм						
				Құм		Шаң			Тұнба	< 0,01 мм өлшемді үш фракцияның қосындысы
				1,0-0,25	0,25-0,05	0,05-0,01	0,01-0,005	0,005-0,001	<0,001	
1	Р – №1 Бақылау Көкжайлау 30.08.2025	0-11	3,16	0,702	0,578	49,153	18,587	20,653	10,326	49,566
2		11-28	3,40	0,642	19,441	28,986	15,321	19,462	16,149	50,932
3		28-60	3,36	2,070	0,662	45,944	16,970	21,109	13,245	51,325
4		60-100	3,10	1,053	2,353	47,059	16,099	21,878	11,558	49,536
5		100-120	3,16	0,847	2,912	45,849	16,935	22,305	11,152	50,392
6	Р – №2 ҚазҰУ-град 02.08.2025	0-10	2,94	2,926	3,936	46,157	14,424	18,957	13,600	46,981
7		10-18	3,66	2,014	2,491	47,332	14,532	19,514	14,117	48,163
8		18-38	3,42	4,597	5,115	46,386	11,182	19,466	13,253	43,901
9		38-70	2,58	5,789	9,628	43,523	13,139	18,066	9,854	41,059
10	Р – №3 Баум тоғайы 20.09.2025	0-4	2,88	20,572	21,767	26,771	13,591	14,003	3,295	30,890
11		4-17	2,34	27,340	19,414	25,394	11,059	12,288	4,505	27,852
12		17-32	1,82	25,138	24,343	25,260	9,778	11,815	3,667	25,260
13		32-57	1,82	26,197	24,099	26,482	8,148	10,185	4,889	23,223

Жоғарғы 0–11 см қабатта құм фракцияларының (1,0–0,25 мм және 0,25–0,05 мм) мөлшері төмен деңгейде болып, негізгі үлесті 0,05–0,01 мм шаң фракциясы (49,15%) мен тұнба фракциялары (20,65%) құрайды. Бұл қабатта ұсақ түйіршікті құрылымның қалыптасуына органикалық қалдықтардың әсері байқалады.

Құм фракцияларының үлесі 11–28 см тереңдікте біршама артқанымен, (<0,01 мм) фракциялар жиынтығы 50,93% деңгейінде сақталып, ауыр құмбалшықты типке тән көрсеткіштерді көрсетеді. Ортаңғы қабаттарда (28-60 және 60-100 см) ұсақ бөлшектердің басымдығы тұрақты сақталып, шаң фракциясы 45-47% аралығында ауытқиды. Бұл топырақ түзілу процесінде ұсақ механикалық элементтердің жиналу үрдісінің басым екенін дәлелдейді. Төменгі 100–120 см қабатта да дисперсті фракциялар жоғары деңгейде қалып, 50,39 %-ға жетеді. Мұндай құрылым топырақтың тығыздануға бейімділігін арттырып, су өткізгіштігінің орташа немесе төмен болуына ықпал етуі мүмкін.

Зерттелген топырақ кескінінің гранулометриялық құрамы тұрақты ауыр құмбалшықты типке жатады. Ұсақ фракциялардың жоғары мөлшері топырақтың ылғал ұстау қабілетін күшейтеді, алайда ауа алмасуының шектелуіне және тығыздану қаупіне әкелуі ықтимал. Бұл жағдай өсімдіктердің тамыр жүйесінің дамуына әсер етіп, агротехникалық шараларды (қопсыту, органикалық тыңайтқыш енгізу) қажет ететінін көрсетеді.

Әл-Фараби атындағы ҚазҰУ аумағындағы топырақ кескінінде барлық қабаттарда ұсақ дисперсті бөлшектердің басымдығы байқалады. 0–10 см қабатта шаң фракциясы – 46,2%, тұнба фракцияларының қосындысы – шамамен 47,0%, ал құм мөлшері өте аз, 10–18 см тереңдікте де осы заңдылық сақталып, шаң 47,3% мен тұнба 48,2% жетекші орын алады. 18–38 см қабатта құм үлесі сәл артқанымен, майда бөлшектер басым күйінде қалады. Кескін бойынша <0,01 мм фракциялардың жоғары мөлшері топырақтың ауыр құмбалшықты механикалық құрамға жататынын көрсетеді, бұл оның ылғал ұстағыштығы жоғары әрі тығыздануға бейім екенін дәлелдейді.

Баум тоғайындағы топырақ кескіні бойымен құм, шаң және тұнба фракциялары салыстырмалы түрде теңгерімді таралғанымен, майда дисперсті бөлшектердің (<0,01 мм) үлесі айтарлықтай жоғары 23,2–30,9 %. Жоғарғы 0–4 см қабатта шаң фракциясы басым 26,8%, ал тұнба қосындысы шамамен 30,9% құрайды. Тереңдеген сайын құм мөлшері біршама артқанымен 20,6–27,3%, тұнба фракцияларының үлесі 23–28% аралығында тұрақты сақталады. Бұл топырақ механикалық құрамы бойынша орташа құмбалшықты типке жатады, құрылымы салыстырмалы түрде қолайлы, су ұстау қабілеті жақсы және өсімдік жамылғысының қалыптасуына қолайлы.

Топырақ кескінің су-физикалық көрсеткіштері бойынша айқын айырмашылықтармен сипатталады, бұл олардың генетикалық типі мен табиғи жағдайларымен тікелей байланысты. Топырақтың қатты фазасының тығыздығы әртүрлі үлгі алу орындары мен тереңдікке байланысты өзгереді. Көкжайлау, орманды-дала белдеуінің қара топырағында 0–10 см қабатта қатты фазаның тығыздығы 2,95 г/см³ – салыстырмалы түрде жоғары, 20–30 см және 40-50 см қабаттарда бұл көрсеткіш 2,32 г/см³ деңгейіне дейін төмендейді. Жоғарғы қабатта минералдық бөлшектердің үлесі көбірек екенін, ал төменгі қабаттарда құрылымның біршама тұрақтанғанын көрсетеді.

ҚазҰУ, дала белдеуінің күңгірт қара-қоңыр топырағында 0–10 см және 10-20 см қабаттарда қатты фазаның тығыздығы 2,41 г/см³, 20–30 см қабатта 3,29 г/см³ дейін күрт жоғарылайды. Бұл қабатта карбонаттардың, ауыр минералдардың жиналуы немесе топырақтың тығыздалуы байқалуы мүмкін екенін көрсетеді.

Баум тоғайы, орманның сұр-қара-қоңыр топырағында 0–10 см қабатта – 2,33 г/см³, 10–20 см қабатта 2,56 г/см³ құрады. Тереңдік артқан сайын тығыздықтың біртіндеп өсуі байқалады, бұл органикалық заттардың үстіңгі қабатта көбірек болуына және төменгі қабаттардың минералдануы жоғары болуына байланысты деп санаймыз.

Көкжайлаудың қара топырағында көлемдік массасы 1,20–1,25 г/см³ аралығында өзгеріп, жалпы кеуектілік жоғары деңгейде (46–59%) байқалады (2-кесте).

2-кесте – Топырақтардың су-физикалық қасиеттері

Table 2 – Water-physical properties of soils

Үлгі алу орны, топырақ және қима №	Тереңдігі, см	Қатты фазаның массасы, г/см ³	Көлемдік салмақ, г/см ³	Жалпы кеуектілік, %	W, %	МГ, %	СЫ, %	СС, %
Р – №1 Бакылау Көкжайлау, орманды-дала белдеуінің қара топырағы 30.08.2025	0–10	2,95	1,20	59	6,30	6,9	9,68	27,6
	20-30	2,32	1,24	49	7,98	6,6	9,24	26,4
	40-50	2,32	1,25	46	8,28	6,5	9,10	26,0
Р – №2 ҚазҰУ, дала белдеуінің қара-қоңыр топырағы 02.08.2025	0-10	2,41	1,35	44	16,04	6,0	8,44	24,0
	10-20	2,41	1,40	42	7,23	5,9	8,28	23,8
	20-30	3,29	1,43	38	6,53	6,2	8,68	24,8
Р – №3 Баум тоғайы, орман астындағы сұр-қоңыр топырақ 20.09.2025	0-10	2,33	0,96	59	18,65	6,8	9,52	27,2
	10-20	2,56	1,08	58	7,13	6,9	9,68	27,6
	20-30	2,83	1,18	58	6,71	6,5	9,20	25,0

Бұл көрсеткіштер топырақтың борпылдақ құрылымын және ылғалды жақсы сіңіріп ұстай алу қабілетін көрсетеді. Ылғал сыйымдылығы мәндері 26,0–27,6% аралығында болуы өсімдіктер үшін қолжетімді ылғал қорының жеткілікті екенін дәлелдейді.

Қара-қоңыр топырақта көлемдік масса жоғарылау 1,35–1,43 г/см³, ал кеуектілік төмендеу 38–44% болып келеді. Бұл топырақтың салыстырмалы түрде тығыздалғанын және су өткізгіштік жағдайының нашарлауын көрсетеді. Ылғал сыйымдылығы көрсеткіштері 23,8–24,8% аралығында қалыптасып, алдыңғы кесіндімен салыстырғанда ылғал сыйымдылығының төмен екенін айғақтайды.

Баум тоғайы сұр-қоңыр топырақтарда көлемдік масса ең төмен мәндермен сипатталады 0,96–1,18 г/см³, ал жалпы кеуектілік тұрақты түрде жоғары деңгейде сақталған (шамамен 58–59%). Бұл топырақ құрылымының борпылдақ әрі су – ауа режимінің қолайлы екенін көрсетеді. Ылғал сыйымдылығы көрсеткіштерінің 25,0–27,6% аралығында болуы орман жағдайында ылғалдың жақсы жиналып, сақталатынын дәлелдейді. Орманды аумақтардағы топырақтарда су ұстау және ауа алмасу жағдайлары анағұрлым қолайлы болса, қалалық ортадағы қара-қоңыр топырақтарда тығыздалу әсерінен су-физикалық қасиеттердің нашарлау үрдісі байқалады.

Топырақтың агрохимиялық көрсеткіштері бойынша гумус пен негізгі қоректік элементтердің мөлшерінде айқын өзгешеліктер байқалады, бұл олардың табиғи жағдайлары мен жер пайдалану ерекшеліктерімен байланысты (3-кесте).

Көкжайлау қара топырағында гумус мөлшері жоғарғы қабатта 4,88 % құрап, тереңдік бойынша 1,78 %-ға дейін біртіндеп төмендейді. Азот көрсеткіштері 0,224–0,112% аралығында өзгеріп, органикалық заттарға бай екенін көрсетеді. Жылжымалы фосфор мөлшері 48,0–70,1 мг/кг шамасында болып, өсімдіктер үшін жеткілікті деңгейде анықталды, ал калий қоры профиль бойынша тұрақты жоғары мандермен сипатталады.

3-кесте – Топырақтардың агрохимиялық көрсеткіштері

Table 3 – Agrochemical indicators of soils

№	Үлгі алу орны	Тереңдігі, см	Гумус, %	Азот		Фосфор		Калий	
				Жалпы, %	Жылжымалы, мг/кг	Жалпы, %	Жылжымалы, мг/кг	Жалпы, %	Жылжымалы, мг/кг
1	Р-1 Просвещенец шатқалы Көкжайлау 30.08.2025	0-11	4,88	0,224	48,0	0,24	29	2,602	220
2		11-28	2,32	0,182	70,1	0,18	40	2,101	190
3		28-60	1,78	0,112	63,0	0,12	66	2,201	220
4		60-100	–	–	–	0,41	92	2,602	210
5		100-120	–	–	–	0,42	106	2,101	340
6	Р-2 КазҰУ, Қара-қоңыр топырақ 02.09.2025	0-10	1,44	0,126	14,8	0,22	34	2,001	250
7		10-18	2,67	0,154	12,0	0,23	24	2,602	140
8		18-38	–	–	–	0,22	19	2,101	100
9		38-70	–	–	–	0,21	14	1,801	120
10	Баум тоғайы, орман астындағы сұр-қоңыр топырақ 20.09.2025	0-4	6,21	0,340	78,5	0,46	114	2,001	500
11		4-17	4,34	0,196	45,2	0,28	50	2,502	440
12		17-32	2,20	0,154	14,2	0,20	20	2,502	250
13		32-57				0,15	12	2,602	100

Топырақ кескіні генетикалық қабаттарға айқын жіктелген. Морфологиялық белгілер топырақтың түйіршікті және кесекті-түйіршікті құрылымға ие екенін, тығызданудың тереңдік бойынша біртіндеп артатынын көрсетеді. Өсімдік тамырлары жеткілікті тереңге енетіндіктен, гумусты қабат 100 см-ге дейін созылған. Гумус мөлшері 4,88 % құрайды, бұл қара топырақтар үшін төмен көрсеткіш болып саналады, сондықтан ол аз гумусты топырақтарға жатады.

Қара-қоңыр топырақта гумус мөлшері төмен (1,44–2,67%) және жалпы азот қоры шектеулі. Жылжымалы фосфордың аз мөлшері (12,0–14,8 мг/кг) бұл топырақтардың қоректік элементтермен әлсіз қамтамасыз етілгенін көрсетеді. Калий көрсеткіштері салыстырмалы түрде жеткілікті болғанымен, жалпы агрохимиялық құнарлылық деңгейі төмен болып бағаланады.

Баум тоғайындағы сұр-қоңыр топырақтарда гумус ең жоғары деңгейде жиналған (6,21%-ға дейін), сондай-ақ жалпы азот мөлшері де жоғары (0,340%). Бұл топырақтарда жылжымалы фосфор (45,2–78,5 мг/кг) мен калийдің мол болуы органикалық қалдықтардың белсенді ыдырауын және қоректік элементтердің қарқынды айналымын көрсетеді. Орманды аумақтағы топырақтар жоғары агрохимиялық құнарлылықпен ерекшеленсе, қалалық ортадағы қара-қоңыр топырақтарда гумус пен негізгі қоректік элементтердің азаю үрдісі антропогендік жүктеменің әсерін көрсетеді.

Урбандалу жағдайындағы топырақ деградациясының кешенді индексі анықтау. Алматы қаласы топырағының антропогендік трансформациялану дәрежесін сандық тұрғыдан бағалау мақсатында көлемдік масса, жалпы кеуектілік және гумус мөлшері негізінде урбандалу жағдайындағы топырақ деградациясының кешенді индексі (Urbanization Degradation Index – UDI) есептелді [14, 15].

Топырақтың физикалық (тығыздалу), құрылымдық (кеуектілік) және агрохимиялық (органикалық зат) қасиеттерінің өзгерісіндегі интегралды көрсеткіштерді біріктіруге мүмкіндік береді.

Индекс келесі формула бойынша анықталды:

$$UDI = \frac{1}{3} \left(\frac{\rho_b^{urb} - \rho_b^{ref}}{\rho_b^{ref}} + \left(1 - \frac{P^{urb}}{P^{ref}} \right) + \left(1 - \frac{H^{urb}}{H^{ref}} \right) \right),$$

мұндағы ρ_b – топырақтың көлемдік массасы г/см³; P – жалпы кеуектілік %; H – гумус мөлшері %; **ref** – табиғи эталон (Көкжайлау таулы қара топырағы); **urb** – урбандалған нысан (әл-Фараби атындағы ҚазҰУ аумағы).

Урбандалу әсері топырақтың жоғарғы қабаты гумус қабатында айқын байқалатын болғандықтан есептеу 0–10 см гумустық қабат бойынша жүргізілді.

Таулы қара топырақта көлемдік масса 1,20 г/см³, кеуектілігі 59 %, гумус мөлшері 4,88 % құраса, урбандалған қара-қоңыр топырақта сәйкесінше 1,35 г/см³, кеуектілігі 44 % және гумус мөлшері 1,44 % болды. Есептеу нәтижесінде урбандалу индексінің мәні 0,36 құрады.

$$UDI = 0,36.$$

Интерпретация градациясы

UDI мәні	Деградация деңгейі
< 0,20	Әлсіз
0,20–0,40	Орташа
0,40–0,60	Күшті
> 0,60	Өте күшті

Зерттеу нәтижесі бойынша интерпретациялық шкала топырақтың орташа деңгейдегі деградациясын сипаттайды.

Индекс құрылымының талдауы бойынша гумус мөлшерінің төмендеуі негізгі шектеуші фактор екені анықталды. Кеуектіліктің азаюы мен көлемдік массаның артуы топырақтың тығыздалу үрдісінің күшейгенін дәлелдейді.

Баум тоғайы топырақтарында гумус деңгейінің жоғары болуы, көлемдік массаның төмендігі және кеуектіліктің сақталуы урбандалу әсерінің төмен екенін анықтады. Табиғи орман экожүйелерінде топырақтың құрылымдық тұрақтылығы мен биогендік элементтер айналымының тиімді сақталатынын дәлелдейді.

Осыған байланысты, ұсынылған урбандалу индексі Алматы қаласының топырақ жамылғысында антропогендік жүктеменің құрылымдық және агрохимиялық қасиеттерге әсер ететінін сандық түрде көрсетті. Кешенді көрсеткіш қалалық экожүйелердегі топырақтың экологиялық жағдайын салыстырмалы бағалауға және деградациялық өзгерістерді бақылауда қолдануға ұсынылады.

Қорытынды. Іле Алатауында орналасқан қала аумағы мен оның маңындағы топырақ жамылғысы тік белдеулік заңдылығына бағынады. Топырақ жер бедерінің биіктігіне байланысты белдеулер бойынша таралған. Алматы қаласының әртүрлі табиғи-антропогендік жағдайларында орналасқан топырақ кескінінің морфологиялық, гранулометриялық, су-физикалық және агрохимиялық қасиеттерін кешенді зерттеу олардың түзілу ерекшеліктері мен экологиялық жағдайына тікелей тәуелді екенін көрсетті.

Көкжайлау аумағындағы таулы қара топырақ ауыр құмбалшықты гранулометриялық құраммен сипатталады. Кескін бойында <0,01 мм ұсақ дисперсті фракциялар мөлшері 49,5–51,3% аралығында тұрақты сақталып, топырақтың ылғал ұстау қабілетінің жоғары екенін көрсетті. Бұл топырақтар борпылдақ құрылымымен және жоғары кеуектілігімен ерекшеленіп, су-ауа режимі қолайлы жағдай қалыптастырады. Алайда гумус мөлшерінің салыстырмалы төмен болуы олардың аз гумусты типке жататынын көрсетеді. Су-физикалық көрсеткіштері бойынша көлемдік массасы (1,20–1,25 г/см³) және кеуектілігі (46–59%) құрайды. Агрохимиялық тұрғыдан гумус мөлшері жоғарғы қабатта 4,88% болғанымен, қара топырақтар үшін салыстырмалы түрде төмен деңгейге жатады. Фосфор мен калий коректік элементтер мөлшері жеткілікті деңгейде, яғни топырақтың табиғи құнарлылығының сақталғанын көрсетеді.

Әл-Фараби атындағы ҚазҰУ аумағындағы қара-қоңыр топырақтарда гранулометриялық құрам ауыр құмбалшықты сипатта болғанымен, су-физикалық көрсеткіштері бойынша тығыздалу үрдісі байқалады. Көлемдік массаның $1,35\text{--}1,43\text{ г/см}^3$ дейін жоғарылауы және кеуектіліктің $38\text{--}44\%$ -ға төмендеуі топырақтың су өткізгіштік қасиетінің нашарлағанын көрсетеді. Агрохимиялық көрсеткіштер бойынша гумус ($1,44\text{--}2,67\%$) пен жылжымалы фосфордың ($12,0\text{--}14,8\text{ мг/кг}$) төмен мөлшері бұл топырақтардың қоректік элементтермен әлсіз қамтамасыз етілгенін дәлелдейді. Аталған ерекшеліктер урбандалу және антропогендік жүктеменің әсерімен байланысты деп тұжырымдалады.

Баум тоғайындағы сұр-қара қоңыр топырақтар механикалық құрамы бойынша орташа құмбалшықты типке жатады және құрылымы салыстырмалы түрде қолайлы. Көлемдік массасының мөндері ($0,96\text{--}1,18\text{ г/см}^3$) мен кеуектілігі ($58\text{--}59\%$) құрайды, бұл топырақтардың борпылдақ құрылымын және тиімді су-ауа режимін көрсетеді. Гумус мөлшері ($6,21\%$ -ға дейін), жалпы азот ($0,340\%$) және жылжымалы фосфор мен калийдің жоғары мөлшері орман жағдайында органикалық заттардың қарқынды жиналуын және биогендік элементтердің белсенді айналымын дәлелдейді. Орманды табиғи аумақтардағы топырақтар жоғары құрылымдылықпен, қолайлы су-физикалық қасиеттермен және жоғары агрохимиялық құнарлылықпен сипатталса, қалалық ортадағы қара-қоңыр топырақтарда тығыздалу, кеуектіліктің азаюы және қоректік элементтердің төмендеуі байқалады. Бұл урбандалу жағдайында топырақ жамылғысының деградиялық өзгерістерге ұшырайтынын көрсетеді. Біздің зерттеу жұмысымыздың ерекшелігі, зоналды топырақтар қасиеттерінің урбандалған үдерістер нәтижесіндегі өзгерістері көрсетілді.

Алынған мәліметтерге сүйеніп қала топырағының урбандалу индексі анықталды және есептеу нәтижесінде урбандалу индексінің мәні $0,36$ құрады, яғни топырақ орташа деңгейде деградияға ұшыраған.

Зерттеу нәтижелері қалалық экожүйелерде топырақтың экологиялық жағдайын бағалау, оның құнарлылығын сақтау және қалпына келтіру шараларын ғылыми негізде жоспарлау үшін маңызды. Атап айтқанда, тығыздалған топырақтарда агротехникалық қопсыту, органикалық тыңайтқыштар енгізу және жасыл аймақтарды көбейту шараларын қолдану топырақтың құрылымын жақсартуға және экологиялық тұрақтылығын арттыруға мүмкіндік береді.

Қаржыландыру. Осы мақалада ұсынылған зерттеу Қазақстан Республикасы Ғылым және жоғары білім министрлігі Ғылым комитетінің қаржылық қолдауымен АР 26199673 жобасы аясында жүзеге асырылды. Жоба тақырыбы «ГАЗ технологияларын пайдалана отырып, Алматы қаласы топырақ жамылғысының техногендік ластануын экологиялық бағалау».

ӘДЕБИЕТ

- [1] Садырова Г. А. Урбанизированная флора города Алматы: иллюстрированный каталог растений // Труды Института ботаники и фитоинтродукции. – Алматы, 2017. – Т. 23(15). – 276 с.
- [2] Садырова Г. А. Анализ флоры травянистых растений города Алматы // Вестник Карагандинского университета. Серия «Биология. Медицина. География». – 2020. – № 2(98). – С. 60–68.
- [3] Кобегенова Х. Н. Экологическое состояние города Алматы // Euroasia Journal of Mathematics, Engineering, Natural & Medical Sciences. – 2020. – № 9. – С. 295-301.
- [4] Мынбаева Б. Н. Система биомониторинга загрязнения городских почв, основанная на использовании биоиндикаторов и биотестов // Известия Национальной академии наук Республики Казахстан. Серия биологическая и медицинская. – 2012. – № 1. – С. 41-45.
- [5] Оразымбет С. Э. Особенности накопления тяжелых металлов в почвах, прилегающих к городу Алматы в условиях локального загрязнения: Дис. канд. биол. наук. – Астана, 2007. – 116 с.
- [6] Почвы Казахской ССР / Ред. У. У. Успанов. – Алма-Ата: Наука, 1962. – Вып. 4. – 374 с.
- [7] Pachikin K., Erokhina O., Funakawa S. Soils of Kazakhstan, Their Distribution and Mapping // Novel Measurement and Assessment Tools for Monitoring and Management of Land and Water Resources in Agricultural Landscapes of Central Asia / Ed. L. Mueller, A. Saparov, G. Lischeid. – Dordrecht: Springer, 2013. – P. 519-533. – DOI: 10.1007/978-3-319-01017-5_32.
- [8] Soil Atlas of Asia / Ed. R. Vargas, T. Hengl. – Luxembourg: European Commission, 2018. – 176 p.
- [9] FAO-UNESCO Soil Map of the World. Vol. VI: Asia. – Paris: UNESCO, 1981. – 312 p.
- [10] Погребняк С.П. Современные методы химического анализа почв и растений. – Киев: ВНИС 2020. – 258 с.
- [11] Мамонтов В. Г., Гладков А. А., Кузелев М. М. Практическое руководство по химии почв: учебное пособие. – Москва: Изд-во РГАУ-МСХА, 2012. – 225 с.
- [12] Мұқанова Г.А. Топырақтану оқулығы. – Алматы: Қазақ университеті, 2025. – 332 б.
- [13] Мұқанова Г.А., Әлімұратқызы А., Базарбаева Т.А., Шимшиков Б.Е., Туkenова З.А., Ошақбай А.А., Курбанова Л.С. Хромтау өңірі топырақтарының экологиялық жағдайын агрохимиялық көрсеткіштер негізінде бағалау // Хабаршы. География сериясы. – 2025. – № 3(78). – Б. 184-195.

[14] Pouyat R. V. et al. Soil carbon stocks and dynamics in urban ecosystems // Urban Ecosystem Ecology / Ed. by J. M. Aitkenhead-Peterson, A. Volder. – Madison: American Society of Agronomy, 2017. – P. 55-73.

[15] Morel J. L. et al. Urban soils: characteristics, functions and services // Urban soils: characteristics, functions and services / Ed. by J. L. Morel, C. Chenu, M. Lorenz. – Dordrecht: Springer, 2015. – P. 1-29.

REFERENCES

[1] Sadyrova G. A. Urbanized Flora of the City of Almaty: Illustrated Catalogue of Plants // Proceedings of the Institute of Botany and Phytointroduction. Almaty, 2017. Vol. 23(15). 276 p. (in Russ.).

[2] Sadyrova G. A. Analysis of the Flora of Herbaceous Plants of the City of Almaty // Bulletin of Karaganda University. Series “Biology. Medicine. Geography”. 2020. No. 2(98). P. 60-68. (in Russ.).

[3] Kobegenova Kh. N. Ecological State of the City of Almaty // Euroasia Journal of Mathematics, Engineering, Natural & Medical Sciences. 2020. No. 9. P. 295-301 (in Russ.).

[4] Mynbayeva B. N. System of Biomonitoring of Urban Soil Pollution Based on the Use of Bioindicators and Biotests // Proceedings of the National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan. Biological and Medical Series. 2012. No. 1. P. 41-45 (in Russ.).

[5] Orazymbet S. E. Features of Heavy Metal Accumulation in Soils Adjacent to the City of Almaty under Conditions of Local Pollution: PhD Dissertation in Biological Sciences. Astana, 2007. 116 p. (in Russ.).

[6] Soils of the Kazakh SSR / Ed. U. U. Usanov. Alma-Ata: Nauka, 1962. Issue 4. 374 p. (in Russ.).

[7] Pachikin K., Erokhina O., Funakawa S. Soils of Kazakhstan, Their Distribution and Mapping // Novel Measurement and Assessment Tools for Monitoring and Management of Land and Water Resources in Agricultural Landscapes of Central Asia / Ed. L. Mueller, A. Saparov, G. Lischeid. Dordrecht: Springer, 2013. P. 519-533. – DOI: 10.1007/978-3-319-01017-5_32.

[8] Soil Atlas of Asia / Ed. R. Vargas, T. Hengl. Luxembourg: European Commission, 2018. 176 p.

[9] FAO-UNESCO Soil Map of the World. Vol. VI: Asia. Paris: UNESCO, 1981. 312 p.

[10] Pogrebnyak S. P. Modern Methods of Chemical Analysis of Soils and Plants. Kyiv: VNIS, 2020. 258 p. (in Russ.).

[11] Mamontov V. G., Gladkov A. A., Kuzelev M. M. Practical Guide to Soil Chemistry: Study Guide. Moscow: Publishing House of RSAU-MAA, 2012. 225 p. (in Russ.).

[12] Mukanova G. A. Soil Science: Textbook. Almaty: Kazakh University Publishing House, 2025. 332 p. (in Kaz.).

[13] Mukanova G. A., Alimuratkyzy A., Bazarbayeva T. A., Shimshikov B. E., Tukenova Z. A., Oshakbay A. A., Kurbanova L. S. Assessment of the Ecological State of Soils of the Khromtau Region Based on Agrochemical Indicators // Bulletin. Geography Series. 2025. No. 3(78). P. 184-195 (in Kaz.).

[14] Pouyat R. V. et al. Soil carbon stocks and dynamics in urban ecosystems // Urban Ecosystem Ecology / Ed. by J. M. Aitkenhead-Peterson, A. Volder. Madison: American Society of Agronomy, 2017. P. 55-73.

[15] Morel J. L. et al. Urban soils: characteristics, functions and services // Urban soils: characteristics, functions and services / Ed. by J. L. Morel, C. Chenu, M. Lorenz. Dordrecht: Springer, 2015. P. 1-29.

**Г. А. Мұқанова¹, Б. Е. Шимшиков², Т. А. Базарбаева³,
А. А. Ошақбай⁴, Қ. Қ. Қырғызбай⁵, У. Т. Амангазиева^{6*}**

¹ К. б. н., ассоциированный профессор (Казахский национальный университет им. аль-Фараби, Алматы, Казахстан; gulzhanatmukanova@gmail.com)

² К. б. н., ассоциированный профессор (Казахский национальный университет им. аль-Фараби, Алматы, Казахстан; bshimshikov@gmail.com)

³ К. г. н., профессор (Казахский национальный университет им. аль-Фараби, Алматы, Казахстан; tursynkul.bazarbayeva@gmail.com)

⁴ Старший преподаватель (Казахский национальный университет им. аль-Фараби, Алматы, Казахстан; aitu.oshakbay@gmail.com)

⁵ PhD, доцент-исследователь (Казахский национальный университет им. аль-Фараби, Алматы, Казахстан; kyrgyzbay.kudaibergen@gmail.com)

^{6*} Докторант (Казахский национальный университет им. аль-Фараби, Алматы, Казахстан; uldarina9797@mail.ru)

ИССЛЕДОВАНИЕ МОРФОЛОГИЧЕСКИХ И ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ПОЧВ ГОРОДА АЛМАТЫ

Аннотация. В статье для изучения почвенного покрова города Алматы были проанализированы его морфологические характеристики, физико-химические свойства и механический (гранулометрический) состав. Для анализа физико-химических свойств городских почв были заложены почвенные разрезы в горных чернозёмах, лесо-луговых малогумусных тяжёлосуглинистых почвах, сформированных на крупнопылеватых жёлто-бурых элювиально-делювиальных отложениях, а также в горных тёмно-каштановых и горных серо-каштановых почвах. Гранулометрический состав почвенных разрезов характеризуется преобладанием мелкодисперсных фракций (<0,01 мм), доля которых составляет 41–51 %, что свидетельствует о средне- и

тяжёлом механическом составе почв. По водно-физическим свойствам объёмная масса почв варьирует от 0,96 до 1,43 г/см³, а общая пористость составляет 38–59 %, при этом почвы лесных участков отличаются более высокой водоудерживающей способностью. По агрохимическим показателям содержание гумуса изменяется от 1,44 до 6,21 %, при этом максимальные значения зафиксированы в почвах рощи Баума. Подвижные формы элементов питания преимущественно концентрируются в верхних горизонтах почвенного профиля и уменьшаются с глубиной, что отражает уровень биологической активности и естественного плодородия почв.

Ключевые слова: урбанизированные почвы, морфологическая характеристика, почвенный разрез, гранулометрический состав, подвижные и валовые элементы питания, структура, объёмная масса.

**G. A. Mukanova¹, B. Ye. Shimshikov², T. A. Bazarbayeva³,
A. A. Oshakbay⁴, K. K. Kyrgyzbay⁵, U. T. Amangazyeva^{*6}**

¹ Candidate of Biological Sciences, Associate Professor (Al-Farabi Kazakh National University, Almaty, Kazakhstan; gulzhanatmukanova@gmail.com)

² Candidate of Biological Sciences, Associate Professor (Al-Farabi Kazakh National University, Almaty, Kazakhstan; bshimshikov@gmail.com)

³ Candidate of Geographical Sciences, Professor (Al-Farabi Kazakh National University, Almaty, Kazakhstan; tursynkul.bazarbayeva@gmail.com)

⁴ Senior Lecturer (Al-Farabi Kazakh National University, Almaty, Kazakhstan; aitu.oshakbay@gmail.com)

⁵ PhD, Associate Professor-Researcher (Al-Farabi Kazakh National University, Almaty, Kazakhstan; kyrgyzbay.kudaibergen@gmail.com)

^{6*} PhD student (Al-Farabi Kazakh National University, Almaty, Kazakhstan; uldarina9797@mail.ru)

STUDY OF THE MORPHOLOGICAL AND PHYSICOCHEMICAL PROPERTIES OF SOILS IN THE CITY OF ALMATY

Abstract. In this article, we analyzed the morphological characteristics, physicochemical properties, and mechanical (particle size distribution) composition of the soil cover of Almaty. To analyze the physicochemical properties of urban soils, soil profiles were laid in mountain chernozems, low-humus heavy loamy forest-meadow soils formed on coarse-silt yellow-brown eluvial-deluvial deposits, as well as in mountain dark chestnut and mountain gray-chestnut soils. The particle size distribution of the soil profiles is characterized by a predominance of fine fractions (<0.01 mm), which account for 41–51%, indicating a medium- to heavy-textured soil. In terms of water-physical properties, the soil bulk density varies from 0.96 to 1.43 g/cm³, and the total porosity is 38–59%, with soils in forested areas having a higher water-holding capacity. In terms of agrochemical parameters, humus content ranges from 1.44 to 6.21%, with the highest values recorded in the soils of the Bauma grove. Mobile nutrient elements are predominantly concentrated in the upper horizons of the soil profile and decrease with depth, reflecting the level of biological activity and natural soil fertility.

Keywords: urbanized soils, morphological characteristics, soil profile, particle-size composition, mobile and total nutrient elements, structure, bulk density.

Климатология и метеорология

Климатология және метеорология

Climatology and meteorology

<https://doi.org/10.55764/2957-9856/2026-1-84-96.8>

ӨӨЖ 911.6; 911.2; 912.43

FTAMP 39.19.31

А. Н. Омаров¹, Г. Б. Алдажанова^{2*}, А. Б. Тулетаев³, Б. К. Керимкулов⁴

¹ Докторант (Әл-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университеті, Алматы, Қазақстан; omaraidos@inbox.ru)

^{2*} PhD, аға ғылыми қызметкер («География және су қауіпсіздігі институты» АҚ,
Алматы, Қазақстан; gulnara.aldazhanova@mail.ru)

³ Докторант (Әл-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университеті, Алматы, Қазақстан; hat_0512@mail.ru)

⁴ Магистрант (Әл-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университеті, Алматы, Қазақстан; batir102@mail.ru)

ҚАЗАҚСТАН РЕСПУБЛИКАСЫ ЖЕТІСУ ОБЛЫСЫНЫҢ АГРОКЛИМАТТЫҚ РЕСУРСТАРЫН БАҒАЛАУ

Аннотация. Жетісу облысының агроклиматтық ресурстарын бағалау нәтижелері ГАЖ пайдаланумен және далалық зерттеулерден алынған мәліметтер негізінде келтірілген. 1:1 000 000 масштабында климаттық метеорологиялық параметрлердің карталары әзірленді. Тақырыптық климаттық карталарды дайындау үшін көп жылдық бақылау кезеңінде метеорологиялық станцияларда климатологиялық өңдеу нәтижелерін ұсынатын облыстың әртүрлі агроклиматтық аудандарында орналасқан метеорологиялық станциялар бойынша ақпараттық-талдамалық деректер базасы жинақталған (1891 жылдан 2000 жылға дейін, сондай-ақ 2001-2024 жылдардағы жаңа деректер). Ылғалмен қамтамасыз етуді бағалау Селяниновтың гидротермиялық көрсеткіші (ГТК) бойынша, ал жылумен қамтамасыз ету – 10 °С жоғары температура сомасы бойынша жүргізілді. Метеостанциялар бойынша орташа көпжылдық ауа температурасының өзгеруін бағалау нәтижелері облыс аумағында соңғы 25 жылда, әсіресе жазғы кезеңде ауа температурасының жоғарылағанын көрсетті. Ауа температурасының орташа көпжылдық деректерінің негізінде біз жайылымдық жерлердің өнімділігіне әсер ететін вегетациялық кезеңнің жылумен қамтамасыз етілуін бағалап, жердің деградациясы мен аумақтың шөлейттену үрдістеріне ықпал ететін аймақтың құрғақшылығын бағаладық. Ылғалдандыру шарттарына сәйкес облыста төрт аймақ бөлінген: өте құрғақ ыстық (ГТК = 0,2-0,3); құрғақ қалыпты ыстық (ГТК = 0,3-0,6); өте құрғақшыл тау бөктері (ГТК=0,6-0,9); тау аймағы (ГТК = >2,0).

Түйін сөздер: картаға түсіру, агроклиматтық ресурстар, жауын-шашын, температура, ылғалдылық, қар жамылғысы.

Кіріспе. Соңғы бірнеше онжылдықтағы климаттың өзгеруі аймақтық және жаһандық ауқымда агроөнеркәсіптік кешенді қайта құрылымдауға, экологиялық ортаға, әлеуметтік-экономикалық қауіпсіздік пен тұрақтылыққа әсер етеді. 2000-2021 жылдар аралығындағы жаһандық температура 1850-1900 жылдарға қарағанда 0,99 жоғары болды [1, 2]. Кеңістіктік-уақыттық динамиканың тенденцияларын және климаттық өзгерістердің заңдылықтарын уақтылы анықтау және бағалау оларды, яғни климаттың өзгерісін табиғатты пайдаланудың алуан түрлілігінде ескеруге мүмкіндік береді [3]. Аумақтың ауыл шаруашылығын игеруді оңтайландыру, табиғатты пайдалану мәселелерін әзірлеу мәселелерін шешуде агроклиматтық ресурстарды бағалау маңызды. Отандық авторлардың [4, 5] деректеріне сәйкес агроклиматтық ресурстар климаттық факторлардың жиынтығын және ең алдымен дақылдардың өндіріс жағдайлары мен өнімділігін анықтайтын жылу мен ылғалды білдіреді. Климаттық сипаттамаларды ауыл шаруашылығы дақылдарының жылу мен ылғалға қажеттілігімен салыстыра отырып, осы аумақтың агроклиматтық ресурстарының ауыл шаруашылығы дақылдарының талаптарына сәйкестік дәрежесі анықталады.

Қазақстанда «Қазақстанның агроклиматтық аудандастырылуы» агроклиматтық ресурстар бойынша алғашқы ғылыми еңбегін П. И. Колосков 1947 жылы жариялады [6]. 1955 жылы Ф. Ф. Давитайдың редакциясымен «Тың және тыңайған жерлерді игеру аудандарының агроклиматтық және су ресурстары» монографиясы жарық көрді [7]. Өткен ғасырдың 50-80-жылдарында Қазақстанның барлық облыстары, соның ішінде Талдықорған облысы бойынша агроклиматтық анықтамалықтар шығарылды [8]. Бүгінгі таңда бұл анықтамалықтар ақпараттық және технологиялық тұрғыдан ескірген, өйткені олардың есептеулері мен аудандастыруы 1930-1980 жылдардағы мәліметтерге негізделген, ал соңғы жарты ғасырда климат пен жердің сапалық жағдайында айтарлықтай өзгерістер орын алды. Тиісінше, қазіргі заманғы әдістер мен геоақпараттық технологиялар негізінде агроклиматтық ресурстарды қайта бағалау қажеттілігі туындады. Сондықтан біз Жетісу облысының агроклиматтық ресурстарына баға беріп, олардың кеңістіктік-уақыттық бөлінуіне талдау жасай отырып, тиісті тақырыптық карталар әзірледік.

Зерттеу материалдары мен әдістері. Жетісу облысы егіншілік пен мал шаруашылығын орнықты дамыту үшін қажетті түрде қолайлы жер, агроклиматтық, жемшөп ресурстарымен ерекшеленеді. Жетісу облысының аумағы салыстырмалы түрде кең емес, бірақ агроклиматтық жағдайлары бойынша өте әртекті және облыс әртүрлі табиғи аймақтарда орналасқан, оның негізгі бөлігі шөлейт аймаққа орайластырылған, сол себептен жайылымдық пайдалану ландшафттарын қалыптастыру (аймақтың барлық ауылшаруашылық алқаптарының 91% құрайды) жауын-шашын тапшылығы, жел режимінің жоғарылауы, күрт континенттік климат пен топырақ құнарлылығының азаюы жағдайында жүзеге асырылады, бұл жайылымдық экожүйелерге малдың жоғары жүктемесі кезінде олардың деградациясына, өнімділік пен биоәртүрліліктің жойылуына әкеледі. Мұның бәрі климаттық жағдайындағы айырмашылықтарды және ауыл шаруашылығын ұйымдастырудың ерекшеліктерін анықтайды.

Облыс аумағын агроклиматтық аудандастырудың негізі ауа температурасы 10° С-тан жоғары кезеңнің, яғни көпшілік өсімдіктердің вегетациялық кезеңінің ылғалмен және жылумен қамтамасыз етілуі болып табылады. 1940-2024 жылдардағы Жетісу облысындағы климаттың өзгеру үрдістерін бағалау үшін біз әртүрлі агроклиматтық аймақтарда орналасқан он екі метеорологиялық станция бойынша орташа жылдық ауа температурасы мен жылдық атмосфералық жауын-шашын мөлшерінің тексерілген уақыт қатарын пайдаландық (1-кесте). Климаттық зерттеулер «Қазгидромет» РМК-ның [9], Дүниежүзілік метеорологиялық ұйымның (WMO) және «Ауа райы және климат» анықтамалық-талдамалық порталының [10, 11] көпжылдық деректері негізінде жүргізілді. Ылғалмен қамтамасыз етуді бағалау Селяниновтың гидротермиялық көрсеткіші (ГТК) бойынша [12], ал жылумен қамтамасыз ету – 10 °С-тан жоғары температураның қосындысы бойынша жүргізілді.

1-кесте – Жетісу облысының агроклиматтық аудандарында орналасқан метеорологиялық станциялардың географиялық координаттары

Table 1 – Geographical coordinates of meteorological stations located in agroclimatic regions of the Zhetysu region

Агроклиматтық аймақ	Метеорологиялық станция	Географиялық координаттар		Биіктігі, м
		бойлық	ендік	
Ia. Өте құрғақ қалыпты ыстық	Алакөл	45,57	81,33	376
	Жаланашкөл	45,35	82,10	384
Iб. Өте құрғақ ыстық	Жаркент	44,09	80,00	632
II. Құрғақ қалыпты ыстық	Үшарал	46,10	80,56	392
	Матай	45,53	78,43	412
	Үштөбе	45,14	77,58	430
III. Өте құрғақшыл тау бөктері	Талдықорған	45,01	78,22	596
	Сарканд	45,24	79,54	764
	Сарыөзек	44,21	77,57	945
IV. Таулы аудан	Лепсі	46,14	78,56	402
	Қоғалы	44,27	78,41	1438
	Текелі	44,51	78,45	1038

Далалық зерттеу жүргізу барысында ауыл шаруашылығы дақылдарының белсенді вегетациялық кезеңінің өсу жағдайын бағалау үшін су шаруашылығы учаскелерінің 20-ға жуық бақылау нүктелері зерттелді және Жетісу облысының 10 негізгі учаскесінде топырақ сынамалары алынды. Көптеген дақылдардың және табиғи жайылымдық өсімдіктердің алуан түрлерінің белсенді өсу кезеңі орташа тәуліктік ауа температурасы 10 °С болатын кезеңмен шектеледі [8]. Жайылымдық өсімдіктердің көктемгі қайта өсуі өсімдік түріне және орташа тәуліктік ауа температурасының белгіленуіне байланысты. Сонымен, дәнді дақылдар мен шөптердің көпшілігі вегетациялық кезеңді 3-5 °С температурада бастайды, бірақ ауа-райының орташа тәуліктік температурасы 10-12 °С-тан жоғары болған кезде белсенді дамуын жалғастырады. Бұйырғын, ши, ажырық, қамыс өсімдіктерінің жылысүйгіш түрлері 10-11 °С температурада, ал түйе жантағы 14 °С температурада өсе бастайды. Жайылымдарды ұтымды пайдалану мақсатында, қойлардың көктемгі өрісі, әдетте, дәнді дақылдар мен шөптерде жасаң шөптердің 5-6 см-ге дейін немесе одан да биік өскеннен кейін жүзеге асырылады, бұл шамамен көктемнің 10 °С-тан кейінгі орташа тәуліктік ауа температурасының белгілеу кезеңімен сәйкес келеді. Күзгі кезеңде жылу ресурстарының 10 °С тан төмен түсуі жайылымдық шөптердің белсенді өсуін баяулатады. Демек, жылу ресурстарының бөлінуін және олардың ауа температурасы 10 °С жоғары кезеңнің ұзақтығын есепке алу Жетісу облысының жайылымдарында жасаң шөптер бойынша мал жаюдың басталу жағдайларын бағалау үшін практикалық маңызы бар.

Нәтижелер. Ауа температурасы ауа-райының сипаты мен режимін анықтайтын, сондай-ақ шалғайдағы мал шаруашылығының дамуына әсер ететін климаттың маңызды элементтерінің бірі болып табылады [13]. Отандық авторлардың [14] зерттеулеріне сәйкес аймақта 1960-2020 жылдар аралығында температура режимінің сипаты өзгергенін көрсетті. Климатының өзгеру мониторингісінің жыл сайынғы бюллетені мәліметтеріне сүйене отырып, 2-кестеде әртүрлі агроклиматтық аудандарда орналасқан метеорологиялық станциялар бөлінісінде екі уақыт аралығы бойынша орташа көпжылдық ауа температурасының көрсеткіштері келтірілген.

2-кесте – Жетісу аймағындағы метеорологиялық станциялар бойынша екі уақыт кезеңі үшін орташа айлық және орташа жылдық ауа температурасы, °С

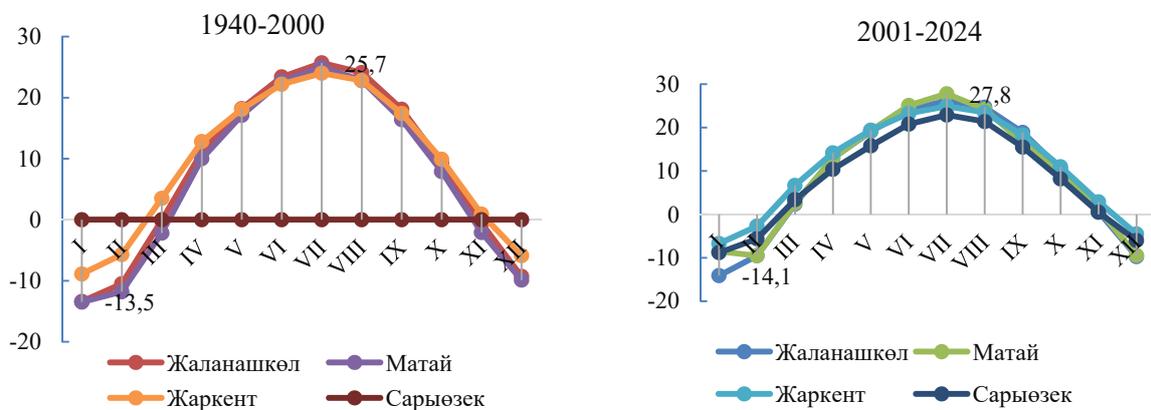
Table 2 – Average monthly and average annual air temperature for two time periods in the Zhetysu region meteorological stations, °C

МС	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Жыл
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
1940-2000 жж.													
Талдықорған	-9,6	-7,5	0,1	10,3	16,3	21,2	23,6	21,8	16,0	8,4	-0,7	-7,1	7,7
Текелі	-6,4	-5,6	-1,5	5,5	10,0	14,0	16,1	15,5	11,0	4,8	-1,1	-4,2	4,8
Үшарал	-13,2	-11,4	-2,2	9,7	16,7	21,9	24,3	22,4	16,2	8,0	-1,5	-8,7	6,9
Алакөл	-11,9	-10,7	-2,1	8,8	15,9	21,9	24,6	22,9	17,1	9,3	0,5	-6,6	7,5
Жаланаңкөл	-13,4	-10,5	-0,1	11,1	18,2	23,4	25,7	24,1	18,1	9,3	-0,6	-9,3	8,0
Матай	-13,5	-11,8	-2,2	10,0	17,1	22,7	25,0	22,8	16,4	7,9	-2,1	-9,9	6,9
Қоғалы	-8,8	-7,8	-2,7	6,1	11,5	15,4	17,7	17,0	12,4	5,6	-2,5	-6,6	4,8
Сарыөзек	-8,9	-7,2	0,2	9,0	14,6	19,5	22,2	20,7	15,0	7,3	-0,8	-6,4	7,1
Жаркент	-8,9	-5,7	3,5	12,8	18,1	22,2	24,0	22,8	17,4	9,9	0,9	-5,9	9,3
Лепсі	-17,6	-14,9	-6,5	4,9	11,5	15,6	17,5	15,9	10,7	3,5	-7,5	-14,7	1,5
Сарканд	-7,5	-6,3	-0,3	9,6	15,4	20,2	22,5	21,1	15,7	8,5	-0,4	-5,6	7,7
Үштөбе	-11,9	-9,9	-0,8	10,3	17,0	22,1	23,9	21,7	15,7	8,1	-1,5	-8,5	7,2
2001-2024 жж.													
Талдықорған	-8,2	-5,8	4,2	11,8	17,1	22,3	24,9	22,6	16,2	8,6	-0,1	-6	9,0
Текелі	-5,2	-2,9	3,9	10,5	15,3	19,5	21,5	20,4	15,3	8,9	1,7	-3,7	8,8
Үшарал	-11,8	-9	1,1	11,3	17,4	22,8	24,6	22,9	16,7	9,1	0,4	-7,5	8,2
Алакөл	-10,9	-9	0,7	9,9	16,5	22,5	24,9	23,6	17,8	10,2	1,8	-6,4	8,5

Продолжение таблицы 2													
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
Жаланашкөл	-14,1	-9,5	2,4	13	19,1	24,1	26,2	24,7	18,9	10,5	0,6	-9,7	8,9
Матай	-8,5	-9,5	2,6	12,9	19,3	25,1	27,8	24,2	16,6	10	1,2	-9,4	9,3
Қоғалы	-8,2	-6,3	-0,3	7,5	12,5	16,4	18,3	17,5	12,9	6,3	-1,2	-6,7	5,7
Сарыөзек	-8,8	-5,6	3,4	10,4	15,8	20,8	22,9	21,4	15,5	8,2	0,5	-6	8,2
Жаркент	-6,7	-2,7	6,7	14,2	19,4	23,3	24,9	23,5	18,3	11	2,9	-4,5	10,9
Лепсі	-15,6	-11,8	-2,7	6,9	12,3	16,4	18	16,5	11	4,3	-4,9	-13,3	3,1
Сарканд	-7,5	-5,4	2,6	11,1	16,3	21,3	23,1	21,7	15,8	8,7	0,5	-6	8,5
Үштөбе	-10,3	-7,1	3,1	11,9	18	23,2	24,5	22,6	16,4	8,9	0,2	-7,7	8,6

2-кестеге сәйкес, облыста соңғы 25 жылда әсіресе жазғы кезеңде ауа температурасының шамалы көтерілуі байқалды. Сонымен, 1940-2000 жылдар аралығында шілдедегі орташа ауа температурасы +22,3 °C болды, ал соңғы онжылдықтарда ол +23,5 °C дейін өсті. Жазда облыста ең ыстық жер Матай метеостанция аймағы +27,8 °C болып табылады. 2000-2024 жж. қыс мезгіліндегі орташа ауа температурасының уақытша жүрісі Текелі МС ауданында -5,2 °C-тан -15,6 °C-қа (Лепсі МС) дейін ауытқиды, жалпы өңір бойынша соңғы жетпіс жыл ішінде ауа температурасының -1,4 °C-қа төмендеуі байқалады. Қысқы маусымда ауаның орташа температурасының ең төменгі мәндері Лепсі (-15,6 °C), Жаланашкөл (-14,1 °C) және Үшарал (-11,8 °C) МС-да байқалды. Жаз мезгілінде ауа температурасының жоғарылауы жайылымдардың биоәртүрлілігіне, өсімдіктердің өмірлік цикліне және өнімділігіне айтарлықтай әсер етуі мүмкін [13, 15].

1-суретте 1940-2000 және 2001-2024 жылдар аралығындағы метеостанциялар бойынша орташа көпжылдық ауа температурасының өзгеруі көрсетілген.

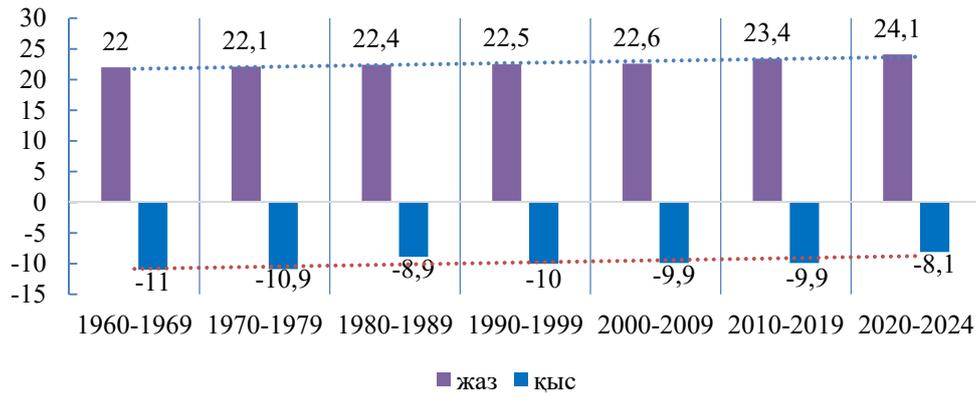


1-сурет – Жетісу облысының метеостанциялары бойынша 1940-2000 және 2001-2024 жылдардағы орташа көпжылдық ауа температурасы, °C
 Figure 1 – Average annual air temperatures for 1940-2000 and 2001-2024 according to weather stations in the Zhetysay region, °C

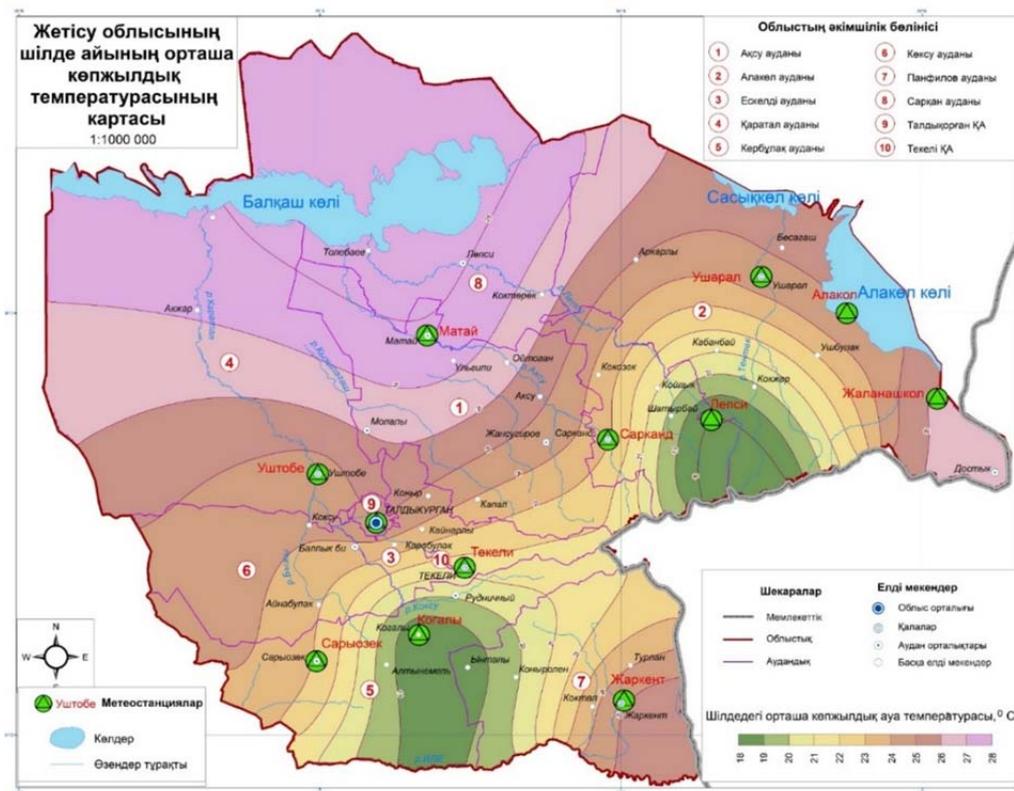
Облыстың шалғайдағы мал шаруашылығын дамыту үшін ауа температурасының уақыт ағымының динамикасын талдау маңызды болып табылады. 2-суретте 1960 жылдан 2024 жылға дейінгі онжылдықтар бойынша маусымдық ауа температурасының орташа мәндері көрсетілген.

Соңғы онжылдықтарда облыста ауа температурасының шамалы көтерілуі байқалғаны анықталды. 1960-1969 жылдардағы қысқы кезеңдегі ауаның орташа көпжылдық температурасы -11,0 °C, ал соңғы онжылдықта -9,9 °C-тан -8,1 °C аралығында байқалады. Жазғы ауа температурасы 2,1 °C-қа көтеріліп, 1960-1969 жылдармен салыстырғанда облыс бойынша орташа есеппен 24,1 °C-ты құрады.

Аймақта шілдедегі орташа көпжылдық ауа температурасын талдау негізінде осы көрсеткіштерді көрсететін карта әзірленді (3-сурет).



2-сурет – Жетісу облысында онжылдықтар бойынша ауаның орташа көпжылдық температурасы, °C
 Figure 2 – Average annual air temperature by decade in the Zhetysay region, °C



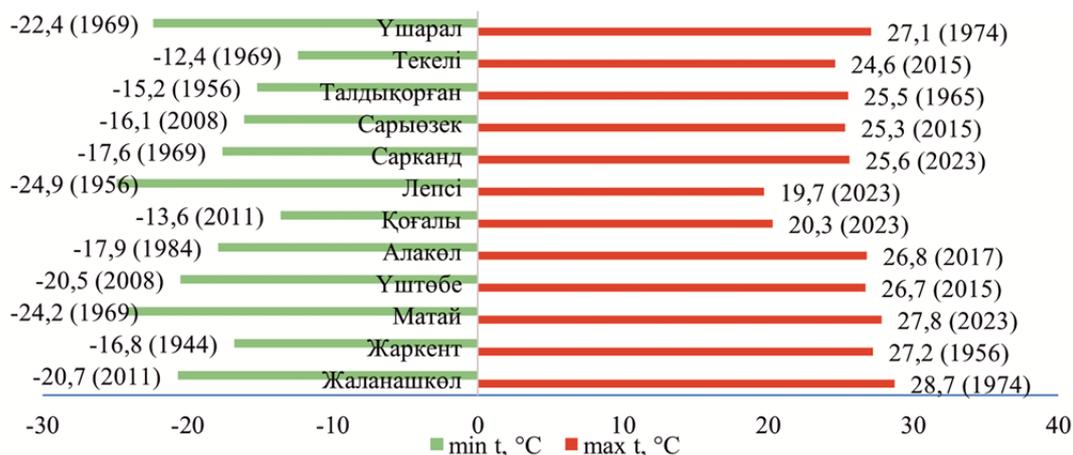
3-сурет – Шілде айындағы орташа көпжылдық ауа температурасы
 Figure 3 – Average annual air temperature in July

Орташа айлық максималды (t_{max}) және минималды (t_{min}) ауа температурасының мәндері тәуліктің ең жылы және суық уақытының температуралық режимін сипаттайды. Орта есеппен шілде айында күндіз МС Матай ауданындағы (облыстың орталық бөлігі) ауа температурасы +25,1 °C-қа жетіп, түнде +15,6 °C-қа дейін төмендейтіні анықталды. Облыстың оңтүстік бөлігінде орналасқан Жаркент МС-де шілде айында күндіз ауа температурасы орта есеппен +26,5 °C-қа жетеді, ал түнде +14,9 °C-қа дейін төмендейді.

Қаңтар айында тәулік бойы Матай МС ауданындағы ауа температурасы күндіз -10,6-дан түнде -26,7 °C-қа дейін, ал Жаркент МС ауданында күндіз -12,6 °C-тан, түнде -24,5 °C-қа дейін ауытқиды. Осылайша, орташа айлық максималды (t_{max}) және минималды (t_{min}) ауа температурасының мәндері облыс аумағында байқалатын ең жылы (талтүс) және ең суық (таңғы уақыт) тәулік уақытының температуралық режимін сипаттайды және олардың айырмашылығы орташа тәуліктік

диапазонды көрсетеді. Облыс аумағындағы ауа температурасының тәуліктік мөлшері жаздан қысқа дейін азаяды. Сонымен, маусымдағы температураның тәуліктік мөлшері +15,6 °C -тан +15,9 °C-қа дейін, ал қаңтарда -9,0 -9,9 °C-қа дейін көрсеткішті құрайды.

1940-2024 жылдардағы орташа айлық ауа температурасының динамикасын талдау облыс бойынша абсолютті максималды ауа температурасы + 28,7 °C 1974 жылғы шілдеде Жаланаңшкөл МС аумағында тіркелгенін көрсетті, одан бөлек +27,8 °C 2023 жылғы шілдеде Матай МС, +27,2 °C 1956 жылғы маусымда Жаркент МС орналасқан аудандарда тіркелді. Облыс бойынша ауаның абсолютті ең төменгі температурасы -24,9 °C 1956 жылғы қаңтарда Лепса МС ауданында, сондай-ақ 1969 жылғы қаңтарда Матай МС ауданында -24,2 °C тіркелді (4-сурет).

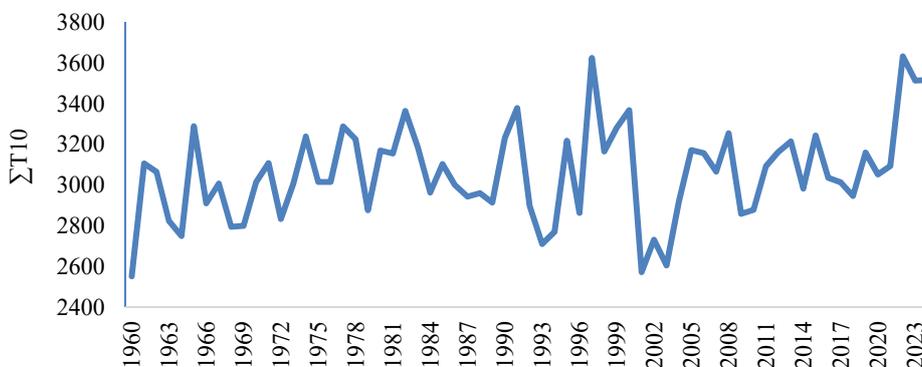


4-сурет – 1936 жылдан 2024 жылға дейін Жетісу облысының метеостанцияларында тіркелген ауаның ең жоғары және ең төменгі температурасының көрсеткіштері, °C

Figure 4 – Absolute maximum and minimum air temperatures recorded from 1936 to 2024 at weather stations in the Zhetysay region, °C

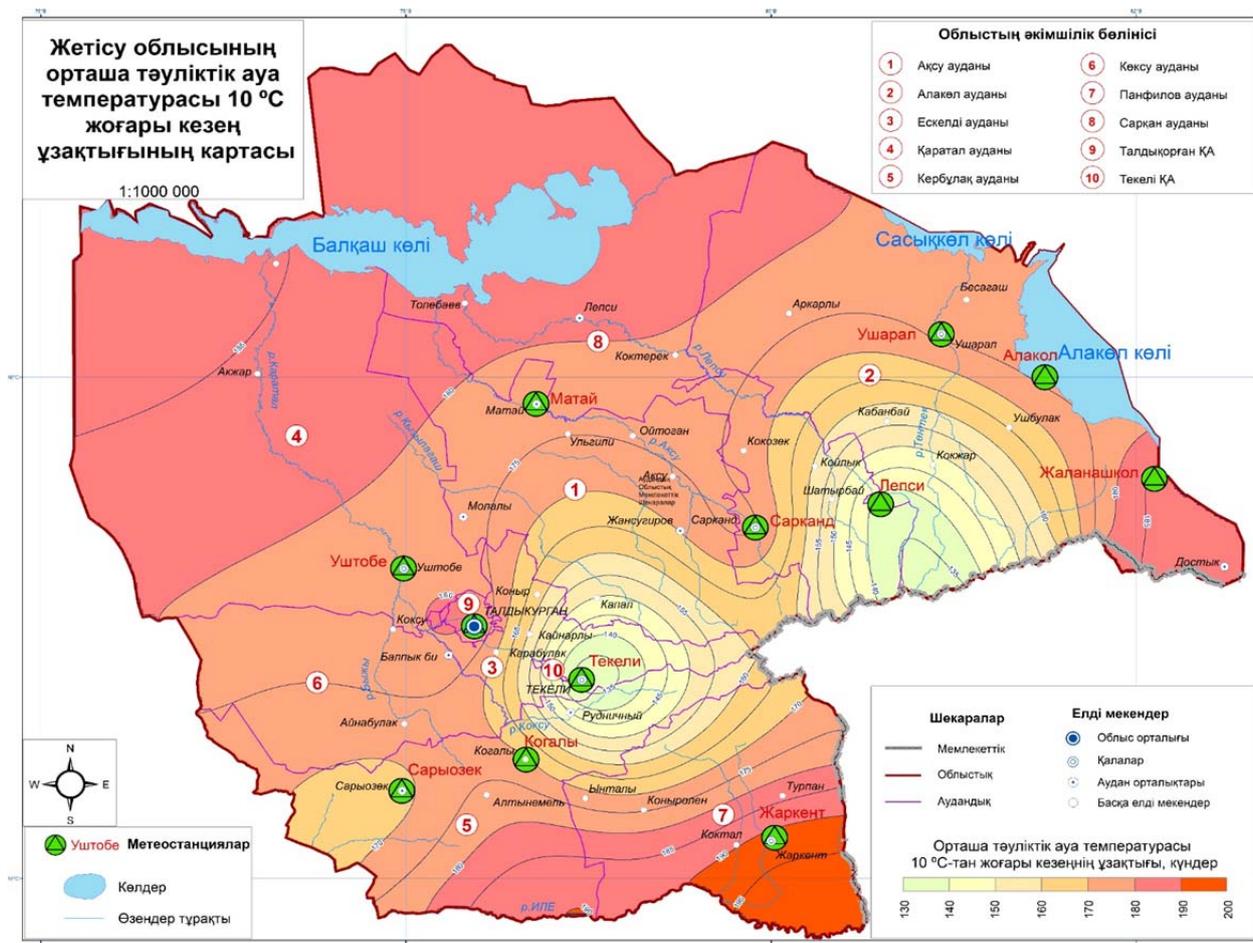
Ауа температурасының орташа көпжылдық деректерінің негізінде жайылымдық жерлердің өнімділігіне әсер ететін вегетациялық кезеңнің жылумен қамтамасыз етілуінің агроклиматтық көрсеткіштері айқындалады. 1960 жылдан 2024 жылға дейін Жетісу облысының аумағы бойынша ауаның жалпы температурасының 10 °C-тан жоғары өзгеру динамикасы 5-суретте келтірілген. Онжылдықтар бойынша ауа температурасының қосындысы ауа температурасы 10 °C тан жоғары кезеңдегі ауаның орташа температурасын онжылдықтағы күндер санына көбейту арқылы алынады [16-18].

2001-2024 жылдары орташаланған Жетісу облысының метеорологиялық станциялары бойынша өспелі қорытындысы 10°C-тан жоғары орташа тәуліктік ауа температурасының сомаларын кеңістіктік бөлу 6-суретте келтірілген.



5-сурет – Жетісу облысының аумағы бойынша орташа тәуліктік ауа температурасының 10°C жоғары орташа көпжылдық сомасының өзгеру динамикасы

Figure 5 – Dynamics of changes in the average annual sum of average daily air temperatures above 10°C across the Zhetysay region



6-сурет – Жетісу облысының аумағында ауаның орташа тәуліктік температурасының 10 °C жоғары орташа көпжылдық сомасы

Figure 6 – Average annual sums of average daily air temperatures above 10 °C in the Zhetysay region

Вегетациялық кезеңнің ылғалмен қамтамасыз етілуі Жетісу облысының өсімдік шаруашылығы мен мал шаруашылығының дамуына үлкен әсер етеді. Жауын-шашын аймақтың көп бөлігінде өсімдіктердің ылғалға деген қажеттілігін қамтамасыз етпейді, сондықтан егіс алқаптарының көп бөлігі суаруға жайғастырылған. Облыстың едәуір бөлігі шөлді аймақта орналасқан, онда көктемгі және күзгі вегетациялық кезеңдері бар шөл-жайылымдық өсімдіктер өседі. Мұнда жауын-шашынның суық (күзде 0 °C-тан өту күнінен көктемде 0 °C-қа өту күніне дейін) және жылдың жылы (0-ден 15 °C-қа дейін) жауын-шашынының маңызы зор. 1991-2000 және 2001-2024 жылдары облыстың метеорологиялық станциялары бойынша орташа жылдық жауын-шашынның (мм) алаңдық таралуы 3-кестеде келтірілген.

Жауын-шашын мөлшері температура ағынына ұқсас өзгерді. Жауын шашынның көбеюі температураның жоғарылауына сәйкес келеді. Мәселен, соңғы 25 жылда жылдық жауын-шашын мөлшері 1991-2000 жылдармен салыстырғанда 2,75%-ға артқаны байқалады. Орта есеппен көп жылдық кезеңде (2001-2024 жж.) таулы агроклиматтық ауданда орналасқан Лепсі МС – 721 мм, Текелі МС – 716 мм, Қоғалы МС – 561 мм аудандарында бір жыл ішінде ең көп жауын-шашын түседі.

Жауын – шашынның ең аз мөлшері өте құрғақ ыстық Жаркент МС ауданында – 206 мм тіркелген. Жалпы, облыстың егіншілікті дамыту агроклиматтық ауданның тау бөктерінде мүмкін, онда жылына 370-тен 500 мм-ге дейін жауын-шашын түседі. Облыстың шөлді өте құрғақ ыстық аймағында жылына 110-нан 215 мм-ге дейін жауын-шашын түседі, яғни аудан ылғалмен жеткіліксіз түрде қамтамасыз етіледі. Облыс аумағы бойынша бір жылдағы жауын шашынның орташа көп жылдық мөлшерін алаңдық бөлу 7 картада көрсетілген.

3-кесте – Жетісу облысының аумағында (метеостанциялар бойынша) жауын-шашынның орташа айлық және жылдық орташа мөлшері (1891-2000 және 2001-2024 жылдар кезеңінде), мм

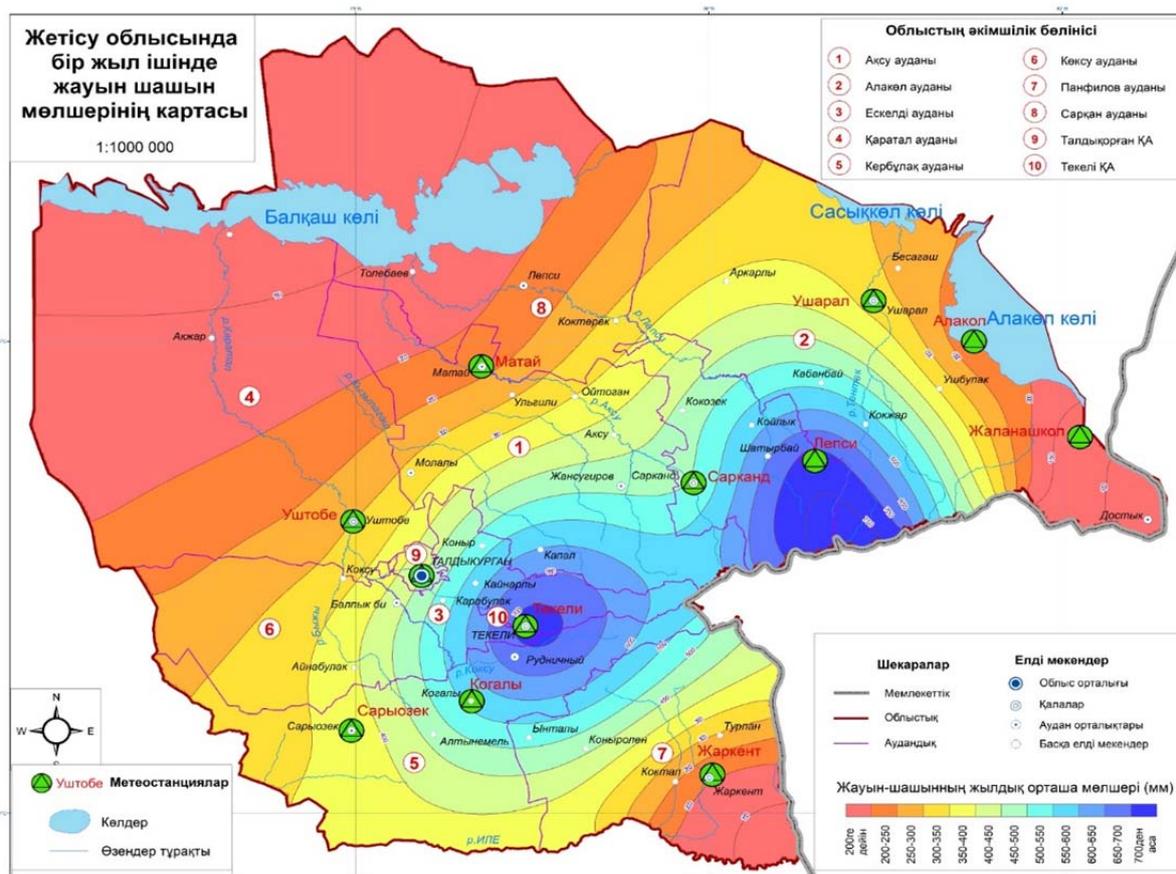
Table 3 – Average monthly and annual precipitation (for the period 1891–2000 and 2001–2024) in the Zhetysu region (according to weather stations), mm

МС	Ай												Жыл
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	
1991-2000 жж.													
Талдықорған	25,0	25,0	38,0	44,0	45,0	33,0	27,0	15,0	20,0	40,0	47,0	35,0	394
Текелі	39,0	35,0	62,0	92,0	114,0	96,0	90,0	45,0	48,0	81,0	75,0	54,0	831
Үшарал	23,0	21,0	26,0	32,0	28,0	24,0	24,0	12,0	12,0	26,0	35,0	35,0	298
Алақөл	16,0	12,0	17,0	19,0	24,0	22,0	22,0	14,0	7,0	12,0	24,0	24,0	213
Жаланашкөл	4,0	3,0	6,0	9,0	15,0	13,0	11,0	10,0	11,0	18,0	14,0	6,0	120
Матай	16,0	14,0	18,0	26,0	28,0	21,0	24,0	11,0	11,0	23,0	26,0	23,0	241
Қоғалы	29,0	26,0	36,0	54,0	67,0	64,0	53,0	29,0	27,0	45,0	51,0	39,0	520
Сарыөзек	17,0	18,0	27,0	39,0	44,0	42,0	34,0	16,0	15,0	29,0	31,0	23,0	335
Жаркент	12,0	11,0	13,0	17,0	20,0	24,0	22,0	12,0	11,0	13,0	16,0	13,0	184
Лепсі	39,0	37,0	54,0	78,0	87,0	68,0	61,0	40,0	37,0	66,0	75,0	55,0	697
Сарканд	29,0	28,0	44,0	54,0	61,0	46,0	41,0	25,0	25,0	48,0	55,0	40,0	496
Үштөбе	19,0	16,0	24,0	28,0	31,0	22,0	22,0	12,0	13,0	27,0	29,0	25,0	268
Облыс	22,3	20,5	30,4	41,0	47,0	39,6	35,9	20,1	19,8	35,7	39,8	31,0	383,1
2001-2024 жж.													
Талдықорған	34,1	33,6	50,2	47,7	53,2	29,8	25,5	19,7	17,9	45,3	53,6	38,2	449
Текелі	40,4	47,0	70,8	80,7	83,9	66,8	58,4	36,5	45,8	66,4	70,8	48,7	716
Үшарал	34,2	27,1	33,7	25,7	24,9	28,1	25,9	18	9,4	27,6	38,9	33,1	327
Алақөл	16,6	14,4	18,6	19,3	21,8	22,3	22,9	17,4	8,4	13,6	20,5	18,8	215
Жаланашкөл	1,8	2,1	5,6	7,9	9,0	12,1	13,2	12,8	9,3	15,2	14,6	5,9	110
Матай	27,4	15,8	23,2	17,2	21,1	11,0	14,8	10,6	9,7	29,5	40,7	16,8	238
Қоғалы	36,9	36,8	52,9	57,8	61,4	62,0	49,5	29,5	23,8	50,7	62,8	37,3	561
Сарыөзек	24,9	28,0	37,3	37,1	39,5	40,4	30,6	19,2	15,9	35,3	38,0	26,6	373
Жаркент	11,5	14,8	14,5	19,5	21,2	23,1	22,1	15,7	11,6	18,5	21,1	12,6	206
Лепсі	46,4	45,3	65,3	78,4	83,2	65,3	70,8	41,9	34,6	64,1	74,8	51,1	721
Сарканд	31,9	36,8	55,2	53,8	57,8	40,3	41,8	29,2	21,2	47,2	54,2	37,9	507
Үштөбе	22,4	23,3	31,2	24,3	29,9	24,8	29,1	16,9	11,2	28,4	31,9	27,1	301
Облыс	27,4	27,1	38,2	39,1	42,2	35,5	33,7	22,3	18,2	36,8	43,5	29,5	393,6

Облыс аумағында орналасқан метеорологиялық станциялардың мәліметтеріне сәйкес, жылдың жылы мезгілінде жауын-шашын суық кезеңге қарағанда көбірек түседі. Алайда жекелеген жылдары зерттеу аумағының кейбір аудандарында жауын шашынның максималды таралуы жылдың айлары мен маусымдары бойынша ауысуы мүмкін. Орташа көпжылдық режимде облыста жылдың жылы кезеңінде жауын-шашын мөлшері солтүстіктен оңтүстікке қарай 80-135-тен 200-450 мм-ге дейін артады. 2001-2024 жылдарының орташа есебімен облыс бойынша жылдың жылы кезеңінде суық кезеңіне (165,7 мм) қарағанда жауын-шашын (227,9 мм) мол түсті, бұл ретте ерекшелікті Үшарал МС ауданы көрсетті, онда суық айда жауын-шашын жылы кезеңге қарағанда 4,6%-ға басым болды. Облыста агроклиматтық ауданның орналасуына байланысты ауыл шаруашылығы дақылдарының белсенді өсу кезеңінде (мамыр-тамыз) 133,7 мм жауын-шашын түседі (4-кесте).

Суық мезгілдегі жауын-шашын шөл-жайылымдық өсімдіктердің күзгі қайта өсуі үшін және жайылымдардың репродуктивті қалпына келуі үшін үлкен маңызға ие. Күзде жауын-шашын мөлшері 50-70 мм-ден аз болған кезде, келесі жылдың тұқымын жинау мүмкіндігі нашарлайды.

Келесі жылы жақсы өнім 80 мм ден астам жауын шашынмен күтілуі керек. Облыстың алғашқы үш агроклиматтық аймағында орташа көпжылдық жауын-шашын 30-90 мм, II және III агроклиматтық аудандарда шамамен 120-170 мм және IV 200 мм-ден жоғары, бұл тұқым жинау үшін жақсы жағдай деп күтіледі.



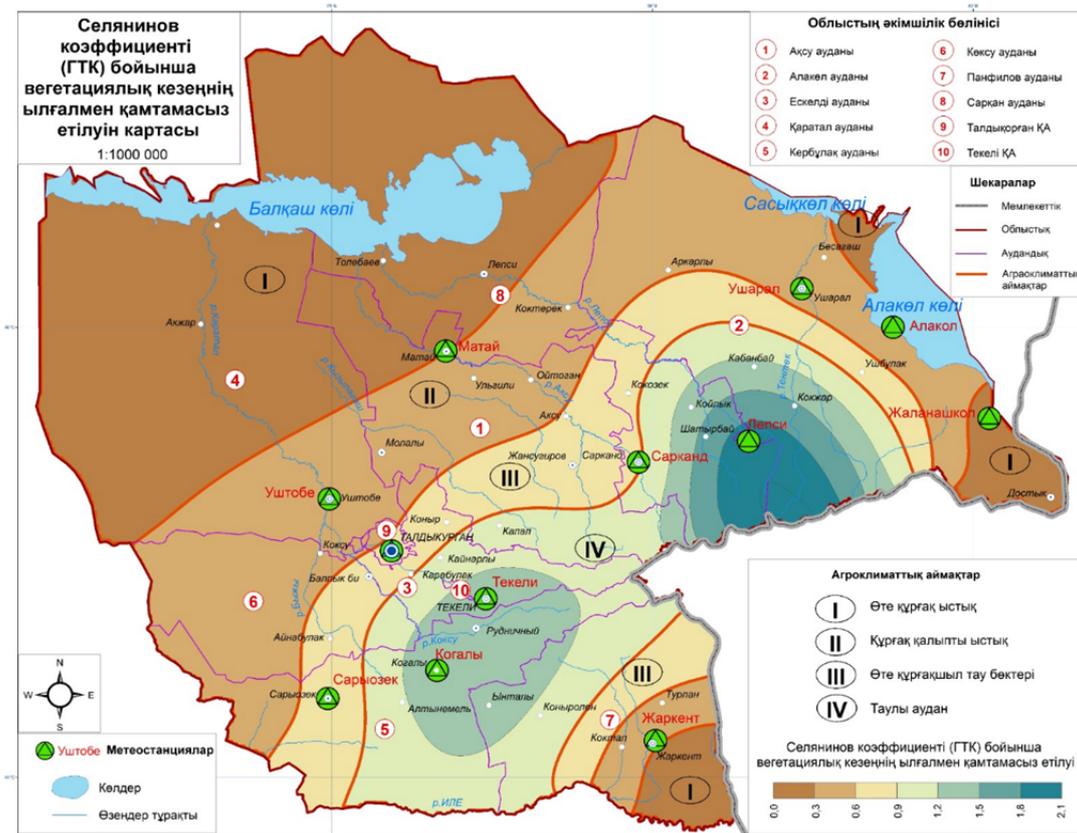
7-сурет – Жетісу облысында бір жылда жауын шашынның орташа көп жылдық мөлшері
Figure 7 – Average annual precipitation in the Zhetysay region

4-кесте – Жетісу облысының метеостанциялары бойынша бір жылдық (R), жылы (Rжл) және суық (Rск) кезеңдер, вегетативтік кезең ($\sum 15^\circ\text{C}$) үшін жауын-шашын мөлшері, мм

Table 4 – Precipitation amounts (R) for the year, warm (Rwr) and cold (Rcl) periods, for the growing season ($\sum 15^\circ\text{C}$) according to weather stations in the Zhetysay region, mm

Аудан	МС	R	R _{жк} (IV-X)	R _{ск} (XI-III)	$\sum 15^\circ\text{C}$ (V-VIII)
Ia	Алақөл	214,6	125,7	88,9	84,3
	Жаланашкөл	109,5	79,5	30,0	47,2
Iб	Жаркент	206,2	131,7	74,5	81,0
II	Үшарал	326,6	159,6	167,0	96,9
	Матай	237,8	113,9	123,9	57,5
	Үштөбе	300,5	164,6	135,9	100,7
III	Талдықорған	448,8	239,1	209,7	128,2
	Сарканд	507,3	291,3	216,0	169,1
	Сарыөзек	372,8	218,0	154,8	129,7
IV	Лепсі	721,2	438,3	282,9	261,2
	Қоғалы	561,4	334,7	226,7	202,3
	Текелі	716,2	438,5	277,7	245,6

Құрғақшылық, табиғи құбылыс ретінде, облыс экономикасына айтарлықтай әсер ете отырып, жердің деградациясы мен аумақтың шөлейттену үрдістеріне ықпал етеді. Атмосфералық құрғақшылық солтүстіктен оңтүстікке қарай жылжыған кезде антициклон өрістеріндегі ауа массаларының қарқынды жылу трансформациясы процесінде пайда болады және жылулық кернеудің жоғарылауымен, айқын құрғақшылықпен және жоғары булану қабілетімен сипатталады. 8-суретте Жетісу аймағындағы метеорологиялық станциялардың агроклиматтық аймақтарға бөлу мәнінде ылғал коэффициентінің (ГТК) кеңістіктік таралуы көрсетілген.



8-сурет – Жетісу аймағының метеорологиялық станциялары жағдайында Селянинов коэффициентін (ГТК) қолдана отырып, өсу кезеңіндегі ылғалмен қамтамасыз етуді бағалау
Figure 8 – Assessment of moisture supply during the growing season using the Selyaninov coefficient (GTC) in the WS section of the Zhetysay region

Картографиялық үлгіге жүгінетін болсақ, өңірде вегетациялық маусымы үшін ылғалдың барлық 6 санаты таралған. Облыстың барлық Балқаш маңы мен оңтүстік-шығыс тау бөктеріндегі бөлігі «өте қатты құрғақшылық» ретінде сипатталады, бұдан әрі облыстың бүкіл орталық және солтүстік-батыс бөлігі «қатты құрғақшылық» және «ылғалмен қамтамасыз етілуі жеткіліксіз» зоналарына өтіп ауысады. Жоңғар Алатауының бүкіл жүйесі солтүстіктен оңтүстікке қарай «жеткілікті, бірақ тұрақсыз ылғалмен» және «оңтайлы және тұрақты ылғалмен» сипатталады, ал таулы жерлерде «артық ылғал» байқалады.

Талқылау. Температуралық режим, ылғалдылық және жауын-шашын мөлшерінің анықталған өзгерістері облыстың агроклиматтық жағдайларының өзгеруін көрсетеді. Ауаның ылғалдылығы дақылдардың өсу, даму және жетілу процесіне әсер етеді. Сондай-ақ эфемерлердің жасыл шөптесін ұзақтығы көктемнің ауа-райына байланысты. Эфемерлердің жасыл күйінің басталуы оң ауа температурасының қосындысы 115°C-тан жоғары болатын күн қабылданады. Мәселен, облыстың солтүстік-батыс бөлігінде орта есеппен эфемерлер 40-50 күн жасыл күйде, облыс аумағының көп бөлігінде – Балқаш көлінің оңтүстік жағалауынан тау бөктеріне дейін 50-60 күн, тау бөктеріндегі аудандарда 60-70 және таулы аудандарда 70-80 күнге жетеді. Вегетациялық кезеңдегі төмен

ылғалдылық, яғни құрғақ ауа қарқынды булануды тудырады және өсімдікке теріс әсерін тигізеді. Зерттеу нәтижелері көрсеткендей, аймақта вегетациялық кезеңіндегі ылғалдылық 0,2-ден (Жалаңашкөл МС) 2,0-ге дейін (Лепсі МС) артады. Іа және Іб агроклиматтық аймақтарында ГТК 0,2-0,3-тен аспайды, ІІ-де – 0,3-0,6, ІІІ-те – 0,6-0,9-дан аспайды және тек Жоңғар Алатауының ІV таулы аймағында ГТК 2,0-ден жоғары көрсеткішке ие.

Қорытынды. Зерттелген уақыт аралығында облыста кейбір негізгі агроклиматтық параметрлерде өзгерістер байқалады:

1) 1940-2000 жылдар кезеңімен салыстырғанда 2001-2025 жылдардағы ауаның орташа температурасы жазда барлық метеорологиялық станцияларда 0,6-дан 1,2 °С-қа дейін өсті;

2) соңғы жетпіс жыл ішінде қыста ауа температурасының -1,4 °С-қа төмендеуі байқалады;

3) 1991-2000 және 2001-2024 жылдары облыстың метеорологиялық станциялары бойынша орташа жылдық жауын-шашынның (мм) аумақтық бөлінуі көптеген станцияларда жауын-шашынның 2-ден 55 мм-ге дейін өскенін және тек Матай және Жалаңашкөл станцияларында тиісінше -3 және -10 мм-ге азайғанын көрсетті;

4) 2001-2024 жылдарының орташа есебімен облыс бойынша жылдың жылы кезеңінде суық кезеңіне (165,7 мм) қарағанда жауын-шашын (227,9 мм) мол түсті, бұл ретте ерекшелікті Үшарал МС ауданы көрсетті, онда суық айда жауын-шашын жылы кезеңге қарағанда 4,6% - ға басым болды.

5) Г. Селяниновтың гидротермиялық коэффициентіне сәйкес вегетациялық кезеңнің ылғалмен қамтамасыз етілуі 0,2-ден (Жалаңашкөл МС) 2,0-ге дейін (Лепсі МС) өседі.

Облыста агроклиматтық ауданның орналасуына байланысты ауыл шаруашылығы дақылдарының белсенді вегетациялық кезеңінде (мамыр-тамыз) 133,7 мм жауын-шашын түсетіні анықталды. Осылайша, Жетісу облысының аумағы өрістік-жайылымдық мал шаруашылығын жүргізу және одан әрі дамыту үшін қолайлы құнарлы топырақ жамылғысы мен агроклиматтық ресурстарға ие.

Қаржыландыру. Зерттеу АР26196953 «Жетісу өңіріндегі жайылымдық пайдалану ландшафтарын тұрақты басқарудың ғылыми-қолданбалы негіздемесін ауылшаруашылық табиғатты теңгерімді басқару мақсатында әзірлеу» ГҚ шеңберінде орындалды (2025-2027 жж.).

ӘДЕБИЕТ

[1] Kyrgyzbay K., Kakimzhanov Y., Sagin J. Climate data verification for assessing climate change in Almaty region of the Republic of Kazakhstan // Climate Services. – 2023. – Vol. 32. – P. 100423. <https://doi.org/10.1016/j.cliser.2023.100423>

[2] IPCC, 2021. Summary for Policymakers. In: 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. In Press. https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg1/downloads/report/IPCC_AR6_WGI_SPM.pdf

[3] Мустафаев Ж. С., Тулетаев А. Б., Алдажанова Г. Б. Қазақстан Республикасы Түркістан облысының табиғи аймақтарындағы климаттың өзгеруі // География және су ресурстары. – 2023. – № 3. – Б. 40-48. <https://doi.org/10.55764/2957-9856/2023-3-40-48.17>

[4] Безруких В. А., Елин О. Ю. Агроклиматические ресурсы Приенисейской Сибири как фактор развития сельского хозяйства // Вестник Красноярского государственного педагогического университета им. В. П. Астафьева. – 2010. – № 3. – С. 281-287.

[5] Павличенко Л. М., Байбосупова Г. Е., Рысмагамбетова А. А. Комплексная оценка агроклиматических ресурсов Казахстана на основе целевой функции // International Journal of Innovative Technologies in Social Science. – 2021. – Vol. 2(30). – С. 1-12. https://doi.org/10.31435/rsglobal_ijitss/30062021/7559

[6] Колосков П. И. Агроклиматическое районирование Казахстана. – М.: Издательство Академии наук СССР, 1947. – С. 36-43.

[7] Агроклиматические и водные ресурсы районов освоения целинных и залежных земель. Давитая Ф. Ф. (ред.). – Л.: Гидрометеоздат, 1955. – 464 с.

[8] Агроклиматические ресурсы Талдыкорганской области Казахской ССР / Под ред. Р. Н. Титовой. – Л.: Гидрометеоздат, 1978. – 168 с.

[9] Қазақстан климатының өзгеру мониторингісінің жыл сайынғы бюллетені. – Астана: Қазақстан Республикасының Ұлттық гидрометеорологиялық қызметі, 2024. – Б. 8-16.

[10] Дүниежүзілік Метеорологиялық Ұйым (WMO) [Электрондық ресурс] URL: <https://public.wmo.int/ru>

[11] "Ауа райы және климат" анықтамалық-ақпараттық порталы [Электрондық ресурс] URL: <http://www.pogodaiklimat.ru/>

[12] Селянинов Г. Т. Принципы агроклиматического районирования СССР // Проблемы агроклиматического районирования СССР. – М.: Министерство сельского хозяйства СССР, 1958. – С. 7-14.

[13] Алматы облысының 7 пилоттық аудандарында биоалуантүрліліктің негізгі аймақтарын тұрақты басқару үшін аймақтарға бөлу және ландшафттық жоспарлау схемаларын әзірлеу: ФЗЖ туралы есеп (қорытынды). – Алматы, 2021. – 108 б.

[14] Issaldayeva S., Alimkulov S., Raimbekova Z., Bekseitova R., Karatayev M. The climatic and river runoff trends in Central Asia: The case of Zhetysu Alatau region, the south-eastern part of Kazakhstan // *Heliyon*. – 2023. – Vol. 9, No. 7. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e17897>

[15] Қазақстан климаты бойынша анықтамалық. "Қазгидромет" РМК 1971-2000 жылдардағы көпжылдық деректер. – Алматы, 2004. – 38 с.

[16] Қазақстан климаты бойынша анықтамалық. Көпжылдық деректер. Т. 14., 3 бөлім. Атмосфералық құбылыстар. "Қазгидромет" РМК. – Алматы, 2003. – 81 б.

[17] 2001-2024 жылдары Жетісу облысының станцияларында жер бетіндегі метеорологиялық бақылаулар [Электрондық ресурс] URL: http://ecodata.kz:3838/dm_climat_ru/

[18] Павлова В. Н., Карачёноква А. А., Романенков В. А. Оценка изменений агроклиматических ресурсов в Центральной Азии и сопредельных регионах России // *Фундаментальная и прикладная климатология*. – 2023. – № 3. – С. 298.

REFERENCES

[1] Kyrgyzbay K., Kakimzhanov Y., Sagin J. Climate data verification for assessing climate change in Almaty region of the Republic of Kazakhstan // *Climate Services*. 2023. Vol. 32. P. 100423. <https://doi.org/10.1016/j.cliser.2023.100423>

[2] IPCC, 2021. Summary for Policymakers. In: *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. In Press. https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg1/downloads/report/IPCC_AR6_WGI_SPM.pdf

[3] Mustafayev Zh.S., Tuletayev A.B., Aldazhanova G.B. Climate change in natural areas of the Turkestan region of the Republic of Kazakhstan // *Geography and Water Resources*. 2023. No. 3. P. 40-48. <https://doi.org/10.55764/2957-9856/2023-3-40-48.17>

[4] Bezrukikh V. A., Elin O. Yu. Agroclimatic resources as a factor in the agricultural development of the Yenisei Siberia region // *Bulletin of the V. P. Astafiev Krasnoyarsk State Pedagogical University*. 2010. No. 3. P. 281-287 (in Russ.).

[5] Pavlichenko L.M., Baibosunova G.E., Rysmagambetova A.A. Comprehensive assessment of Kazakhstan's agroclimatic resources based on a target function // *International Journal of Innovative Technologies in Social Science*. 2021. Vol. 2(30). P. 1-12. https://doi.org/10.31435/rsglobal_ijitss/30062021/7559 (in Russ.).

[6] Koloskov P. I. *Agroclimatic zoning of Kazakhstan*. M.: Publishing House of the Academy of Sciences of the USSR. 1947 (in Russ.).

[7] Davitaya F. F. (ed.). *Agroclimatic and water resources of areas where virgin and fallow lands are being developed* // *Hydrometeoizdat*. 1955 (in Russ.).

[8] *Agroclimatic resources of the Taldykorgan region of the Kazakh SSR* // Edited by R. N. Titova. L.: *Hydrometeoizdat*, 1978. 168 p. (in Russ.).

[9] *Annual bulletin on climate monitoring and change in Kazakhstan*. Astana: National Hydrometeorological Service of the Republic of Kazakhstan, 2024 (in Russ.).

[10] World Meteorological Organization (WMO) [Electronic resource] URL: <https://public.Wmo.int/ru>

[11] Reference and information portal 'Weather and Climate' [Electronic resource] URL: <http://www.pogodaiklimat.ru/>

[12] Selyaninov G.T. Principles of agroclimatic zoning of the USSR // *Issues of agroclimatic zoning of the USSR*. Moscow: Ministry of Agriculture of the USSR, 1958. P. 7-14 (in Russ.).

[13] Development of zoning and landscape planning schemes for sustainable management of key biodiversity areas in seven pilot districts of Almaty Region: research report (final). Almaty, 2021. 108 p. (in Russ.).

[14] Issaldayeva S., Alimkulov S., Raimbekova Z., Bekseitova R., & Karatayev M. The climatic and river runoff trends in Central Asia: The case of Zhetysu Alatau region, the south-eastern part of Kazakhstan // *Heliyon*. 2023. Vol. 9, No. 7. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e17897>

[15] *Climate Reference Guide for Kazakhstan. Long-term data for 1971-2000*. RSE Kazhydromet Almaty, 2004. 38 p. (in Russ.).

[16] *Reference Book on the Climate of Kazakhstan. Long-term data. Issue 14, Section 3. Atmospheric phenomena*. RSE Kazhydromet. Almaty, 2003. 81 p. (in Russ.).

[17] Ground-based meteorological observations at stations in the Zhetysu region for 2001-2024 [Electronic resource] URL: http://ecodata.kz:3838/dm_climat_ru/

[18] Pavlova V. N., Karachenkova A. A., Romanenkov V. A. Assessment of changes in agroclimatic resources in Central Asia and neighboring regions of Russia // *Fundamental and Applied Climatology*. 2023. No. 3. 298 p. (in Russ.).

А. Н. Омаров¹, Г. Б. Алдажанова^{*2}, А. Б. Тулетаев³, Б. К. Керимкулов⁴

¹ Докторант (Казахский национальный университет имени аль-Фараби,
Алматы, Казахстан; omaraidos@inbox.ru)

^{2*} PhD, старший научный сотрудник (АО «Институт географии и водной безопасности»,
Алматы, Казахстан; gulnara.aldazhanova@mail.ru)

³ Докторант (Казахский национальный университет имени аль-Фараби,
Алматы, Казахстан; hat_0512@mail.ru)

⁴ Магистрант (Казахский национальный университет имени аль-Фараби,
Алматы, Казахстан; batir102@mail.ru)

ОЦЕНКА АГРОКЛИМАТИЧЕСКИХ РЕСУРСОВ ОБЛАСТИ ЖЕТЫСУ РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН

Аннотация. Представлены результаты оценки агроклиматических ресурсов области Жетысу, которая проведена на основе полевых исследований и данных ГИС. Разработаны карты климатических метеорологических параметров в масштабе 1:1 000 000. Для подготовки тематических климатических карт собрана информационно-аналитическая база данных по метеорологическим станциям, расположенным в различных агроклиматических районах области, представляющая результаты климатологической обработки на метеорологических станциях за многолетний период наблюдений (с 1891 по 2000 г., а также новые данные с 2001-2024 гг.). Оценка влагообеспеченности проводилась по гидротермическому показателю Селянинова (ГТК), а теплообеспеченности – по сумме температур выше 10 °С. Результаты оценки изменения среднегогодовой температуры воздуха по метеостанциям показали, что в области за последние 25 лет наблюдалось повышение температуры воздуха, особенно в летний период. На основе среднегогодовых данных температур воздуха проведены оценки теплообеспеченности вегетационного периода, оказывающей влияние на продуктивность пастбищных угодий, а также засушливости региона, которая способствует процессам деградации земель и опустыниванию территории. По условиям увлажнения в области выделены четыре зоны: очень сухая (ГТК = 0,2-0,3); сухая (ГТК = 0,3-0,5); очень засушливая предгорная (ГТК = 0,6-0,9); горная (ГТК = >1,9).

Ключевые слова: картирование, агроклиматические ресурсы, атмосферные осадки, температура, влажность воздуха, снежный покров.

A. N. Omarov¹, G. B. Aldazhanova^{*2}, A. B. Tuletayev³, B. K. Kerimkulov⁴

¹ Doctoral student (Al-Farabi Kazakh National University, Almaty, Kazakhstan; omaraidos@inbox.ru)

^{2*} PhD, Senior Researcher (JSC "Institute of Geography and Water Security",
Almaty, Kazakhstan; gulnara.aldazhanova@mail.ru)

³ Doctoral student (Al-Farabi Kazakh National University, Almaty, Kazakhstan; hat_0512@mail.ru)

⁴ Master's student (Al-Farabi Kazakh National University, Almaty, Kazakhstan; batir102@mail.ru)

ASSESSMENT OF AGRO-CLIMATIC RESOURCES OF ZHETYSU REGION OF THE REPUBLIC OF KAZAKHSTAN

Abstract. The article presents the results of an assessment of the agro-climatic resources of the Zhetysu region, which was conducted on the basis of field research and GIS data. Maps of climatic meteorological parameters on a scale of 1:1,000,000 have been developed. To prepare thematic climate maps, an information and analytical database was compiled for a multi-year period of time for meteorological stations located in various agro-climatic regions of the region, which presents the results of climatological processing of the results at meteorological stations over a multi-year observation period (from 1891 to 2000, as well as new data from 2001-2024). The assessment of moisture availability was based on the Selyaninov hydrothermal index (GTK), and heat availability was based on the sum of temperatures above 10°C. The results of the assessment of changes in the average annual air temperature by weather stations showed that over the past 25 years, there has been a slight increase in air temperature in the region, especially in summer. An increase in air temperature in summer can have a serious impact on pasture biodiversity, plant life cycle and productivity. Based on the average annual air temperature data, we assessed the heat supply of the growing season, which affects the productivity of pasture lands, and assessed the aridity of the region, which contributes to the processes of land degradation and desertification of the territory. Four zones have been identified in terms of moisture conditions: very dry (GTK = 0.2-0.3); dry (GTK = 0.3-0.5); very arid foothills (GTK = 0.6-0.9); mountainous zone (GTK = >1.9).

Keywords: mapping, agro-climatic resources, precipitation, temperature, humidity, snow cover.

<https://doi.org/10.55764/2957-9856/2026-1-97-107.9>

MPHTI 39.27.17
УДК 556; 551.583

Ж. К. Наурузбаева^{*1}, М. А. Жунисова², Н. Е. Рахматулла³

¹ *PhD, руководитель лаборатории региональных климатических изменений
(АО «Институт географии и водной безопасности», Алматы, Казахстан; naurozbaeva.zhanar@mail.ru)

² Научный сотрудник лаборатории региональных климатических изменений
(АО «Институт географии и водной безопасности», Алматы, Казахстан; makpal80@mail.ru)

³ Младший научный сотрудник лаборатории региональных климатических изменений
(АО «Институт географии и водной безопасности», Алматы, Казахстан; nurkanat.rakhmatulla@mail.ru)

КЛИМАТИЧЕСКИЕ ИЗМЕНЕНИЯ ЮЖНОГО КАСПИЯ И ИХ ВЛИЯНИЕ НА УРОВЕНЬ МОРЯ

Аннотация. Приведены результаты исследования влияния климатических изменений и макромасштабных процессов атмосферной циркуляции на уровеньный режим Южного Каспия. На основе анализа данных метеорологических станций Ирана и Туркменистана за 1961–2024 гг. выявлены устойчивые тренды повышения температуры воздуха и трансформации водного баланса региона. Особое внимание уделено корреляционному анализу связи уровня моря с формами циркуляции по классификации Вангенгейма-Гирса и индексом североатлантического колебания (NAO). Установлено, что доминирующим предиктором трансгрессивных фаз уровня моря является западный тип циркуляции (W), тогда как восточный тип (E) выступает ключевым фактором регрессий. Выявлена выраженная сезонная детерминация этих связей с максимумом интенсивности в зимний период. Результаты работы имеют практическую значимость для прогнозирования гидрологических рисков и разработки адаптационных стратегий в прибрежных зонах Ирана и Туркменистана.

Ключевые слова: Каспийское море, Южный Каспий, уровень моря, атмосферная циркуляция, формы Вангенгейма-Гирса, индекс NAO, климатические изменения, водный баланс.

Введение. Каспийское море представляет собой крупнейший на планете замкнутый бассейн, гидрологический режим которого демонстрирует исключительную чувствительность к вариациям глобальной циркуляции атмосферы и долгопериодным изменениям уровня моря. В последние десятилетия в Каспийском регионе фиксируются значительные межгодовые и междесятилетние флуктуации уровня, детерминированные комплексным взаимодействием температурных аномалий, режима атмосферных осадков, интенсивности эвапотранспирации (испарения) и общего водного баланса. Особую актуальность приобретает изучение данных процессов в Южном Каспии, который отличается высокой концентрацией прибрежной инфраструктуры, нефтегазовых объектов, портовых сооружений и уязвимых экосистем.

В рамках исследования предполагается провести анализ многолетних колебаний уровня Каспийского моря, изменения климатических показателей. Особое внимание уделяется изучению влияния общей циркуляции атмосферы на климатические условия региона и уровень моря, выявлению взаимосвязей между атмосферными циркуляционными процессами и колебаниями уровня Каспийского моря, а также оценке роли совокупности климатических и гидрологических факторов в современных и долгосрочных изменениях уровня моря.

Анализ климатических характеристик в южной части Каспийского моря показывает, что в регионе наблюдаются устойчивые тенденции повышения температуры воздуха и изменений режима атмосферных осадков, что способствует увеличению испарения и трансформации водного баланса. Такие изменения оказывают влияние на колебания уровня моря через изменение соотношения между притоком и потерями воды.

Согласно результатам исследования [1], сочетанное влияние глобальных климатических изменений и интенсивной хозяйственной деятельности на территории Ирана провоцирует значимые флуктуации гидрологического режима рек, что непосредственно отражается на приходной части водного баланса и морфометрических характеристиках южного бассейна. Эти

выводы находят подтверждение в материалах профильных международных конференций, где подчеркивается, что физико-химические параметры южной шельфовой зоны, в частности прибрежных районов Северного Ирана, демонстрируют высокую чувствительность к региональной климатической волатильности. Эта изменчивость выступает ключевым фактором, определяющим динамику уровня и специфику гидродинамических процессов в рассматриваемой акватории [2]. Сложность и многофакторность происходящих климато-гидрологических трансформаций обуславливают необходимость углубления межправительственного сотрудничества прикаспийских государств, включая Иран и Туркменистан. В рамках реализации совместных научно-исследовательских программ осуществляются верификация долгосрочных климатических трендов и оценка их последствий для уровня моря. Подобные инициативы направлены на формирование научно обоснованной базы для разработки адаптационных стратегий, минимизирующих экологические и экономические риски в условиях нестабильности гидрологического состояния бассейна [3].

Анализ крупномасштабных атмосферных процессов выявляет их определяющую роль в формировании климатических условий Прикаспийского региона, где динамика циркуляции детерминирует пространственное распределение осадков и температурный режим, непосредственно влияя на составляющие водного баланса акватории [4]. С учетом географической специфики южная часть бассейна, охватывающая побережья Ирана и Туркменистана, характеризуется прогрессирующей аридизацией и интенсивным испарением, что диктует необходимость комплексного изучения метеорологических параметров в тесной корреляции с речным стоком и морской атмосферной циркуляцией [5].

Исследования подтверждают, что экстремальные флуктуации уровня Каспийского моря сопряжены с масштабной перестройкой струйных течений и трансформацией бароклиновой структуры атмосферы, модулирующей режим увлажнения региона. В периоды трансгрессии уровня отмечается рост частоты явлений, связанных с южной осцилляцией (ENSO), что интенсифицирует влагонакопление и увеличивает объем региональных осадков. При этом взаимодействие в системе «море–атмосфера» носит двусторонний характер, где изменение размеров водоема потенциально способно трансформировать глобальные циркуляционные процессы [6].

Существенное воздействие на гидроклиматическую изменчивость Ирана, в частности его северных и западных областей, оказывают глобальные океано-атмосферные индексы, такие как ENSO, AMO, NAO и AO, демонстрирующие статистически значимую связь с периодичностью осадков и засухливых циклов. Особую прогностическую ценность представляют выявленные асинхронные взаимосвязи между индексами циркуляции и климатическими параметрами, которые выражены сильнее синхронных зависимостей. Это позволяет повысить точность моделирования будущих гидрологических изменений в прикаспийской зоне [7]. Синоптический анализ суточных типов атмосферной циркуляции подтверждает, что гидротермический режим Ирана детерминирован характером адвекции воздушных масс: влажные периоды в северных и западных регионах обусловлены циклональной деятельностью восточносредиземноморских и красноморских депрессий, в то время как доминирование субтропических антициклонов инициирует продолжительную аридизацию [8].

В последние десятилетия фиксируется усиление влияния глобальных связей на формирование экстремальных климатических явлений. Анализ комплексных индексов засухи указывает на рост интенсивности и пространственного охвата аридных периодов после 2000 года, что связывается с синергетическим взаимодействием индексов ENSO, NAO и PDO, свидетельствуя о нарастающей климатической нестабильности в Прикаспийском регионе [9]. Разработка специализированных региональных индексов циркуляции, базирующихся на аномалиях температуры поверхности моря и геопотенциальной высоты, позволяет более точно идентифицировать климатические скачки и долгосрочные тренды, обусловленные глобальным потеплением [10]. Несмотря на то, что южное побережье Каспия остается наиболее увлажненной зоной Ирана с максимальными годовыми суммами осадков, здесь также прослеживается устойчивая тенденция к росту температур и трансформации сезонного распределения влаги [11, 12].

Аналогичные деструктивные процессы наблюдаются на территории Туркменистана, где экстремальная континентальность и высокая аридность определяют исключительную уязвимость экосистем к водному дефициту. Прогнозируемое усиление засухливости и сокращение осадков на

фоне повышения температур ведут к учащению засух и интенсификации процессов опустынивания. С учетом того, что устойчивое функционирование агроландшафтов региона критически зависит от искусственного орошения и стока реки Амудария, текущие климатические изменения создают долгосрочные риски для стабильного водообеспечения и экологической безопасности страны [13, 14].

Современные исследования динамики уровня Каспийского моря показывают, что его многолетние колебания формируются под воздействием совокупности климатических и антропогенных факторов. В длительных временных рядах выявлены устойчивые квазициклические компоненты наряду с вековым трендом, что позволяет использовать их при построении прогнозных моделей [15]. Существенную роль играет атмосферная циркуляция: изменения характеристик ветрового режима и их связь с крупномасштабными климатическими индексами отражаются на межгодовой изменчивости уровня моря [16].

Значимым фактором остаются атмосферные осадки в бассейне, демонстрирующие положительную корреляцию с уровнем, хотя в условиях современного потепления устойчивость этих связей ослабевает [17]. Одновременно в южной части бассейна, включая территорию Ирана, отмечается сокращение речного притока, обусловленное преимущественно антропогенным воздействием, что усиливает тенденцию к снижению уровня [18]. В целом колебания уровня рассматриваются как результат многофакторного взаимодействия геологических, климатических и хозяйственных процессов при доминирующей роли климатической изменчивости [19].

Практическая значимость исследования заключается в возможности использования полученных результатов для оценки и прогнозирования изменений уровня Каспийского моря в условиях современного климатического потепления. Установленные закономерности влияния климатических факторов на уровень моря могут быть использованы при разработке региональных сценариев изменения водного баланса южной части Каспийского бассейна.

Материалы и методы. В работе использован комплексный подход, основанный на анализе климатических данных в целях современной оценки взаимосвязи общей циркуляции атмосферы и колебаний уровня южного сектора Каспийского моря.

Исследование выполнено в 1961-2024 гг., в качестве исторического базового периода принят интервал 1961-1990 гг., а современный климатический базовый период охватывает 1991-2020 гг. [20]. Такой подход позволит выявить долгосрочные изменения и оценить отклонения современных условий от климатической нормы. В анализе были использованы следующие метеорологические элементы: температура воздуха, атмосферные осадки, скорость ветра, относительная влажность воздуха, а также данные об уровне Каспийского моря в южном секторе (таблица 1).

Таблица 1 – Основные сведения о метеорологических станциях Южного Каспия
Table 1 – Basic information about meteorological stations in the Southern Caspian Sea

Метеорологическая станция	Широта	Долгота	Высота МС над ур. моря, м
Огурчинский	39.10	53.10	-26.00
Кара-Богаз-Гол	41.05	52.92	-22.00
Энзели	37.47	49.46	-26.00
Туркменбаши	40.68	53.00	89.00

Исходной информационной базой послужили данные Координационного комитета по гидрометеорологии Каспийского моря. Архивные и фактические данные о погоде были взяты из сводок SYNOP и METAR, которые являются международными стандартными форматами метеорологических наблюдений метеостанций. Эти сводки участвуют в международном обмене данными метеослужб и публикуются в автоматизированных базах данных [21].

Для выявления климатических изменений применялись методы статистического анализа [22], включая расчет средних многолетних значений, аномалий относительно базового периода [23], линейных трендов и коэффициентов вариации [24]. Сравнительный анализ показателей базового и современного периодов позволил оценить пространственно-временные особенности изменения климатических характеристик и их влияние на гидрологический режим. Воздействие общей

циркуляции атмосферы оценивалось на основе анализа повторяемости и сезонной изменчивости основных типов атмосферной циркуляции [25], а также их связи с изменениями температуры, осадков, ветрового режима и уровня Каспийского моря. Для установления взаимосвязей между атмосферными процессами, климатическими параметрами и колебаниями уровня моря использовались корреляционный и регрессионный анализы [26].

Пространственные особенности климатических условий Южного Каспия анализировались с применением картографического метода и обобщения данных по отдельным физико-географическим районам [27]. Полученные результаты позволили комплексно оценить роль климатических и атмосферных факторов в формировании современных изменений уровня Каспийского моря и гидрометеорологических условий прибрежной зоны.

Результаты исследования. Термический режим Ирана определяется взаимодействием географических условий, особенностей рельефа, циркуляции атмосферы и радиационных процессов, что придает ему ярко выраженную неоднородность в пространственном отношении. Зимой в районах вдоль побережья Каспийского моря (в частности, Северо-Иран, провинции Гилан, Мазандаран) отмечаются мягкие зимы с умеренными отрицательными температурами лишь на возвышенностях благодаря влиянию морской акватории, которая смягчает ночные холода и уменьшает амплитуду температурного колебания. В центральных и восточных районах зимой температура опускается значительно ниже нуля, особенно в горных хребтах (Загрос), где могут быть сильный мороз и устойчивый снежный покров. Летом в южных, юго-восточных и центральных низменностях наблюдаются высокие среднесуточные и максимальные температуры, часто свыше 35-40 °С; при этом ночные температуры могут быть ниже, особенно в пустынных областях.

Термический режим Туркменистана характеризуется резко континентальными условиями и большими сезонными амплитудами температуры воздуха, что показывает высокую континентальность климата и существенно влияет на природные и хозяйственные процессы. Средние температуры летом составляют +30 – +35 °С, тогда как зимой – от –2 до +5 °С, с понижением в северных районах.

Проведен анализ долгопериодных колебаний уровня Каспийского моря в контексте динамики крупномасштабных циркуляционных процессов Северного полушария. Установлено, что региональные климатические условия, определяющие водный баланс бассейна, в значительной степени детерминированы доминированием конкретных форм атмосферной циркуляции.

Методологической основой анализа послужила типизация макроциркуляционных процессов по классификации Вангенгейма-Гирса, позволяющая количественно оценить повторяемость западной (W), восточной (E) и меридиональной (C) форм переноса. Для выявления физически обоснованных закономерностей рассчитаны коэффициенты корреляции между индексами циркуляции и вариациями уровня моря за период 1961–2024 гг. (таблица 2). Полученные результаты позволяют верифицировать устойчивость взаимосвязей в системе «атмосферная циркуляция - уровенный режим» и оценить степень отклика морской поверхности на макромасштабные атмосферные перестройки.

На основе корреляционного анализа выявлены статистически значимые закономерности влияния макроциркуляционных процессов по классификации Вангенгейма-Гирса на уровенный режим Южного Каспия. Установлено, что определяющую роль в межгодовой и сезонной изменчивости уровня играют зональная форма циркуляции W и меридиональная E, в то время как вклад типа C остается малозначимым (от -0,10 до 0,21).

Тип W (зональная западная циркуляция) демонстрирует устойчивую положительную корреляцию на всех станциях, $R = 0,28-0,74$. Максимальный отклик уровня наблюдается зимой (до 0,74) и весной ($R = 0,47-0,57$), что подтверждает систематический рост уровня при усилении западного переноса. Восточный тип (E) характеризуется стабильной отрицательной связью ($R = -0,15...-0,67$). Наиболее выраженное снижение уровня при доминировании восточных процессов фиксируется в зимний период (до -0,67), сохраняя значимость летом и весной (до -0,56).

Интенсивность выявленных связей достигает максимума в холодное полугодие, что обусловлено ростом барических градиентов и усилением ветрового воздействия на водную поверхность. Физический механизм зависимости реализуется через динамические процессы: преобладание типа W активизирует западный перенос и штормовую активность, провоцируя нагонные явления, тогда как тип E инициирует устойчивые стгонные процессы. Ослабление корреляции

Таблица 2 – Коэффициенты корреляции количества дней с формами циркуляции Вангенгейма-Гирса и уровня Южного Каспия за период 1961-2024 гг.

Table 2 – Correlation coefficients between the number of days with Wangenheim-Girs circulation patterns and the South Caspian Sea level for the period 1961–2024

МС	Тип циркуляции	Год	Зима	Весна	Лето	Осень
Энзели	E	-0,67	-0,47	-0,56	-0,37	-0,28
	W	0,74	0,56	0,55	0,40	0,38
	C	0,06	-0,04	0,21	0,01	-0,07
Туркменбаши	E	-0,60	-0,52	-0,41	-0,39	-0,22
	W	0,67	0,48	0,53	0,43	0,32
	C	0,04	0,15	0,02	-0,02	-0,10
Кара-Богаз-Гол	E	-0,58	-0,42	-0,38	-0,40	-0,23
	W	0,66	0,40	0,51	0,44	0,34
	C	0,02	0,11	0,00	-0,02	-0,09
Огурчинский	E	-0,59	-0,51	-0,47	-0,39	-0,15
	W	0,65	0,53	0,57	0,42	0,28
	C	0,12	0,04	0,06	0,02	-0,15

лений в летний период (до $R = 0,28-0,44$ для типа W) объясняется снижением интенсивности западного переноса и возрастающей ролью локальных термических факторов. Таким образом, зональные преобразования атмосферы являются доминирующим предиктором колебаний уровня моря в исследуемом регионе, обеспечивая наиболее тесную связь в зимний сезон. В целом максимальная интенсивность корреляционных связей наблюдается в холодный период года, тогда как в теплое полугодие их величина уменьшается.

Таким образом, зимне-весенний период оказался более интересным для детального анализа. Для побережья со стороны Ирана в качестве примера представлена станция Энзели, а со стороны Туркменистана – Туркменбаши. Анализ временных рядов показывает, что в зимний сезон восточный тип циркуляции (E) в целом демонстрирует обратную связь с межгодовыми колебаниями уровня Каспийского моря. Периоды повышенной повторяемости восточного переноса, особенно в 1960-1970-е и отдельные годы 1990-х, как правило, совпадают с фазами пониженного или стагнирующего уровня моря. Усиление восточного типа циркуляции в зимнее время отражает доминирование континентальных антициклонов, что сопровождается ослаблением циклонической активности, снижением суммарных осадков в бассейне питания Каспия и усилением зимнего испарения над акваторией моря (рисунок 1).

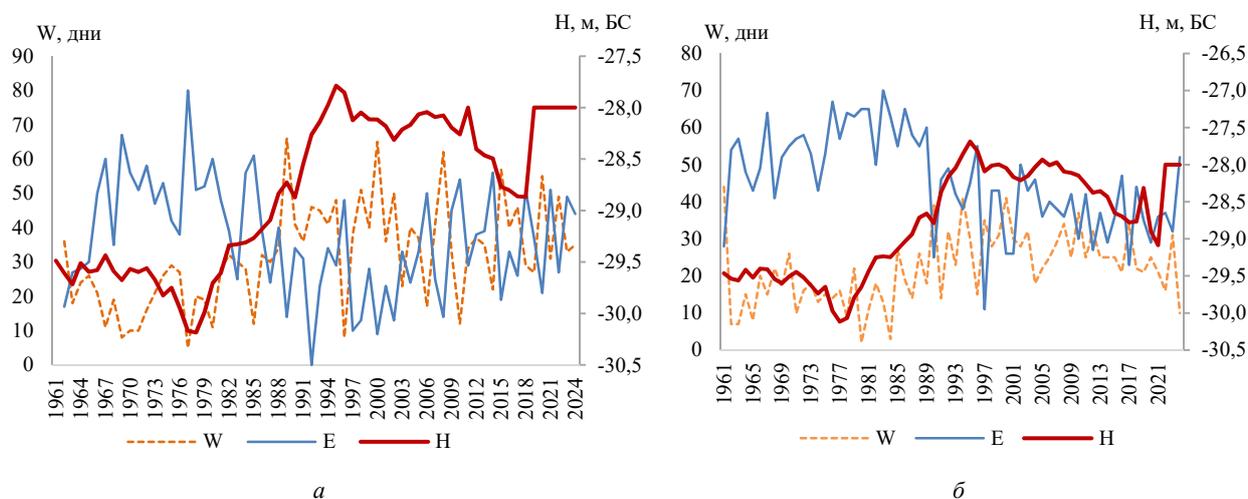


Рисунок 1 – Временной ход типов циркуляции W, E и уровня моря на МС Энзели: а – зимой; б – весной

Figure 1 – Time series of circulation types W, E and Sea level at MS Enzeli: a – in winter; b – in spring

Западный тип циркуляции (W), напротив, характеризуется преимущественно положительной связью с уровнем моря. В зимний период увеличение повторяемости западного переноса совпадает с фазами стабилизации и роста уровня Каспия, особенно заметными с конца 1980-х до начала 2000-х годов. Это указывает на ведущую роль атлантической циклонической активности, обеспечивающей поступление влажных воздушных масс и рост зимних осадков, прежде всего в бассейне Волги, что способствует увеличению притока пресных вод и формированию трансгрессивных фаз уровня моря.

Весной сохраняется отрицательная направленность связи восточного типа циркуляции (E) с уровнем Каспийского моря, однако она проявляется несколько слабее, чем в зимний сезон. Рост повторяемости восточного переноса в отдельные годы сопровождается замедлением весеннего подъема уровня моря или его снижением. Это связано с тем, что преобладание континентальных воздушных масс весной ограничивает количество осадков и может способствовать преждевременному таянию снега без последующего эффективного пополнения речного стока (рисунок 2). Западный тип циркуляции (W) в весенний период также демонстрирует устойчивую положительную связь с уровнем моря. Периоды его усиления, особенно в 1990-е и начале 2000-х годов, совпадают с фазами повышения уровня Каспия. Весной западный перенос способствует развитию активной циклонической деятельности, увеличению осадков и более равномерному формированию половодья, что усиливает приток воды в море.

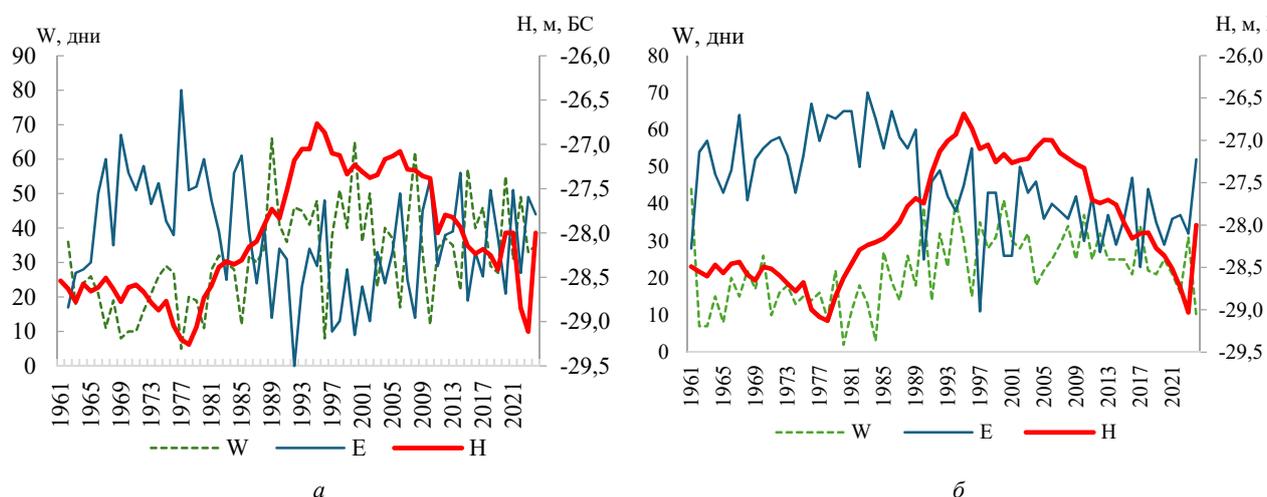


Рисунок 2 – Временной ход типов циркуляции W, E и уровня моря на МС Туркменбаши: а – зимой; б – весной
 Figure 2 – Time series of circulation types W, E and Sea level at Turkmenbashi MS: a – in winter; b – in spring

Следует отметить, что в весенний сезон влияние циркуляционных факторов на уровень моря частично модифицируется гидрологическими процессами в речных бассейнах, однако атмосферная циркуляция по-прежнему остается одним из ключевых регулирующих факторов.

Таким образом, данные метеостанции Энзели подтверждают, что восточный тип циркуляции выступает фактором регрессивных фаз уровня Каспийского моря, тогда как западный тип циркуляции играет ведущую роль в формировании трансгрессивных тенденций, особенно в холодный и переходный периоды года. Зимний сезон характеризуется наибольшей выраженностью этих связей, тогда как весной их проявление несколько сглаживается под воздействием сезонных гидрологических процессов.

Анализ зимних рядов на станции Туркменбаши свидетельствует о наличии устойчивой отрицательной связи между восточным типом циркуляции (E) и уровнем Каспийского моря. Периоды повышенной повторяемости восточного переноса, особенно в 1960–1970-е годы и в отдельные фазы 2000-х, преимущественно соответствуют пониженным уровням моря либо его стагнации. Усиление восточной циркуляции в зимний сезон отражает активизацию континентального антициклогенеза над внутренними районами Евразии, что сопровождается поступлением сухих холодных воздушных масс, сокращением осадков в бассейне питания Каспия и усилением испарения над акваторией моря. В совокупности это формирует дефицит водного баланса и способствует

развитию регрессивных фаз уровня. Западный тип циркуляции демонстрирует положительную направленность связи с уровнем моря. В зимний период рост повторяемости западного переноса, особенно в конце 1980-х – 1990-х годах, совпадает с фазой подъема уровня Каспия. Доминирование западных потоков связано с усилением циклонической деятельности и адвекцией влажных атлантических воздушных масс, что приводит к увеличению количества зимних осадков в бассейне Волги и других притоков. Это способствует росту речного стока и формированию трансгрессивных тенденций уровня моря. В зимний сезон на станции Туркменбаши проявляется наиболее хорошая циркуляционно-уровенная зависимость, что подтверждает ведущую роль холодного периода в формировании годового водного баланса Каспия.

Весной на побережье Туркменистана характер взаимосвязей в целом сохраняется, однако выраженность несколько сглаживается (см. рисунок 2). Восточный тип циркуляции (Е) по-прежнему характеризуется преимущественно отрицательной корреляцией с уровнем моря. В годы усиления восточного переноса отмечается тенденция к стабилизации или снижению уровня, что связано с преобладанием сухих континентальных воздушных масс, ограничением осадков в водосборной области и возможным усилением испарительных процессов. Таким образом, для станции Туркменбаши подтверждается закономерность, согласно которой восточный тип циркуляции выступает атмосферным фактором регрессивных фаз уровня Каспийского моря, тогда как западный тип циркуляции является ключевым механизмом формирования трансгрессивных тенденций. Наиболее выраженная циркуляционно-уровенная связь проявляется в зимний период, тогда как весной она несколько ослабевает под влиянием сезонных гидрологических процессов.

Кроме форм общей циркуляции атмосферы в работе был использован индекс NAO (североатлантическое колебание). В таблице 3 представлены результаты коэффициентов корреляции индекса циркуляции NAO с уровнем моря на всех станциях за период 1961-2024 гг.

Таблица 3 – Коэффициент корреляции индекса циркуляции NAO с уровнем моря за период 1961-2024 гг.

Table 3 – Correlation coefficient between the NAO circulation index and Sea level for the period 1961–2024

МС	Год	Зима	Весна	Лето	Осень
Энзели	0,08	0,41	0,13	-0,22	-0,28
Туркменбаши	0,09	0,29	0,17	-0,10	-0,15
Кара-Богаз-Гол	0,05	0,23	0,19	-0,12	-0,14
Огурченский	0,09	0,34	0,14	-0,12	-0,15

Результаты корреляционного анализа между индексом циркуляции NAO и уровнем Каспийского моря, рассчитанные за период 1961–2024 гг. по данным МС Энзели, Туркменбаши, Кара-Богаз-Гол и Огурченский, показывают выраженную сезонную неоднородность влияния крупномасштабной атмосферной циркуляции.

В годовом масштабе коэффициенты корреляции имеют малые положительные значения ($R = 0,05-0,09$), что указывает на слабую линейную связь между индексом NAO и межгодовой изменчивостью уровня моря. Это подтверждает, что влияние NAO реализуется не напрямую, а через сезонные изменения гидрометеорологических условий. Наиболее значимые положительные корреляции выявлены в зимний период, когда значения R достигают $0,23-0,41$. В этот период усиление западного переноса и изменения температурного режима и осадков способны оказывать косвенное влияние на водный баланс моря. В весенний период коэффициенты корреляции сохраняют положительный знак, однако их величина незначительная. В летний и осенний периоды на всех станциях наблюдается отрицательная корреляция, что связано с доминированием процессов испарения и усилением роли локальных климатических факторов. Полученные результаты подтверждают, что воздействие индекса NAO на уровень Южного Каспия носит сезонно обусловленный характер.

Детальный анализ проведен для зимне-весеннего периода (рисунок 3).

В 1960-1970-е годы преобладали отрицательные фазы NAO и низкие отметки уровня моря, сменившиеся с начала 1980-х годов переходом к положительным фазам и резким подъемом уровня, достигшим максимума в первой половине 1990-х годов. Этот период продемонстрировал

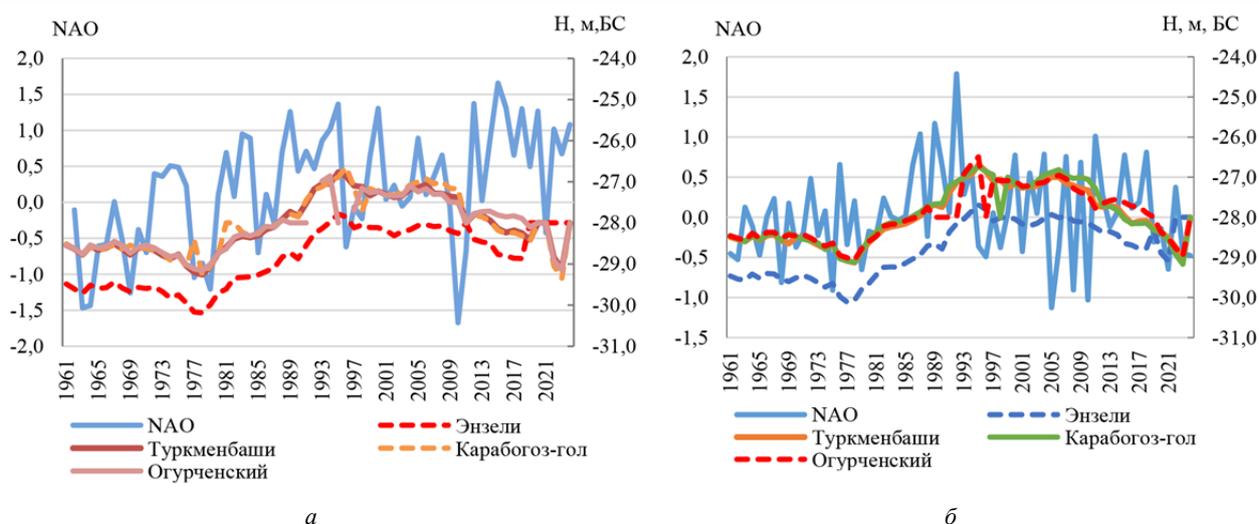


Рисунок 3 – Временной ход индекса NAO и уровня моря: а – зимой; б – весной
 Figure 3 – Time series of the NAO index and Sea level: a – in winter; b – in spring

усиление климатического влияния зимней атмосферной циркуляции на всех станциях. С конца 1990-х годов устойчивый тренд сменился высокой межгодовой изменчивостью, при которой зимние экстремумы NAO отражаются в уровне моря синхронно, но в сглаженном виде.

В весенний период связь между индексом и уровнем моря сохраняется, однако после 1995 года она заметно ослабевает: при высокой повторяемости NAO динамика уровня остается более стабильной. Такая рассинхронизация обусловлена возрастающей ролью региональных факторов – изменением условий речного стока, активизацией испарения и локальным перераспределением тепла и влаги. Таким образом, влияние крупномасштабной циркуляции на уровень Каспийского моря доминирует в зимний период и закономерно нивелируется весной под воздействием местных гидрометеорологических процессов.

Обсуждение. Анализ многолетней динамики гидрометеорологических показателей Южного Каспия подтверждает гипотезу о ведущей роли макроциркуляционных процессов Северного полушария в формировании уровня режима замкнутого бассейна. Полученные результаты демонстрируют, что западный перенос (тип W) выступает основным фактором повышения уровня моря. Физический механизм данной связи обусловлен активизацией атлантических циклонов, обеспечивающих приток влаги в бассейн Волги, что влияет на рост речного стока и развитие нагонных явлений в южной акватории. А доминирование восточной формы циркуляции (тип E) инициирует устойчивые регрессивные фазы. Усиление континентального антициклоногенеза над Евразией в эти периоды приводит к дефициту осадков и интенсификации испарения, что особенно критично для аридных побережий Туркменистана и Ирана. Стоит отметить, что влияние меридиональной формы (тип C) оказалось статистически малозначимым, что позволяет исключить данный фактор из числа приоритетных предикторов при краткосрочном моделировании. Особый интерес представляет выявленная сезонная асимметрия отклика морской поверхности на атмосферные воздействия. Максимальная теснота связи (R до 0,74) фиксируется в зимний период, что объясняется ростом барических градиентов. В весенне-летний период влияние циркуляционных индексов (включая NAO) нивелируется за счет возрастающей роли локальных факторов: термической трансформации воздушных масс, испарения и специфики формирования речного половодья. Ослабление корреляции с индексом NAO после 1995 года указывает на возможную перестройку региональных климатических механизмов под влиянием глобального потепления, что требует дальнейшего изучения с применением нелинейных моделей.

Заключение. Проведенное исследование климатических условий и уровня режима Южного Каспия позволяет сформулировать следующие выводы:

1. В регионе наблюдается устойчивая тенденция к аридизации и повышению температуры воздуха, что ведет к трансформации структуры водного баланса и усилению испарения в прибрежных зонах Ирана и Туркменистана.

2. Установлена высокая чувствительность уровня Каспийского моря к формам атмосферного переноса. Западный тип (W) является индикатором трансгрессивных тенденций, в то время как восточный тип (E) достоверно коррелирует с фазами снижения уровня.

3. Влияние североатлантического колебания на уровень моря носит сезонный характер и наиболее выражено зимой ($R = 0,23-0,41$), выполняя роль косвенного регулятора через модуляцию путей влагопереноса.

4. Выявленные асинхронные и сезонные связи между макроциркуляционными индексами и уровнем моря могут служить основой для совершенствования региональных гидрологических прогнозов.

С учетом прогрессирующего опустынивания на восточном побережье и уязвимости инфраструктуры на южном результаты работы подчеркивают необходимость углубления межгосударственного мониторинга и разработки совместных адаптационных программ для минимизации социально-экономических рисков в условиях климатической нестабильности.

Финансирование. Исследование выполнено при финансовой поддержке Комитета науки Министерства науки и высшего образования Республики Казахстан по теме «Динамика ледового режима Каспийского моря и реки Жайык в условиях климатических изменений», № ИРН: AP26199145.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Nouri H., Ghayour H., Masoodian A., Azadi M., Ildoromi A. (2013) The effect of sea surface temperature and 2-m air temperature on precipitation events in the southern coasts of the Caspian Sea // *Mediterranean Journal of Social Sciences*. – No. 1(4). – P. 369-383
- [2] Komijani F., Chegini V., Siadatmousavi S. M. (2019) Seasonal variability of circulation and air–sea interaction in the Caspian Sea based on a high-resolution circulation model // *Journal of Great Lakes Research*. – No. 45(6). – P. 1113-1129. <https://doi.org/10.1016/j.jglr.2019.09.026>
- [3] Molavi-Arabshahi M., Arpe K., Leroy S. A. G. (2016) Precipitation and temperature of the southwest Caspian Sea region during the last 55 years: trends and teleconnections with large-scale atmospheric phenomena // *International Journal of Climatology*. – No. 36(5). – P. 2156-2172. <https://doi.org/10.1002/joc.4483>
- [4] Serykh I. V., Kostianoy A. G. (2020) Links of climate change in the Caspian Sea with the Atlantic and Pacific Oceans // *Russian Meteorology and Hydrology*. – No. 45(6). – P. 430-437. <https://doi.org/10.3103/S1068373920060060>
- [5] Hoseini S. M., Soltanpour M., Zolfaghari M. R. (2024) Climate change impacts on temperature and precipitation over the Caspian Sea // *International Journal of Water Resources Development*. – P. 1-26. <https://doi.org/10.1080/07900627.2024.2313050>
- [6] Molavi-Arabshahi M., Arpe K. Interactions between the Caspian Sea size (level) and atmospheric circulation // *International Journal of Climatology*. – 2022. – Vol. 42. – P. 9626-9640. <https://doi.org/10.1002/joc.7852>
- [7] Mohamadrezaei M., Soltani S., Modarres R. Evaluating the effect of ocean-atmospheric indices on drought in Iran // *Theoretical and Applied Climatology*. – 2020. – Vol. 140. – P. 219-230. <https://doi.org/10.1007/s00704-019-03058-6>
- [8] Ghassabi Z., Fattahi E., Habibi M. Daily Atmospheric Circulation Patterns and Their Influence on Dry/Wet Events in Iran // *Atmosphere*. – 2022. – Vol. 13, No. 1. – Art. 81. <https://doi.org/10.3390/atmos13010081>
- [9] Rezaei A. Ocean-atmosphere circulation controls on integrated meteorological and agricultural drought over Iran // *Journal of Hydrology*. – 2021. – Vol. 603. – Art. 126928. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2021.126928>
- [10] Ahmadi M., Salimi S., Hosseini S.A., Habibi M., Hosseinzadeh T., Yarmoradi Z. Introduction to New Synoptic Teleconnection Indexing and their relation to other global forcings and the climate of Iran // *Theoretical and Applied Climatology*. – 2025. – Vol. 156, No. 4. – Art. 226. <https://doi.org/10.1007/s00704-025-05446-7>
- [11] Najafi M. S., Alizadeh O. Climate zones in Iran // *Meteorological Applications*. – 2023. – Vol. 30, No. 5. <https://doi.org/10.1002/met.2147>
- [12] Sharafi S., Mir Karim N. Investigating trend changes of annual mean temperature and precipitation in Iran // *Arabian Journal of Geosciences*. – 2020. – Vol. 13. – Art. 05695. <https://doi.org/10.1007/s12517-020-05695-y>
- [13] Lioubimtseva E. Climate Change in Turkmenistan // *Handbook of Environmental Chemistry*. Springer, Berlin/ – Heidelberg, 2012. https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-94-011-1116-4_3
- [14] Nikolai S. O. Climate of Turkmenistan // *Monographiae Biologicae*. – Springer, 2019. https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-94-011-1116-4_3
- [15] Ермаков В. Б. Многолетние изменения уровня Каспийского моря и современные варианты их прогнозирования // *Известия Российской академии наук. Серия географическая*. – 2023. – Т. 87, № 6. – С. 930-940. <https://doi.org/10.31857/S2587556623060067>
- [16] Safarov E., Bayramov E., Safarov S., et al. Impact of changes in the wind regime on the Caspian sea level fluctuation and its relationship with SOI and NAO // *Scientific Reports*. – 2025. – Vol. 15. – Art. 36380. <https://doi.org/10.1038/s41598-025-20346-6>
- [17] Холопцев А. В., Наурызбаева Ж. К. Связи межгодовых вариаций среднемесячных уровней Каспия, а также сумм атмосферных осадков в его бассейне и их изменения при современном потеплении климата // *География и водные ресурсы*. – 2024. – № 3. – С. 21-36. <https://doi.org/10.55764/2957-9856/2024-3-21-36.23>

- [18] Sharifi A., Baubekova A., Patro E.R., Klöve B., Haghghi A.T. The combined effects of anthropogenic and climate change on river flow alterations in the Southern Caspian Sea region // *Heliyon*. – 2024. – Vol. 10, Issue 11. – Art. e31960. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e31960>
- [19] Mammadov R. M. Impact of Climate Changes on the Caspian Sea Level // *Journal of Resources and Ecology*. – 2015. – Vol. 6, No. 2. – P. 87-92. <https://doi.org/10.5814/j.issn.1674-764x.2015.02.004>
- [20] World Meteorological Organization. Guidelines on the Calculation of Climate Normals (WMO-No. 1203). – Geneva: WMO.
- [21] Dyakonov G. S., Ibrayev R. A. (2019) Long-term evolution of Caspian Sea thermohaline properties reconstructed in an eddy-resolving ocean general circulation model // *Ocean Science*. 15(3):527–541. <https://doi.org/10.5194/os-15-527-2019>
- [22] Wilks D. S. *Statistical Methods in the Atmospheric Sciences*. – 3rd ed. – Amsterdam: Academic Press, 2011. – P. 676.
- [23] *Climate Change 2021: The Physical Science Basis*. – Cambridge: Cambridge University Press, 2021. – P. 2391.
- [24] Kendall M. G. *Rank Correlation Methods*. – London: Griffin, 1975. – P. 202.
- [25] Дзердзеевский Б. Л. Циркуляционные механизмы в атмосфере Северного полушария в XX столетии. – М.: Гидрометеиздат, 1968. – С. 240.
- [26] Draper N. R., Smith H. *Applied Regression Analysis*. – 3rd ed. – New York: Wiley, 1998. – P. 736.

REFERENCES

- [1] Nouri H., Ghayour H., Masoodian A., Azadi M., Ildoromi A. (2013) The effect of sea surface temperature and 2-m air temperature on precipitation events in the southern coasts of the Caspian Sea // *Mediterranean Journal of Social Sciences*. No. 1(4). P. 369-383.
- [2] Komijani F., Chegini V., Siadatmousavi S. M. (2019) Seasonal variability of circulation and air–sea interaction in the Caspian Sea based on a high-resolution circulation model // *Journal of Great Lakes Research*. No. 45(6). P. 1113-1129. <https://doi.org/10.1016/j.jglr.2019.09.026>
- [3] Molavi-Arabshahi M., Arpe K., Leroy S. A. G. (2016) Precipitation and temperature of the southwest Caspian Sea region during the last 55 years: trends and teleconnections with large-scale atmospheric phenomena // *International Journal of Climatology*. No. 36(5). P. 2156-2172. <https://doi.org/10.1002/joc.4483>
- [4] Serykh I. V., Kostianoy A. G. (2020) Links of climate change in the Caspian Sea with the Atlantic and Pacific Oceans // *Russian Meteorology and Hydrology*. No. 45(6). P. 430-437. <https://doi.org/10.3103/S1068373920060060>
- [5] Hoseini S. M., Soltanpour M., Zolfaghari M. R. (2024) Climate change impacts on temperature and precipitation over the Caspian Sea // *International Journal of Water Resources Development*. P. 1-26. <https://doi.org/10.1080/07900627.2024.2313050>
- [6] Molavi-Arabshahi M., Arpe K. Interactions between the Caspian Sea size (level) and atmospheric circulation // *International Journal of Climatology*. 2022. Vol. 42. P. 9626-9640. <https://doi.org/10.1002/joc.7852>
- [7] Mohamadrezaei M., Soltani S., Modarres R. Evaluating the effect of ocean-atmospheric indices on drought in Iran // *Theoretical and Applied Climatology*. 2020. Vol. 140. P. 219-230. <https://doi.org/10.1007/s00704-019-03058-6>
- [8] Ghassabi Z., Fattahi E., Habibi M. Daily Atmospheric Circulation Patterns and Their Influence on Dry/Wet Events in Iran // *Atmosphere*. 2022. Vol. 13, No. 1. Art. 81. <https://doi.org/10.3390/atmos13010081>
- [9] Rezaei A. Ocean-atmosphere circulation controls on integrated meteorological and agricultural drought over Iran // *Journal of Hydrology*. 2021. Vol. 603. Art. 126928. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2021.126928>
- [10] Ahmadi M., Salimi S., Hosseini S.A., Habibi M., Hosseinzadeh T., Yarmoradi Z. Introduction to New Synoptic Teleconnection Indexing and their relation to other global forcings and the climate of Iran // *Theoretical and Applied Climatology*. 2025. Vol. 156, No. 4. Art. 226. <https://doi.org/10.1007/s00704-025-05446-7>
- [11] Najafi M. S., Alizadeh O. Climate zones in Iran // *Meteorological Applications*. 2023. Vol. 30, No. 5. <https://doi.org/10.1002/met.2147>
- [12] Sharafi S., Mir Karim N. Investigating trend changes of annual mean temperature and precipitation in Iran // *Arabian Journal of Geosciences*. 2020. Vol. 13. Art. 05695. <https://doi.org/10.1007/s12517-020-05695-y>
- [13] Lioubimtseva E. Climate Change in Turkmenistan // *Handbook of Environmental Chemistry*. Springer, Berlin. Heidelberg, 2012. https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-94-011-1116-4_3
- [14] Nikolai S. O. Climate of Turkmenistan // *Monographiae Biologicae*. Springer, 2019. https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-94-011-1116-4_3
- [15] Ermakov V. B. Long-term changes in the level of the Caspian Sea and modern methods of forecasting them // *Proceedings of the Russian Academy of Sciences. Geography series*. 2023. Vol. 87, No. 6. P. 930-940. [https://doi.org/10.31857/\(in Russ.\)](https://doi.org/10.31857/(in Russ.))
- [16] Safarov E., Bayramov E., Safarov S., et al. Impact of changes in the wind regime on the Caspian sea level fluctuation and its relationship with SOI and NAO // *Scientific Reports*. 2025. Vol. 15. Art. 36380. <https://doi.org/10.1038/s41598-025-20346-6>
- [17] Kholoptsev A. V., Naurozbaeva Zh. K. Links between interannual variations in average monthly levels of the Caspian Sea, as well as atmospheric precipitation totals in its basin and their changes under current climate warming // *Geography and Water Resources*. 2024. No. 3. P. 21-36. <https://doi.org/10.55764/2957-9856/2024-3-21-36.23> (in Russ.).
- [18] Sharifi A., Baubekova A., Patro E. R., Klöve B., Haghghi A. T. The combined effects of anthropogenic and climate change on river flow alterations in the Southern Caspian Sea region // *Heliyon*. 2024. Vol. 10, Issue 11. Art. e31960. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e31960>
- [19] Mammadov R. M. Impact of Climate Changes on the Caspian Sea Level // *Journal of Resources and Ecology*. 2015. Vol. 6, No. 2. P. 87-92. <https://doi.org/10.5814/j.issn.1674-764x.2015.02.004>
- [20] World Meteorological Organization. Guidelines on the Calculation of Climate Normals (WMO-No. 1203). Geneva: WMO.

- [21] Dyakonov G. S., Ibrayev R. A. (2019) Long-term evolution of Caspian Sea thermohaline properties reconstructed in an eddy-resolving ocean general circulation model // *Ocean Science*. 15(3):527–541. <https://doi.org/10.5194/os-15-527-2019>
- [22] Wilks D. S. *Statistical Methods in the Atmospheric Sciences*. 3rd ed. Amsterdam: Academic Press, 2011. P. 676.
- [23] *Climate Change 2021: The Physical Science Basis*. Cambridge: Cambridge University Press, 2021. P. 2391.
- [24] Kendall M. G. *Rank Correlation Methods*. London: Griffin, 1975. P. 202.
- [25] Dzerzeevsky B. L. *Circulation Mechanisms in the Atmosphere of the Northern Hemisphere in the 20th Century*. Moscow: Hydrometeoizdat, 1968. P. 240 (in Russ.).
- [26] Draper N. R., Smith H. *Applied Regression Analysis*. 3rd ed. New York: Wiley, 1998. P. 736.

Ж. К. Наурызбаева^{*1}, М. А. Жунисова², Н. Е. Рахматулла³

¹ PhD, Аймақтық климаттық өзгерістер зертханасының меңгерушісі
(«География және су қауіпсіздігі институты» АҚ, Алматы, Қазақстан; naurozbaeva.zhanar@mail.ru)

² Аймақтық климаттық өзгерістер зертханасының ғылыми қызметкері
(«География және су қауіпсіздігі институты» АҚ, Алматы, Қазақстан; makpal80@mail.ru)

³ Аймақтық климаттық өзгерістер зертханасының кіші ғылыми қызметкері
(«География және су қауіпсіздігі институты» АҚ, Алматы, Қазақстан; nurkanat.rakhmatulla@mail.ru)

ОҢТҮСТІК КАСПИЙДІҢ КЛИМАТТЫҚ ӨЗГЕРІСТЕРІ ЖӘНЕ ОЛАРДЫҢ ТЕҢІЗ ДЕҢГЕЙІНЕ ӘСЕРІ

Аннотация. Мақалада климаттық өзгерістер мен атмосфералық айналымның макро масштабты процестерінің Оңтүстік Каспийдің деңгейлік режиміне әсерін зерттеу нәтижелері келтірілген. 1961–2024 жылдар кезеңінде Иран мен Түрікменстанның метеорологиялық станцияларының деректерін талдау негізінде ауа температурасының жоғарылауының және аймақтың су балансының өзгеруінің тұрақты тенденциялары анықталды. Вангенгейм-Гирс классификациясы және Солтүстік Атлантикалық тербеліс индексі (NAO) бойынша теңіз деңгейінің айналым формаларымен байланысын корреляциялық талдауға ерекше назар аударылады. Теңіз деңгейінің трансгрессивті фазаларының басым болжаушысы Батыс айналым түрі (W), ал Шығыс түрі (E) регрессияның негізгі факторы болып табылады. Бұл байланыстардың айқын маусымдық детерминациясы қыста максималды қарқындылықпен анықталды. Жұмыс нәтижелері Иран мен Түрікменстанның жағалау аймақтарында гидрологиялық тәуекелдерді болжау және бейімделу стратегияларын әзірлеу үшін практикалық маңызы бар.

Түйін сөздер: Каспий теңізі, Оңтүстік Каспий, теңіз деңгейі, атмосфералық айналым, Вангенгейм-Гирс формалары, NAO индексі, климаттық өзгеруі, су балансы.

Zh. K. Naurozbaeva^{*1}, M. A. Zhunissova², N. Ye. Rakhmatulla³

¹ PhD, Head of the Regional Climate Change Laboratory
(JSC «Institute of Geography and Water Security», Almaty, Kazakhstan; naurozbaeva.zhanar@mail.ru)

² Researcher of the Regional Climate Change Laboratory
(JSC «Institute of Geography and Water Security», Almaty, Kazakhstan; makpal80@mail.ru)

³ Junior Researcher, Regional Climate Change Laboratory
(JSC «Institute of Geography and Water Security», Almaty, Kazakhstan; nurkanat.rakhmatulla@mail.ru)

CLIMATE CHANGE IN THE SOUTHERN CASPIAN SEA AND ITS IMPACT ON SEA LEVEL

Abstract. The article presents the results of a study of the impact of climate change and large-scale atmospheric circulation processes on the level regime of the southern Caspian Sea. Based on an analysis of data from meteorological stations in Iran and Turkmenistan for the period 1961–2024, stable trends in air temperature increase and water balance transformation in the region have been identified. Particular attention is paid to the correlation analysis of the relationship between sea level and circulation patterns according to the Wangenheim-Girs classification and the North Atlantic Oscillation (NAO) index. It has been established that the dominant predictor of transgressive sea level phases is the western circulation type (W), while the eastern type (E) is a key factor in regressions. A pronounced seasonal determination of these relationships has been identified, with maximum intensity in the winter period. The results of the study are of practical importance for forecasting hydrological risks and developing adaptation strategies in the coastal areas of Iran and Turkmenistan.

Keywords: Caspian Sea, Southern Caspian, sea level, atmospheric circulation, Wangenheim-Girs forms, NAO index, climate change, water balance.

Экономическая география

Экономикалық география

Economical geography

<https://doi.org/10.55764/2957-9856/2026-1-108-115.10>

МРНТИ 39.21.25
УДК 911.3:327.8

Қ. М. Келгенбаев¹, Ш. М. Надыров², J. Robinson³, S. Young⁴, О. Б. Мазбаев*⁵

¹ PhD докторант (Казахский национальный университет им. аль-Фараби, Алматы, Казахстан; kushaayaguz@gmail.com)

² Д. г. н., профессор (Казахский национальный университет им. аль-Фараби, Алматы, Казахстан; scharipjan@mail.ru)

³ Профессор (Государственный университет Сейлем, Сейлем, Массачусетс, США; jrobinson2@salemstate.edu)

⁴ Профессор (Государственный университет Сейлем, Сейлем, Массачусетс, США; syoung@salemstate.edu)

⁵ *Д. г. н., профессор (Евразийский национальный университет им. Л. Н. Гумилева, Астана, Казахстан; ordenbek@mail.ru)

ГЕОГРАФИЯ МЕЖДУНАРОДНЫХ КОНФЛИКТОВ

Аннотация. Статья посвящена разработке методики и прикладных аспектов анализа географии международных конфликтов с использованием системы геополитических индикаторов. Актуальность исследования обусловлена ростом числа региональных и межрегиональных конфликтов, а также усложнением их пространственной структуры и факторов, влияющих на процессы эскалации. Предложен комплексный подход к типологизации международных геополитических конфликтов, основанный на трёхфакторной матрице, включающей хорологический (пространственно-временной), причинный и политико-управленческий компоненты. Ключевой элемент методики – выявление причинно-следственных связей, лежащих в основе формирования конфликтов, с учётом особенностей географического положения, политической инфраструктуры, а также экономических и этнокультурных предпосылок. Разработана концепция применения системы геополитических индикаторов как инструмента раннего предупреждения и упреждающего реагирования на потенциальные очаги напряжённости. Методология исследования основана на обобщении современных научных подходов к анализу конфликтов, а также на интеграции методов пространственного моделирования и геополитической диагностики.

Практическое значение работы заключается в возможности применения разработанной системы для оценки конфликтогенного потенциала отдельных территорий, прогнозирования динамики развития конфликтов и выработки эффективных политико-управленческих решений. Установленная взаимосвязь между политическими процессами и географическим контекстом подтверждает необходимость комплексного анализа геопропространственной природы международных конфликтов.

Результаты исследования могут быть использованы в рамках внешнеполитического планирования, мониторинга международной безопасности, а также в образовательной и научно-аналитической деятельности.

Ключевые слова: международные конфликты, геополитика, нейтрализация, геоэкономика, упреждение, индикаторы, географическая среда и положение, международное отношение, эскалация.

Введение. Международные конфликты представляют собой сложные социально-политические явления, формирующиеся под воздействием совокупности географических, исторических, экономических и культурных факторов. Современные исследования подчёркивают, что пространственное измерение конфликтов играет ключевую роль в их возникновении, эскалации и трансформации, что обуславливает необходимость междисциплинарного подхода, объединяющего политическую географию, геополитику и конфликтологию [1].

Актуальность изучения географии международных конфликтов существенно возрастает в условиях увеличения числа региональных и межрегиональных кризисов, усложнения их пространственной структуры и распространения гибридных форм противостояния, включающих политические, экономические, информационные и этнокультурные компоненты [2]. Современные конфликты всё чаще выходят за рамки классических межгосударственных столкновений и приобретают многоуровневый характер, что требует применения геопространственных методов анализа и прогнозирования [3].

Цель исследования заключается в разработке геопространственного подхода к анализу международных геополитических конфликтов и их типологизации на основе трёхфакторной аналитической матрицы:

- 1) **хорологический (пространственно-временной) компонент**, отражающий территориальную локализацию, масштаб и динамику конфликта;
- 2) **причинный (структурно-функциональный) компонент**, раскрывающий экономические, этнополитические и институциональные предпосылки конфликтогенеза;
- 3) **политико-управленческий компонент**, характеризующий роль государственных и надгосударственных акторов, механизмов принятия решений и инструментов регулирования [4].

Предлагаемая типология позволяет системно выявлять причинно-следственные связи, лежащие в основе формирования международных конфликтов, и определять ключевые геополитические индикаторы, сигнализирующие о росте напряжённости и вероятности эскалации. Использование системы геополитических индикаторов соответствует современным подходам к оценке конфликтного риска и раннему предупреждению кризисов, активно развиваемым в зарубежных исследованиях и международной практике [5].

В центре исследования – концептуализация типологии международных конфликтов на основе трёхфакторной аналитической матрицы, включающей хорологический (пространственно-временной), причинный (структурно-функциональный) и политико-управленческий компоненты. Такая типология позволяет системно раскрыть причинно-следственные связи, лежащие в основе конфликтогенеза, и определить ключевые индикаторы, сигнализирующие о нарастании международной напряжённости [6].

Особое внимание в работе уделяется геополитическим индикаторам как совокупности пространственных, экономических, этнополитических и управленческих факторов, определяющих характер, локализацию и динамику конфликтов. Анализ международной обстановки через призму таких индикаторов позволяет не только углубить теоретическое осмысление геопространственной природы конфликтов, но и разработать практические механизмы мониторинга и прогнозирования кризисных ситуаций.

Практическая значимость заключается в возможности применения разработанного подхода для оценки конфликтогенного потенциала отдельных территорий, прогнозирования развития международных конфликтов и выработки эффективных политико-управленческих решений. Это особенно актуально в контексте внешнеполитического планирования и обеспечения международной безопасности, включая учёт национальных интересов Республики Казахстан и её посреднической роли в региональных и глобальных процессах [7].

Материалы и методы исследования. Методологической основой исследования являются обобщение и критическое осмысление современных классификаций и концепций геополитических процессов, что позволяет сформировать научно обоснованный инструментарий пространственного анализа и моделирования конфликтных зон. Тем самым работа ориентирована не только на систематизацию теоретических подходов, но и на разработку прикладной аналитической платформы, потенциально применимой в деятельности международных и национальных структур, занимающихся мониторингом, прогнозированием и предотвращением конфликтов [8].

Анализ международных конфликтов в современном научном дискурсе предполагает опору на совокупность концепций, каждая из которых раскрывает отдельные аспекты природы и причинности конфликтных противостояний. В частности, теория территориальных притязаний рассматривает конфликты как форму борьбы за контроль над ключевыми территориями, природными ресурсами или стратегически значимыми узлами. Существенное значение также имеют геополитические подходы, акцентирующие влияние географического положения государств на особенности их внешнеполитического поведения и стратегические приоритеты.

Отдельного рассмотрения заслуживают экологические и ресурсные конфликты, формирующиеся в условиях дефицита жизненно важных природных ресурсов и усиления антропогенной нагрузки. В контексте этнокультурной напряжённости особое место занимают культурно-этнические конфликты, в которых территориальный фактор тесно переплетается с вопросами идентичности, исторической принадлежности и символического контроля над пространством [9].

В обобщённом виде, с точки зрения географических характеристик, международные конфликты могут быть типологизированы следующим образом:

- 1) **локальные и региональные**, ограниченные территорией одного государства или группы соседствующих стран;
- 2) **глобальные**, затрагивающие интересы мировых держав и международных организаций;
- 3) **территориальные и ресурсные**, связанные с конкуренцией за материальные блага, природные ресурсы и стратегические пространства.

Методологическая база настоящего исследования основана на интеграции теоретического анализа и прикладных методов пространственного исследования, что позволяет выявлять зоны потенциальной конфликтности и оценивать динамику их развития.

Эмпирическую основу исследования составляют следующие методы:

- 1) **геоинформационный анализ (ГИС)** – использование картографических и аналитических инструментов для идентификации конфликтных зон и выявления закономерностей распределения территориальных претензий;
- 2) **моделирование конфликтов** – построение сценариев развития конфликтных процессов на основе сочетания географических, политических и экономических параметров;
- 3) **картографический метод** – визуализация пространственных характеристик конфликтов и анализ их эволюции во времени и пространстве;
- 4) **метод экспертных оценок и опросов** – получение профессиональных суждений специалистов о причинах, структуре и возможных сценариях развития конкретных конфликтов;
- 5) **историко-географический анализ** – ретроспективное изучение конфликтов с целью выявления устойчивых пространственно-временных паттернов и факторов эскалации.

Разработанные методики и аналитические инструменты позволяют оперативно выявлять территории с высоким уровнем конфликтного потенциала, а также оценивать влияние географических факторов на вероятность эскалации конфликтов. Это создаёт предпосылки для разработки стратегий превентивного реагирования, минимизации рисков и повышения эффективности механизмов урегулирования. Интеграция пространственного анализа в контекст международных отношений обеспечивает более целостное понимание причин конфликтов и механизмов их трансформации – от локальных инцидентов до масштабных геополитических противостояний.

Результаты исследования. В итоге установлено, что типология геополитических конфликтов целесообразно выстраивается с учётом их пространственного масштаба и уровня вовлечённости политических акторов. В зависимости от этих параметров авторами выделены три основных типа геополитических конфликтов: микро-, мезо- и макроуровневые:

1. Микроуровневые межгосударственные конфликты – в них участвуют два политических субъекта. Конфликтная территория, как правило, имеет пограничное положение либо спорный правовой статус. Государства-участники обладают общей сухопутной или морской границей, а конфликт носит локализованный характер и ограничен сравнительно узким пространственным ареалом.

2. Мезоуровневые геополитические конфликты характеризуются участием трёх и более государств, расположенных в одном макрорегионе. Конфликтная территория может выступать как пограничной для всех участников, так и находиться вне непосредственного соприкосновения с их государственными границами. При этом государства-участники не обязательно являются соседями первого порядка, а конфликт приобретает региональный характер и многостороннюю структуру.

3. Макроуровневые геополитические конфликты охватывают государства, принадлежащие к различным макрорегионам. Число непосредственных участников может быть ограничено двумя или несколькими государствами, однако количество прямых и косвенных акторов, обладающих политическими, экономическими или стратегическими интересами, существенно возрастает. Конфликтная зона в таких случаях может располагаться как на территории одного или нескольких

участников, так и за пределами их государственных границ. Участники конфликта не обязательно имеют общие границы и могут находиться вне одного регионального пространства [10].

Представленная типология согласуется с положениями макросоциологического анализа конфликтов, в рамках которого подчёркиваются многоуровневый характер современных международных противостояний и их зависимость от пространственного масштаба и структуры вовлечённых акторов.

Типология геополитических конфликтов в этом исследовании представлена в виде трёх-факторной аналитической матрицы. По результатам анализа конфликты систематизированы по их генезису, стадиям развития и пространственной динамике. Такая матрица позволяет комплексно анализировать предпосылки возникновения конфликтов, этапы их эскалации и трансформации, а также изменения состава акторов и конфигурации конфликтных зон [11].

Причиной возникновения международных конфликтов всегда являлись и остаются неравномерное размещение природных ресурсов, территориальные споры, несовпадение интересов конфликтующих сторон, жесткая конкуренция, этноконфессиональные процессы. Ввиду множества причин мы остановились на трех основных факторах, обуславливающих возникновение конфликтных ситуаций (таблица 1).

Таблица 1 – Факторы, обуславливающие развитие международных конфликтов в зависимости от их уровня угроз.
Составлено авторами

Table 1 – Factors Contributing to the Development of International Conflicts, Depending on Their Level of Threat.
Compiled by the authors

Уровни развития конфликтов	Причины	Пример	Описание
Микро-уровень	Геостратегические	Сербия – Косово (обострение, 2024)	Усиление напряжённости на севере Косово, участие НАТО в стабилизации
	Природно-ресурсные	Конфликты в Нигерии (земельные споры между скотоводами и фермерами)	Борьба за пастбища и воду, обострённая климатическими изменениями и миграцией
	Этноконфессиональные	Израиль – Палестина (Сектор Газа, 2024–2025)	Продолжение вооружённого противостояния, рост числа жертв среди гражданского населения
Мезо-уровень	Геостратегические	Армения – Азербайджан (Зангезурский коридор, 2024)	Эскалация вокруг транспортного коридора через юг Армении. Вовлечённые стороны: Россия, Турция, Иран
	Природно-ресурсные	Эфиопия – Египет (водный спор по поводу плотины на Ниле, 2025)	Обострение из-за заполнения плотины «Возрождение» и угрозы водной безопасности в регионе
	Этноконфессиональные	Судан (война между ВС и силами быстрого реагирования, 2024–2025)	Вооружённый конфликт с этноплеменными элементами, гуманитарная катастрофа
Макро-уровень	Геостратегические	США – Китай (Тайвань, Южно-Китайское море, 2024–2025)	Усиление военной активности, учений и дипломатических конфликтов в Индо-Тихоокеанском регионе
	Природно-ресурсные	Россия – США, ЕС (энергетическая безопасность, Арктика, санкционные войны, 2025)	Противостояние вокруг контроля над арктическими ресурсами и маршрутами
	Этноконфессиональные	Глобальный рост исламофобии, радикализация в некоторых регионах Европы и Ближнего Востока	Не локализован как один конфликт, но наблюдается рост напряжённости и инцидентов в разных странах

В качестве иллюстративного примера аналитических возможностей предложенного подхода рассматривается конфликт между Украиной и Россией, наглядно отражающий многоуровневый и многофакторный характер современных геополитических конфликтов [12].

1. Масштаб и границы геополитического столкновения – боевые действия сосредоточены на территории Юго-Восточной Украины вдоль линии фронта, что отражает региональный, но при этом международно значимый характер конфликта.

2. Предмет геополитического противоречия – противостояние между сторонниками однополярного мира (в лице коллективного Запада) и многополярного подхода (который отстаивает Россия).

3. Форма протекания конфликта – открытое вооружённое противостояние с применением регулярных армий и широким международным вовлечением.

В качестве предмета геополитического конфликта в обобщённом виде рассматривается конкретное географическое пространство. При этом реальной причиной возникновения противоречий является не само пространство как таковое, а одна из его составляющих, представляющая политический, экономический или иной значимый интерес для участвующих государств. На примере израильско-палестинского конфликта можно наглядно проследить, как локальное противостояние на микроуровне может перерасти в глобальный геополитический конфликт. Это подтверждается следующими ключевыми индикаторами:

1. Масштаб и границы геополитического столкновения. Изначально конфликт имел узкую территориальную локализацию (Сектор Газа, Западный берег, Восточный Иерусалим), однако со временем география вовлечённых сторон расширилась – в него были втянуты страны региона (Иран, Египет, Сирия, Иордания, Ливан), а также внешние державы (США, ЕС, Россия, Китай). Это свидетельствует о переходе от локального к международному масштабу.

2. Предмет геополитического противоречия. Первоначально предметом конфликта выступали религиозные и этнические разногласия: контроль над святынями, территорией, признание государственности. Со временем в основе конфликта оказались геостратегические интересы, включая контроль над регионами, энергомаршрутами, миграционными потоками, а также борьба за влияние на Ближнем Востоке между глобальными державами (США и союзники – с одной стороны, Иран и другие – с другой).

3. Форма протекания конфликта. От локальных вспышек насилия и террористических актов конфликт эволюционировал к региональным войнам (1948, 1967, 1973) и глобальной дипломатической конфронтации. Сегодня конфликт сопровождается вмешательством внешних акторов, санкциями, поставками вооружений и постоянной политической напряжённостью в международных организациях (ООН, ЛАГ, ОИС) (Иноземцев В.Л., Кузнецова Е. С.) [13].

Таблица 2 – Итоговая схема эволюции конфликта. Составлено авторами

Table 2 – Final Model of Conflict Evolution. Compiled by the authors

Уровень	Форма конфликта	Участники	Ключевые черты
Микро-уровень	Этноконфессиональный	Израильские евреи – палестинские арабы	Борьба за землю, святыни, идентичность
Мезо-уровень	Геостратегический (региональный)	Израиль – арабские страны (Египет, Сирия, Иордания, Ливан)	Военные конфликты, территориальные споры, беженцы
Макро-уровень	Геополитический (глобальный)	США, Иран, ЕС, ООН, Китай, арабский мир, Россия	Влияние на глобальную безопасность, энергетические маршруты, международные отношения

Таблица 2 показывает, что некоторые конфликты могут трансформироваться из локального уровня до глобального. Например, конфликт между Израилем и Палестиной – один из самых комплексных и продолжительных международных конфликтов, и он действительно эволюционировал от локального этноконфессионального противостояния к геостратегическому конфликту макроуровня, с участием глобальных держав, религиозной риторики и влиянием на международную безопасность [14].

Обсуждение. Выводы подтверждают тезис о том, что географический фактор как структурообразующий элемент международных конфликтов является ключевым, и показывают, что измерение политического пространства не является простым фоном для развития процессов, а активно формирует логику развития и обострения конфликтов. Предложенная модель использует три

фактора при описании международных конфликтов как динамических многомерных систем, в которых пространственные, причино- и полит-управленческие слои находятся в постоянном взаимодействии, взаимно обогащая или трансформируя друг друга. Также рассмотрение конкретных конфликтов показывает, что переход с микро- на мезо- и макроуровни конфликта вызван не изменением их природы, а расширением числа заинтересованных сторон и возрастанием геостратегических и геоэкономических интересов. В этом смысле карта геополитических индикаторов является полезным инструментом интерпретации «скрытых» стадий обострения в помощи системе раннего оповещения, позволяя находить сигналы, которые свидетельствуют об эволюции из локального уровня во всерегиональный и глобальный кризис. В конце представлены понятия новых методов исследования, основанных на комплексном геопространственном подходе, а не на использовании только категорий, которые могут оказаться поликаузальными и принадлежать одновременно разным сферам. Таким образом, статья расширяет арсенал аналитиков и ученых в области конфликтов в сфере международной безопасности, создавая для них более четкий инструментарий для диагностики, прогнозирования и в итоге выработки управленческих решений, направленных на предотвращения конфликтов [15].

Заключение. Проведённый анализ показал, что определяющим фактором возникновения и развития международных геополитических конфликтов является географическое положение государства, выступающее в качестве его территориального основания. Пространственные характеристики территории, её геополитическое положение, доступ к ресурсам, транспортно-коммуникационная связанность и соседство с конфликтогенными регионами оказывают непосредственное влияние на формирование внешнеполитических стратегий государств и логику принимаемых ими политических решений.

Установлено наличие устойчивой взаимосвязи и взаимозависимости между политическими процессами и географической средой, в рамках которой пространство выступает не пассивным фоном, а активным фактором конфликтогенеза. Комплексное изучение и систематический учёт влияния географической среды в механизмах внешнеполитического управления позволяет формировать научно обоснованную систему геополитических интересов государства. Реализация такого подхода способствует повышению эффективности стратегического планирования, укреплению национальной безопасности и усилению позиций государства на международной арене [16].

В результате исследования обосновано представление геополитического конфликта как сложного взаимодействия пространственно организованных территорий, политических акторов и институциональных факторов. Анализ существующих научных подходов показал, что, несмотря на наличие многочисленных классификаций геополитических конфликтов, ориентированных преимущественно на задачи их урегулирования, в современной науке отсутствует единый универсальный методологический подход к их типологизации с позиций геополитики.

Выявлено, что одна из ключевых методологических проблем классификации геополитических конфликтов заключается в их многоуровневом и поликаузальном характере: один и тот же конфликт может одновременно относиться к нескольким типам и категориям в зависимости от масштаба, причин и вовлечённых акторов. Это существенно затрудняет формирование целостной диагностической модели конфликта и его однозначную классификацию [17].

В этой связи представленный в работе подход, основанный на использовании многофакторной аналитической матрицы и системы геополитических индикаторов, позволяет преодолеть ограничения существующих классификаций и обеспечить более гибкий и комплексный анализ конфликтных процессов. Такой подход создаёт методологические предпосылки для углублённой диагностики геополитических конфликтов, раннего выявления зон потенциальной напряжённости и разработки механизмов упреждающего реагирования в сфере международной безопасности.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Flint, C., Taylor, P. *Political Geography: World-Economy, Nation-State and Locality* (Updated Edition). Routledge, 2023.
- [2] Toal, G. *Near Abroad: Putin, the West and the Contest over Ukraine*. Oxford University Press, 2021.
- [3] Hegre, H., et al. *Forecasting Armed Conflict: A Review of Current Methods and Future Directions* // *Journal of Peace Research*. 2021. Vol. 58(4).
- [4] Тейзен О. М. и др. *Климат, конфликты и насилие: достижения в теории, методах и приложениях* // *Журнал исследований проблем мира*. – 2022.
- [5] Salehyan, I., et al. *Networks and Geography of Conflict* // *Annual Review of Political Science*, 2021.

- [6] Zehfuss, M. Security, Risk and the Geopolitics of International Conflict // Security Dialogue, 2022.
- [7] Brattberg, E., Puhl, M. Russia's Influence and Geopolitical Tensions in Europe and Central Asia // Carnegie Endowment, 2024.
- [8] Kaya, S., Çelik, A. B. Geopolitical Indicators and Conflict Risk Assessment Models // GeoJournal, 2023.
- [9] Аксенов К. Э. Сущностный характер политической географии // Известия РГО. – 1992. – Вып. 4. – С. 331-337.
- [10] Özçelik, M. & Demir, C. Spatial Analytics in Geopolitical Conflict Studies: Methods and Applications // Journal of Geographical Systems, 2021.
- [11] Kazakhstan Institute of Strategic Studies Reports (2020-2025) – International Security and Regional Stability Analyses. – Astana, 2021-2025.
- [12] UN Peacekeeping (2023) Global Peace and Conflict Report 2023, United Nations Publications.
- [13] World Bank Conflict and Development: Mapping Evidence, Gaps and Directions // World Bank Group, 2022.
- [14] International Crisis Group CrisisWatch Calendar 2020-2025, Monthly Briefings.
- [15] Здравомыслов А. Г. Социология конфликта. Исследование конфликта на макроуровне. Теоретические предпосылки. – Н. Новгород: Волго-Вятский кадровый центр, 1994. – С. 42-46, 102-106.
- [16] Ядов В.А. Стратегия социологического исследования. – М.: Добросвет, 1998. – С. 54-56.
- [17] Соловьев Э. Г. Геополитический анализ международных проблем современности: Pro et Contra // Полис. – 2001. – № 6. – С. 118.

REFERENCES

- [1] Flint, C., Taylor, P. Political Geography: World-Economy, Nation-State and Locality (Updated Edition). Routledge, 2023.
- [2] Toal, G. Near Abroad: Putin, the West and the Contest over Ukraine. Oxford University Press, 2021.
- [3] Hegre, H., et al. Forecasting armed conflict: A review of current methods and future directions // Journal of Peace Research. 2021. Vol. 58(4).
- [4] Theisen, O. M., et al. Climate, conflict, and violence: Advances in theory, methods, and applications // Journal of Peace Research, 2022 (in Russ.).
- [5] Salehyan, I., et al. Networks and the geography of conflict // Annual Review of Political Science, 2021.
- [6] Zehfuss, M. Security, risk, and the geopolitics of international conflict // Security Dialogue, 2022.
- [7] Brattberg, E., Puhl, M. Russia's Influence and Geopolitical Tensions in Europe and Central Asia // Carnegie Endowment for International Peace. 2024.
- [8] Kaya, S., Çelik, A. B. Geopolitical indicators and conflict risk assessment models // GeoJournal, 2023.
- [9] Aksenov, K. E. The substantive nature of political geography // Proceedings of the Russian Geographical Society. 1992. Issue 4. P. 331-337 (in Russ.).
- [10] Özçelik, M., Demir, C. Spatial analytics in geopolitical conflict studies: Methods and applications // Journal of Geographical Systems, 2021.
- [11] Kazakhstan Institute of Strategic Studies // International Security and Regional Stability Analyses. Astana, 2021-2025.
- [12] United Nations Peacekeeping. Global Peace and Conflict Report 2023. United Nations Publications, 2023.
- [13] World Bank. Conflict and Development: Mapping Evidence, Gaps and Directions // World Bank Group, 2022.
- [14] International Crisis Group. CrisisWatch Calendar 2020-2025. Monthly Briefings.
- [15] Zdravomyslov, A. G. Sociology of Conflict: Conflict Research at the Macro Level. Theoretical Foundations. Nizhny Novgorod: Volga-Vyatka Personnel Training Center, 1994. P. 42-46, 102-106 (in Russ.).
- [16] Yadov, V. A. Strategy of Sociological Research. Moscow: Dobrosvet, 1998. P. 54-56 (in Russ.).
- [17] Solovyov, E. G. Geopolitical analysis of contemporary international problems: Pro et Contra // Polis. Political Studies. 2001. No. 6. P. 118-127 (in Russ.).

Қ. М. Келгенбаев¹, Ш. М. Надыров², J. Robinson³, S. Young⁴, О. Б. Мазбаев^{*5}

¹ PhD докторант (Әл-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университеті, Алматы, Қазақстан; kushaayaguz@gmail.com)

² Г. ф. д, профессор (Әл-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университеті, Алматы, Қазақстан; scharipjan@mail.ru)

³ Профессор (Сейлем мемлекеттік университеті, Сейлем, Массачусетс, АҚШ; jrobinson2@salemstate.edu)

⁴ Профессор (Сейлем мемлекеттік университеті, Сейлем, Массачусетс, АҚШ; syoung@salemstate.edu)

⁵ *Г. ф. д, профессор (Л. Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті, Астана, Қазақстан; ordenbek@mail.ru)

ХАЛЫҚАРАЛЫҚ ҚАҚТЫҒЫСТАР ГЕОГРАФИЯСЫ

Аннотация. Мақала геосаяси индикаторлар жүйесін қолдану арқылы халықаралық қақтығыстар географиясын талдаудың әдістемесін және оның қолданбалы аспектілерін әзірлеуге арналған. Зерттеудің өзектілігі өңірлік және өңіраралық қақтығыстар санының артуымен, сондай-ақ олардың кеңістіктік құрылымының күрделенуімен және эскалация үдерістеріне ықпал ететін факторлардың көпқырлылығымен айқын-

далады. Зерттеу аясында халықаралық геосаяси қақтығыстарды типологиялаудың кешенді тәсілі ұсынылады. Бұл тәсіл хорологиялық (кеңістіктік-уақыттық), себептік және саяси-басқарушылық компоненттерді қамтитын үшфакторлы аналитикалық матрицаға негізделген. Ұсынылған әдістеменің негізгі элементі қақтығыстардың қалыптасу негізінде жатқан себеп-салдарлық байланыстарды, географиялық орналасу ерекшеліктерін, саяси инфрақұрылымды, сондай-ақ экономикалық және этномәдени алғышарттарды ескере отырып айқындау болып табылады. Авторлар геосаяси индикаторлар жүйесін әлеуетті шиеленіс ошақтарын ерте анықтау және упреждаушы әрекет ету құралы ретінде қолдану тұжырымдамасын әзірледі. Зерттеу әдіснамасы қақтығыстарды талдаудың заманауи ғылыми тәсілдерін жалпылауға, сондай-ақ кеңістіктік модельдеу әдістерін геосаяси диагностикамен ықпалдастыруға негізделген.

Зерттеудің практикалық маңызы әзірленген жүйені жекелеген аумақтардың қақтығысқа бейімділік әлеуетін бағалау, қақтығыстардың даму динамикасын болжау және тиімді саяси-басқарушылық шешімдер қабылдау үшін қолдану мүмкіндігімен айқындалады. Саяси үдерістер мен географиялық контекст арасындағы анықталған өзара байланыс халықаралық қақтығыстардың геокеңістіктік табиғатын кешенді талдаудың қажеттілігін дәлелдейді.

Зерттеу нәтижелері сыртқы саяси жоспарлау, халықаралық қауіпсіздікті мониторингтеу, сондай-ақ білім беру және ғылыми-талдамалық қызмет аясында пайдаланылуы мүмкін.

Түйін сөздер: халықаралық қақтығыстар, геосаясат, бейтараптандыру, геоэкономика, упреждеу, индикаторлар, географиялық орта мен орналасу, халықаралық қатынастар, эскалация.

K. M. Kelgenbayev¹, Sh. M. Nadyrov², J. Robinson³, S. Young⁴, O. B. Mazbayev^{*5}

¹ PhD student (Al-Farabi Kazakh National University, Almaty, Kazakhstan; kushaayaguz@gmail.com)

² Doctor of Geographical Sciences, professor (Al-Farabi Kazakh National University, Almaty, Kazakhstan; scharipjan@mail.ru)

³ Professor (Salem State University, Salem, Massachusetts, USA; jrobinson2@salemstate.edu)

⁴ Professor (Salem State University, Salem, Massachusetts, USA; syoung@salemstate.edu)

^{5*} Doctor of Geographical Sciences (L.N. Gumilyov Eurasian National University, Astana, Kazakhstan; ordenbek@mail.ru)

GEOGRAPHY OF INTERNATIONAL CONFLICTS

Abstract. This article focuses on the development of a methodology and the practical aspects of analysing the geography of international conflicts using a system of geopolitical indicators. The relevance of this research stems from the growing number of regional and interregional conflicts, as well as the increasing complexity of their spatial structure and the factors influencing escalation processes. A comprehensive approach to the typology of international geopolitical conflicts is proposed, based on a three-factor matrix comprising chorological (spatio-temporal), causal and political-administrative components. A key element is the identification of the cause-and-effect relationships underlying the formation of conflicts, taking into account the specific features of geographical location, political infrastructure, as well as economic and ethno-cultural prerequisites. A concept has been developed for the application of a system of geopolitical indicators as a tool for early warning and pre-emptive response to potential hotspots of tension. The research methodology is based on a synthesis of contemporary scientific approaches to conflict analysis, as well as on the integration of spatial modelling and geopolitical diagnostic methods.

The practical significance of the work lies in the possibility of applying the developed system to assess the conflict potential of specific territories, forecast the dynamics of conflict development, and formulate effective policy and management decisions. The established interconnection between political processes and the geographical context confirms the need for a comprehensive analysis of the geospatial nature of international conflicts.

The results of the study can be utilised in the context of foreign policy planning, monitoring of international security, as well as in educational and research-analytical activities.

Keywords: international conflicts, geopolitics, neutralization, geoeconomics, prevention, indicators, geographical environment and location, international relations, escalation.

<https://doi.org/10.55764/2957-9856/2026-1-116-126.11>

IRSTI 39.25.23

UDC 911.3

A. R. Mammadova

Researcher, doctoral student (Ministry of Science and Education of the Republic of Azerbaijan,
Institute of Geography, Baku, Azerbaijan; ayshenmammadova1987@gmail.com)

THE IMPACT OF GEOGRAPHICAL CONDITIONS ON POPULATION HEALTH IN THE REPUBLIC OF AZERBAIJAN

Abstract. The geographical conditions of a country's territory play a crucial role in determining the health of its population. The article investigates the relationship between the incidence of respiratory diseases and geographical factors across the natural regions of the Republic of Azerbaijan. The study found that the highest morbidity rate occurs in the Greater Caucasus (11.3%), while the lowest is observed in the Middle Araz region (5.7%). Regression analyses show that in the economic regions of Baku and Absheron-Khizi ($R^2 = 0.7094$), Mountainous Shirvan ($R^2 = 0.653$), and Shirvan-Salyan within the Kura Intermountain Depression ($R^2 = 0.8098$), the morbidity rate decreases with increasing average elevation above sea level. In particular, in the Shirvan-Salyan region, each 1-meter rise in elevation reduces the morbidity rate by an average of 16 cases per 10,000 people. In contrast, the Middle Araz region shows an opposite relationship ($R^2 = 0.34$). The influence of elevation is indirect and is shaped through such factors as precipitation, temperature, and hydrological conditions. These findings confirm that relief plays an important mediating role between ecological conditions and human health. The results of the study on the influence of geographical factors on the incidence of respiratory diseases – one of the leading causes of morbidity in Azerbaijan – showed that factors such as geographical location, elevation above sea level, relative humidity, precipitation levels, hydrological conditions, and both natural and anthropogenic air pollution determine the regional differences in the spread of these diseases.

Keywords: population health, disease incidence, respiratory diseases, geographical factors, relief, environmental conditions.

Introduction. The influence of physical, social, economic, and cultural factors on the causes and spread of diseases among people has been known since the 3rd century BCE. As early as 400 BCE, Hippocrates, in his treatise "Air, Water, and Places", discussed the direct relationship between geographical environment and human health. The diversity of geological, geomorphological, soil, climatic, hydrological, and other natural features makes the assessment of geographical conditions in terms of human health particularly relevant.

Major geological factors such as water sources, active faults, geophysical fields, mineral deposits, and geological processes including volcanism, earthquakes, and hydrothermal activity release microelements into the environment, increasing the concentration of chemical substances and thus affecting human health. People are exposed to minerals and elements transferred from rocks to soil, and from soil to plants, water, and air – through respiration or food consumption – leading to various diseases. For instance, studies have shown that the inhalation of volcanic ash containing silicon dioxide (SiO_2) and fibrous asbestos minerals in active volcanic areas is associated with respiratory diseases such as asthma, silicosis, and non-specific pneumoconiosis [1, 2].

The analysis of the geomorphological features of inhabited areas is essential for studying the geographical factors affecting human health. As altitude increases, air density and temperature decrease, atmospheric pressure drops in mountainous areas, and arid climates prevail in lowlands. Natural radiation from rocks and other such factors contribute to the spread of various diseases among populations. Both acute and chronic exposure to high altitude can cause respiratory disturbances. Beyond certain elevations, external influences intensify, making the environment uncomfortable or even hazardous for those unadapted to such conditions. These environments possess properties that can affect both healthy individuals and those with preexisting conditions. Above 1,000 m, fatigue and headaches commonly occur; at 1,500–3,500 m, shortness of breath increases; and at 3,500–5,500 m, the drop in partial oxygen pressure leads to hypoxia and altitude sickness. The rate of ascent also influences the development of

these conditions, while low air temperatures, intense solar radiation (including ultraviolet radiation), and wind exacerbate the pathological process [3, 4].

Soil has both positive and negative effects on human health, directly or indirectly. Although soil serves as a source of nutrition for all living organisms, in many areas natural or anthropogenic factors cause harmful levels of certain elements or chemical compounds, posing health risks upon exposure. Humans may be affected through three main pathways: ingestion, inhalation, and dermal contact [5].

Despite major advances in medicine, climatic conditions continue to influence human health directly and indirectly. Direct impacts arise from climatic and atmospheric factors, while indirect effects are related to the influence of climate on urban environments, drinking water, infectious diseases, and air pollution. Meteorological factors – such as solar radiation, air temperature and humidity, wind speed, and atmospheric pressure – contribute to numerous health problems. According to scientific sources, variations in temperature and humidity are key abiotic climatic factors affecting the human body. Fungal skin infections tend to worsen in warm and humid climates, while exposure to hot, dry, and dusty air can cause irritation and infection of the eyes and respiratory tract [6]. Low temperatures also pose health risks: research shows that diseases such as pneumonia, gangrene, bronchitis, and the common cold are more frequent in cold climates [7].

Hydrological bodies – such as oceans, seas, rivers, lakes, canals, reservoirs, groundwater, and glaciers – represent vital components of human health. Although water covers two-thirds of the Earth's surface, only 0.3% constitutes accessible freshwater sources [8]. In the 21st century, freshwater scarcity and water quality have become among the most pressing global health challenges. Currently, more than one-third of the world's population lacks access to safe drinking water, leading to severe health consequences. Furthermore, polluted water bodies expose humans to pathogens and toxic chemicals through direct contact [9, 10].

A review of the literature demonstrates that geographical factors exert a significant influence on the spread of respiratory diseases. This raises an important question: in Azerbaijan, across the five natural – economic regions (Greater Caucasus, Lesser Caucasus, Kura Intermountain Depression, Lankaran, and Middle Araz), what regional differences are observed in population morbidity, and which geographical factors contribute to these variations?

Research methods and materials. In the study, demographic data on the population were obtained from official statistical sources. In addition to traditional geographical methods, regression analysis was used to examine the relationships.

To more accurately determine the effects of environmental changes on public health, the concept of disease incidence (morbidity rate, intensity) was applied. The purpose of calculating incidence is to determine the frequency of new cases of a disease in addition to existing cases. It is obtained by dividing the number of newly registered cases during the study period (patients recorded with a first-time diagnosis) by the total population residing in the area. Quantitatively, it is usually expressed as a ratio:

$$Incidence = a/(a + b) \times 10000, \quad (1)$$

where a is the number of patients registered with a first-time diagnosis; b is the number of individuals not exposed to the disease [11].

In this article, the incidence of respiratory diseases among the population was evaluated across five natural regions, and the morbidity rate for each region was calculated based on this formula.

To determine the effect of relief on morbidity, the average elevation above sea level of settlements within the regions was obtained through spatial analysis using ArcGIS 10.3 software. For this purpose, the DEM raster file of Azerbaijan and vector polygons of administrative districts were selected, and the commands **ArcToolbox** → **Spatial Analysis** → **Zonal** → **Zonal Statistics as Table** were executed.

Regression analysis was applied to statistically study the relationships between relief and human health. In this analysis, the average elevation of the area was considered as the factor (independent) variable, and the incidence of respiratory diseases among the population as the outcome (dependent) variable.

To mathematically describe the variation of the dependent variable based on the factor variable, a simple linear regression equation was used:

$$y = bx \pm a, \quad (2)$$

where y – dependent variable (outcome); x – independent variable (factor); b – regression coefficient, indicating how many units y changes when x changes by one unit; a – intercept, representing the point where the regression line crosses the y -axis [12].

Main results and discussions. The Republic of Azerbaijan is located in the South Caucasus region between 38°24' and 41°54' north latitudes and 44°46' and 50°50' east longitudes, covering an area of 86.6 thousand km². In the meridional direction, the country's maximum width is 390 km and minimum width is 175 km, while from west to east, its maximum length is 470 km and minimum length is 300 km. The administrative-territorial structure of the country includes the Nakhchivan Autonomous Republic, 63 districts, 79 cities, 262 settlements, and 4,246 villages. According to the State Statistical Committee, as of January 1, 2023, the estimated population was 10,127,100 [13, p.17]. The diversity of the area's geological, geomorphological, climatic, soil, and hydrological characteristics is observed to have certain effects on population health.

According to the State Statistical Committee, in 2023, 2,616,715 patients were registered in Azerbaijan with a first-time diagnosis (2,577 per 10,000 people). Due to the large population size, a significant share of patients nationwide (29%) was recorded in Baku city (765,636 people). In terms of morbidity, the Shaki-Zagatala economic region stood out, with 240,438 patients registered that year, corresponding to 38% of the region's population (3,846.3 per 10,000 people). Among the population, respiratory diseases were the most prevalent, accounting for 37% (963,610 people) of all major disease classes. The incidence of these diseases was 9.5% nationwide (949 per 10,000 people). The highest number of cases was recorded in Baku city (286,423 people). The highest morbidity rate for respiratory diseases among the population was observed in the Mountainous Shirvan economic region, with 1,653.2 cases per 10,000 people [14, pp. 100–111].

To address the research question, population data (as of June 1, 2023) and the number of cases of respiratory diseases in settlements located within the boundaries of the natural regions were obtained from the State Statistical Committee (patients registered with a first-time diagnosis in 2023). The morbidity rate for each region was calculated based on formula 1.1. The results are presented in the table, and a corresponding map was created using ArcGIS software (figure 1).

Morbidity of Respiratory Diseases among the Population in Natural Regions

Region	Republic of Azerbaijan Total	Greater Caucasus natural region	Kura Depression natural region	Lankaran natural region	Lesser Caucasus natural region*	Middle Araz natural region
01.06.2023 Population (thousand people)	10153.9	4705.8	2025.7	934.1	1353.3	467.1
Patients registered with a first-time diagnosis (in 2023)						
Per person	963 610	533 967	172 391	79 166	103 286	26 490
Per 10000 people	949	1134,6	851	847,5	763,2	567,1

Source: Based on Table “Healthcare, Social Protection, and Housing Conditions in Azerbaijan – 2023” [14, pp. 100–111], the morbidity rates were calculated by the author according to formula 1.

*Note: Data for the population of administrative districts within the Lesser Caucasus natural region that were under occupation from 1992 to 2020 were not included.

According to the map, when differentiating the regions by geographical location, it is evident that the incidence of respiratory diseases is significantly higher in the coastal Greater Caucasus (1,134.6 per 10,000 people), Kura Depression (851 per 10,000 people), and Lankaran natural regions (847.5 per 10,000 people) compared to the non-coastal Lesser Caucasus (763.2 per 10,000 people) and Middle Araz regions (567.1 per 10,000 people) (Figure 1). This difference is attributed to the higher relative humidity in coastal areas. It has been determined that people living in regions where relative humidity exceeds 75–80% have an estimated relative risk of respiratory diseases that is 1.5 times higher than those living in areas dominated by dry days [15].

In the **Greater Caucasus natural region**, 43.7% of Azerbaijan's population and 55.4% of respiratory disease cases are concentrated. Among the 4,705.8 thousand inhabitants of the region, 533,967 people were diagnosed with these diseases, corresponding to 11.3% of the regional population. The morbidity rate in this region is higher compared to other natural regions (1,134.6 per 10,000 people) (table).

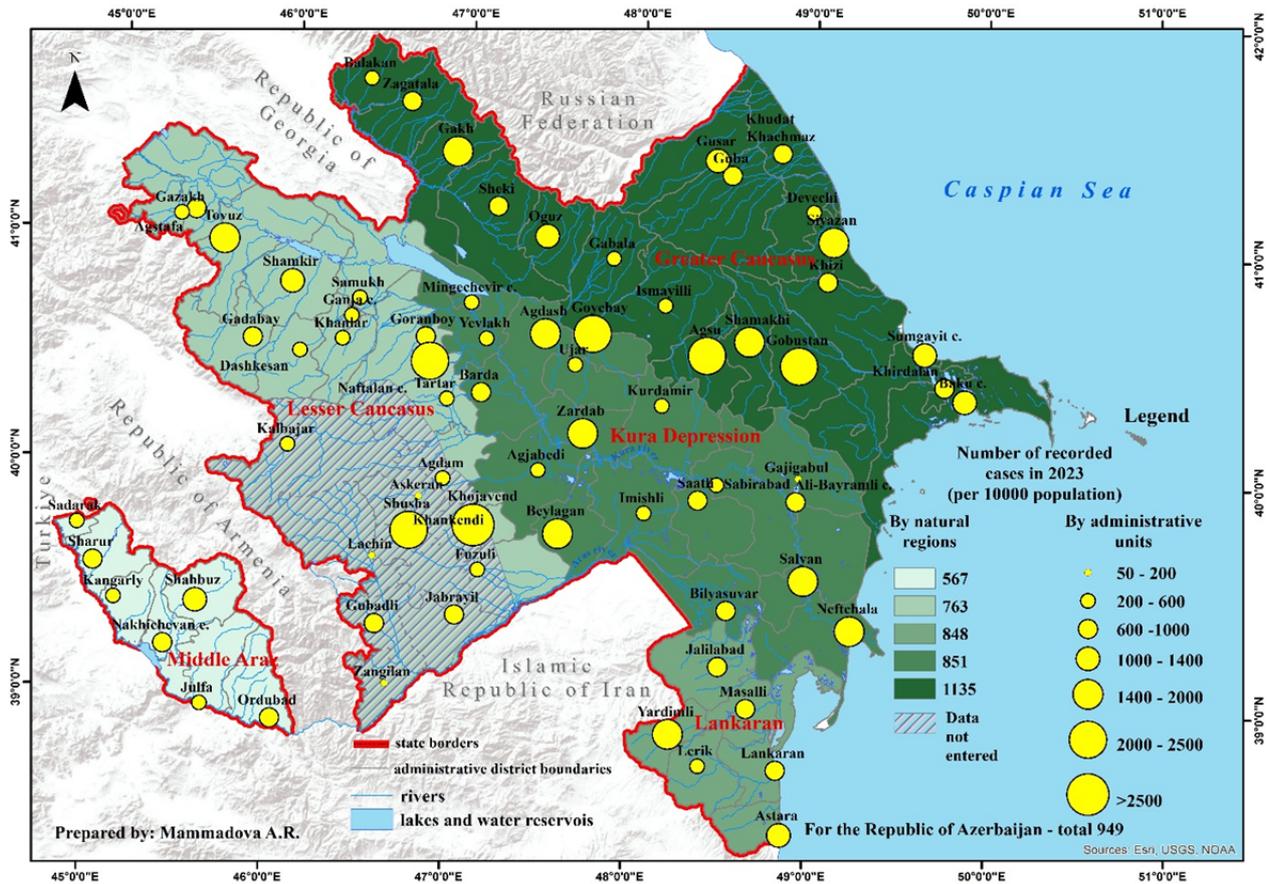


Figure 1 – Map of population morbidity due to respiratory diseases in natural regions

The health of the population is significantly influenced by the strained ecological situation resulting from the inclusion of large industrial cities such as Baku and Sumqayıt in the region [16, 17]. The economic district with the highest morbidity rate in the region, Mountainous Shirvan (1,653.2 per 10,000 people) [14, pp. 100-111], is affected by its geographical location and natural conditions. Although the district is relatively underdeveloped industrially, it is located close to cities heavily exposed to anthropogenic pollution, such as Baku and Sumqayıt, and rises from the south-east (Shirvan plain) to the north-west up to 3,000 m (Babadag) [18]. This topography allows pollutants transported by wind from the mountains to adversely affect the health of people in foothill districts.

Literature analysis shows that relief plays a significant role in the spread of respiratory diseases. In flat areas, wind reduces pollution near pollution sources but also disperses pollutants over the surrounding area. In contrast, mountainous and hilly terrain reduces wind speed, potentially increasing pollution levels locally. Increasing precipitation with altitude positively affects air quality by removing dust particles, provided that excessive soil moisture does not occur [19, 20].

Furthermore, in Gobustan – a region dominated by wind erosion – the airborne soil, sand, and other particulate matter create unfavorable conditions for respiratory health. The mud volcanoes in Gobustan also act as natural sources of air pollution. Geological factors contribute to atmospheric pollution as well. Studies indicate that in the seismically active Mountainous Shirvan area, high concentrations of radon – a toxic substance in soil air – are recorded. These studies also note that radon levels in enclosed spaces can reach values considered hazardous to human health [21-23]. In addition, stone quarries operating in the Shamakhi and Gobustan administrative districts contribute to the spread of coarse and fine dust particles in the atmosphere, which are harmful to the lungs and bronchi. Together, these factors highlight the exposure of the Mountainous Shirvan population to both natural and anthropogenic atmospheric pollution.

Our research identified an inverse relationship in the Mountainous Shirvan economic district between population morbidity due to respiratory diseases and the area’s average elevation above sea level and mean annual precipitation. The highest morbidity rate in this economic district was observed in Agsu

(2,150 per 10,000 people; average elevation 249.9 m), while the lowest rate was in Ismayilli (569.7 per 10,000 people; average elevation 1,160 m, annual precipitation 750 mm). Similarly, in Gobustan, which receives the lowest annual precipitation (300 mm), the morbidity rate reached 2,136.4 per 10,000 people, indicating that approximately 1 in 5 residents in both Gobustan and Aghsu suffers from respiratory diseases.

Statistical analyses were conducted to quantify the existence and direction of this relationship, as well as to characterize the form and strength of the factor variable's effect on the outcome variable. From an analytical perspective, inverse relationships were identified. Based on the coefficient of determination ($R^2 = 0.653$), it can be stated that changes in the area's average elevation explain 65% of the variation in respiratory disease incidence across administrative districts. A similar level of dependence was observed for mean annual precipitation within the districts (figure 2).

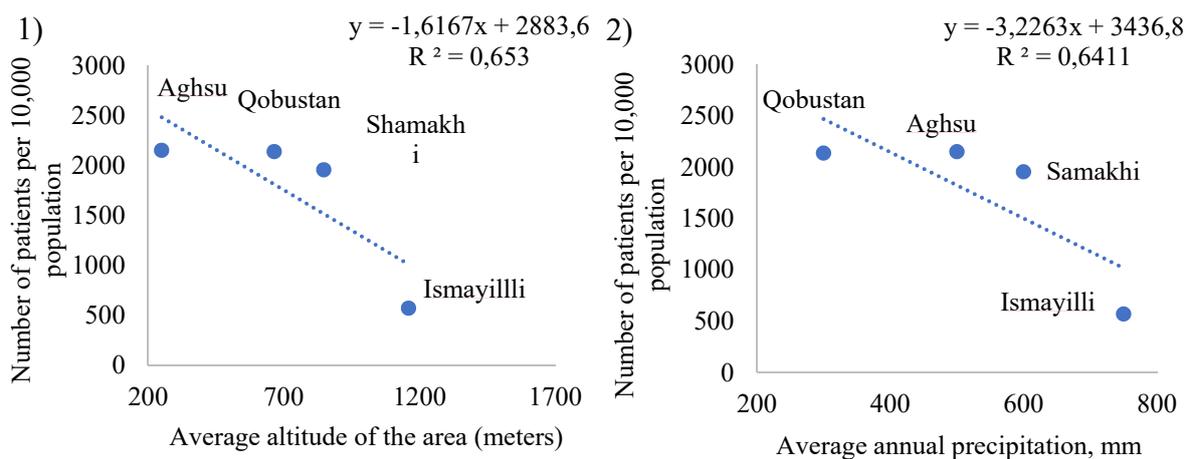


Figure 2 – Graph showing the relationship in the Mountainous Shirvan economic district between population morbidity due to respiratory diseases and (1) average elevation above sea level and (2) mean annual precipitation.

Source: Data of the State Statistics Committee of the Republic of Azerbaijan, Hajiyev G. A. [14, pp. 100-111; 24]

Analytically, inverse relationships were also observed for the Baku and Absheron-Khizi economic districts. Based on the coefficients of determination ($R^2 = 0.7094$, $R^2 = 0.6297$), it can be stated that changes in the average elevation explain 71% of the variation in respiratory disease incidence, while the corresponding increase in precipitation with elevation explains 63% of the variation.

Consequently, in the Baku, Absheron-Khizi, and Mountainous Shirvan economic districts, increased elevation and the associated precipitation contribute to improving air quality, thereby playing a significant role in reducing respiratory diseases linked to environmental pollution (figure 3).

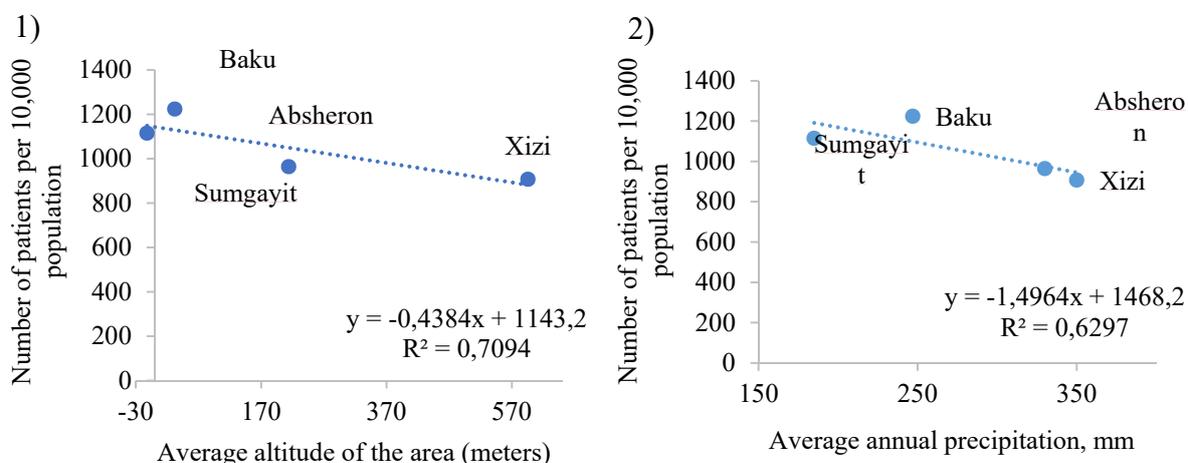


Figure 3 – Graph showing the relationship in the Baku and Absheron-Khizi economic districts between population morbidity due to respiratory diseases and (1) average elevation above sea level and (2) mean annual precipitation.

Source: Data of the State Statistics Committee of the Republic of Azerbaijan, Hajiyev G. A. [14, pp. 100-111; 24]

According to our study, in the Kura Depression natural region, which is home to 20% of the country's population, 172,391 people out of 2,025.7 thousand were diagnosed with respiratory diseases, corresponding to 8.5% of the regional population. In terms of disease incidence, this region ranks second compared to other natural regions. In the Shirvan-Salyan economic district, 50,715 patients were registered in 2023, making it the district with the highest prevalence of respiratory diseases in the region (1,028.7 per 10,000 people) [14, pp. 100-111] (table).

The region covers the central and eastern parts of the country. In the eastern part, the Kura-Araz lowland is located mainly below sea level along the lower reaches of the transboundary Kura and Araz rivers, which are exposed to ecological pollution. The absolute elevation of the Salyan accumulative plain, the youngest part of the lowland, ranges from –20 m to –27 m.

Regression analysis results show that in the Shirvan-Salyan economic district, the district with the highest disease prevalence, changes in the average elevation of administrative districts explain 81% of the variation in respiratory disease incidence ($R^2 = 0.8098$, $p < 0.005$). The statistically significant relationship is inverse: for every 1-meter increase in elevation, the incidence decreases by 16 cases per 10,000 people. In the low-lying Neftchala (1,728.3 per 10,000) and Salyan (1,467.9 per 10,000) districts, residents are more frequently exposed to respiratory diseases, confirming that ecological impacts are stronger in the lower reaches of the rivers (figure 4).

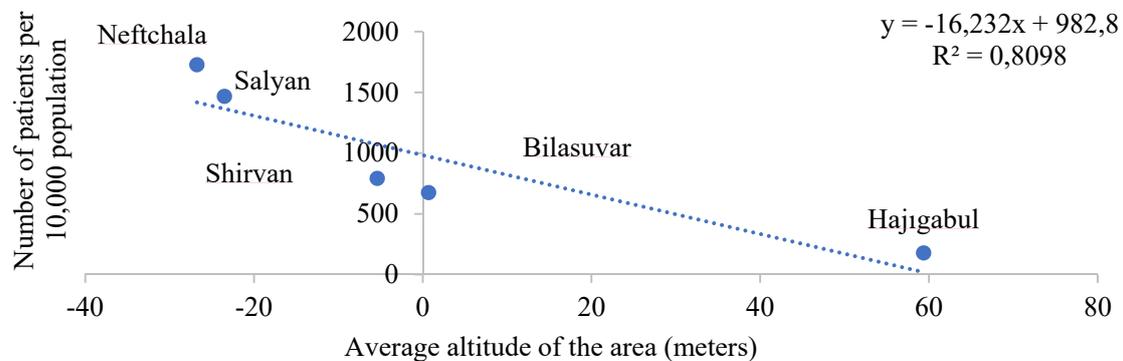


Figure 4 – Graph showing the relationship between population morbidity due to respiratory diseases and average elevation in the Shirvan-Salyan economic district.

Source: Data of the State Statistics Committee of the Republic of Azerbaijan [14, pp. 100-111]

In the Kura-Aras lowland, in the depression areas of the terrain, the depth of groundwater, which generally ranges between 40–50 cm and 0.8–1.0 m, can even reach the soil surface during the winter. Factors contributing to the rise of groundwater include river floods, irrigation activities, the condition of collector-drainage networks, leakage from irrigation systems, and others. The combination of high groundwater levels and excessive soil moisture in these areas leads to the formation of hydromorphic landscapes such as marsh-grassland, marsh-lake, and marsh-lagoon types.

In alluvial-grassland soils with weakly alkaline and alkaline reactions, where salinization signs are absent [18, pp. 242–259], conditions are favorable for the development of hydrophilic microorganisms such as mold fungi. These microorganisms spread in human settlements and on building walls, negatively affecting human health. Their spores enter the body through the respiratory system, causing headaches, nausea, vomiting, and, through allergenic effects, can lead to chronic respiratory diseases, asthma, allergic rhinitis, and other complications [25].

According to our study, the Lesser Caucasus natural region (excluding populations of districts under occupation from 1992 to 2020) is home to 1,353.3 thousand people. In 2023, 103,286 people were diagnosed with respiratory diseases for the first time, representing 7.6% of the regional population. This accounts for 10.7% of total infections in the country, making it the second-lowest among all regions (table).

The large elevation range of the region (3,500 m) creates varied conditions for settlement. The sloping plains between the right bank of the Kura River and the northeastern foothills of the Lesser Caucasus mountains (Ganja-Gazakh slope plains) concentrate most of the population, economic resources, and social infrastructure. The flat terrain, favorable soil-climate conditions, and mild winters positively

affect human health. No statistically significant relationship between elevation and disease incidence was identified in this region.

The Jeyranchoh hilly plain, located between the left bank of the Kura and the state border with Georgia and belonging to the Gazakh-Tovuz economic district (covering Shamkir, Tovuz, and Agstafa districts), consists of extensive unused lands. In this area, semi-desert, dry-steppe climate and wind erosion of soils contribute to an increase in respiratory disease incidence among the population. In these districts, agriculture predominates in economic activity, exposing the population further to the negative effects of the soil. Additionally, the operation of stone quarries in Tovuz and Shamkir contributes to the wider spread of diseases. The incidence rates in Tovuz and Shamkir are 1,569.2 and 1,211.7 per 10,000 people, respectively, which is 2 and 1.6 times higher than the regional average.

In Naftalan city, the high incidence of respiratory diseases (2,351.7 per 10,000) is linked to the city's specific characteristics. Naftalan is known for its therapeutic oil deposits and as a resort city. Although Naftalan oil has therapeutic properties for skin, musculoskeletal, and nervous system diseases, chemicals released into the air during extraction, storage, and use (including aromatic and sulfur compounds) can be harmful to the respiratory system. In treatment facilities, poor ventilation during indoor oil baths can lead to high concentrations of oil vapors. Prolonged exposure, especially among facility workers and local residents, can contribute to the development of chronic bronchitis and other respiratory diseases, increasing the risk of disease occurrence among the population (Figure 1).

Lankaran Natural Region. In the Lankaran natural region, 9.2% of Azerbaijan's population resides, and 8.2% of respiratory disease cases were recorded (as of 01.06.2023). In 2023, out of 934.1 thousand residents, 79,166 people were diagnosed with these diseases. In terms of incidence rate per 10,000 people (847.5), the region ranks third in the country (table).

Within the region, the highest incidence rates were observed in Yardimli (1,912.7 per 10,000) and Astara (1,388.4 per 10,000) districts, while Lerik district had the lowest incidence (379.9 per 10,000) (Figure 1). To identify the influence of natural conditions on these differences, an analysis was conducted examining the relationship between population morbidity, average district elevation, and mean annual precipitation.

The analysis revealed a clear pattern regarding precipitation and elevation: rainfall increases up to a certain altitude and then decreases. For instance, the highest precipitation (1,400–1,700 mm) occurs at elevations of 200–600 m in the Talysh Mountains (Astara district). Above this, precipitation declines, reaching 300–400 mm at elevations of 2,000–2,200 m in Lerik and Yardimli districts [18, pp. 291-295; 24]. Correspondingly, disease incidence decreases with declining precipitation.

However, despite similar elevations (Lerik: 1,261.3 m; Yardimli: 1,200 m) and lower mean annual precipitation, disease incidence decreases in Lerik but increases in Yardimli. This discrepancy is likely due to local environmental factors in Yardimli, such as the extensive area of the Vilesh River valley, frequent mountain-valley winds, severe soil erosion (91% of lands, 45% severe), and inadequate protection of forests and shrubs [18, pp. 322; 24], all of which negatively affect population health.

Consequently, within the region (except for Yardimli), a positive linear relationship between precipitation and respiratory disease incidence was identified. Regression analysis shows that changes in mean annual precipitation explain 60% ($R^2 = 0.5905$) of the variation in disease incidence. The relationship is positive, indicating that as precipitation increases, respiratory disease incidence also rises.

Additionally, in districts along the Caspian Sea coast, disease incidence increases southward with rising relative humidity and precipitation. Specifically, incidence rates in Masalli, Lankaran, and Astara districts are 674.4, 762.3, and 1,388.4 per 10,000, respectively. This study confirms that in areas where high precipitation leads to excessive soil moisture, negative effects on human health can occur (figure 5).

In the **Middle Aras Natural region**, 5.6% of Azerbaijan's population resides, while only 2.7% of respiratory disease cases were recorded. Among the 467.1 thousand residents, 26,490 were diagnosed with these diseases, corresponding to 5.7% of the region's population. Compared to other natural regions, Middle Aras has the lowest incidence of respiratory diseases (567.1 per 10,000), largely due to its arid climate [15].

Middle Aras is located on the southwestern edge of the Lesser Caucasus mountain system. Most of its territory is occupied by the Zangezur and Darelegyez ranges, while approximately one-third consists of the Arazboyu plains (Sadarak, Sharur, Boyukduz, Kangarli, Nakhchivan, Culfa, Ordubad plains) with an average elevation of 600–800 m. The majority of the population in Nakhchivan city, Babek, Culfa,

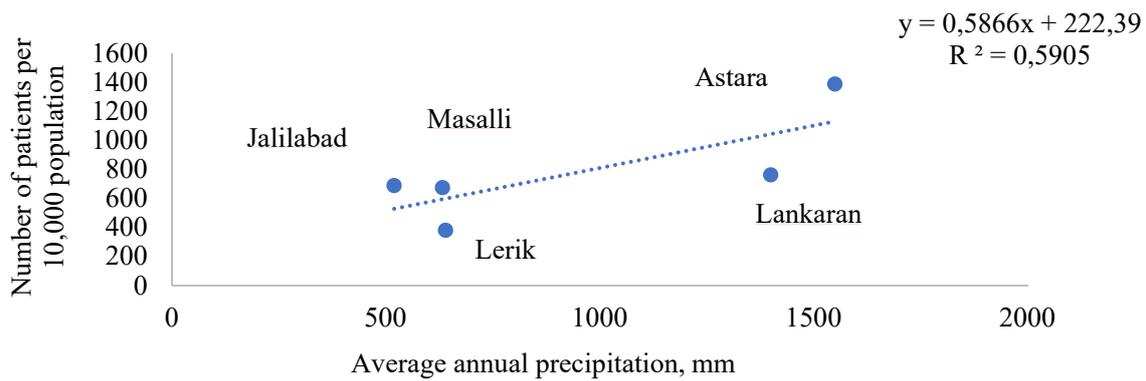


Figure 5 – Relationship Between Respiratory Disease Incidence and Average Annual Precipitation in the Lankaran Natural Region.

Source: Data of the State Statistics Committee of the Republic of Azerbaijan, Hajiyev G. A. [14, pp. 100-111; 24]

Kangarli, Ordubad, Sadarak, and Sharur districts resides at 600–1000 m, whereas Shahbuz district’s population mainly lives at 1,000–1,500 m. The lowland areas in the south feature a cold semi-desert and dry steppe climate in winter, while the mountainous north experiences cold, dry summers [18, 24, 26].

Our study identified a direct proportional relationship between respiratory disease incidence and the mean elevation of settlements. The highest incidence was recorded in Shahbuz district (1,273.4 per 10,000), located on the southern slopes of the Darelegyez range and western slopes of the Zangezur range, with an average elevation of 1,834.7 m – the highest in Middle Aras. In contrast, Babek district, where most residents live below 1,000 m (average elevation 1,094.9 m), had the lowest incidence (51.7 per 10,000) (figure 6).

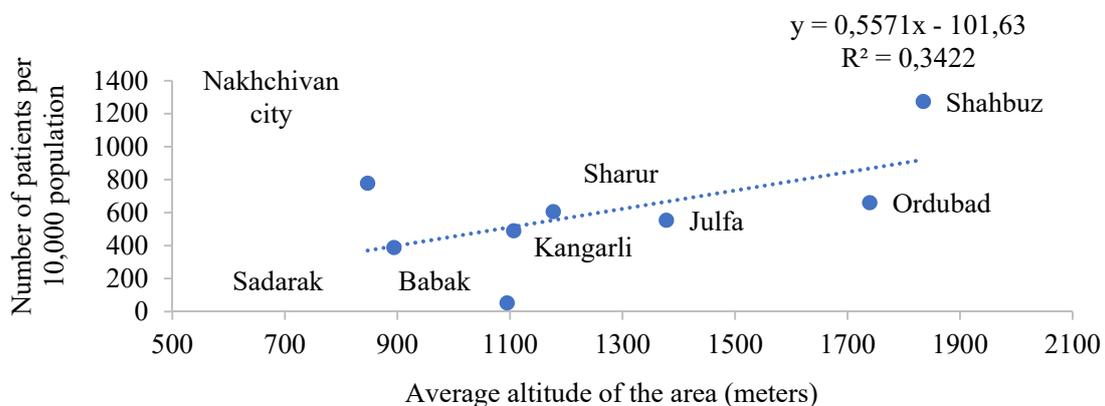


Figure 6 – Graph showing the relationship between population morbidity due to respiratory diseases and average elevation in the Middle Aras Natural Region.

Source: Data of the State Statistics Committee of the Republic of Azerbaijan [14, pp. 100-111]

Research shows that in mountainous areas, particularly above 1000 meters in altitude, the oxygen supply to hemoglobin cells in the blood decreases. As altitude increases, the accompanying decrease in atmospheric pressure and temperature contributes to the higher incidence of respiratory diseases such as bronchitis, pneumonia, pleurisy, and others [4, 27, 28]. Based on our analysis, it can be concluded that the population of Shahbuz District in the Middle Aras region is more exposed to the adverse effects of altitude. It has been determined that in Shahbuz District, the incidence of diseases such as chronic pharyngitis, nasopharyngitis, sinusitis, pneumonia, chronic and unspecified bronchitis, emphysema, allergic rhinitis, etc., is 2–3 times higher compared to the overall average for the Nakhchivan Autonomous Republic.

At the same time, air pollution also affects the population’s morbidity in this region. Studies show that in Nakhchivan city, located mainly on the Aras lowland (at an average elevation of 847.2 m), the morbidity rate is 778 cases per 10,000 people – approximately twice as high as in Sadarak District, which

has a similar elevation. In 2023, 11.3 thousand tons of pollutants were emitted into the city's atmosphere from stationary sources, a figure significantly higher than that of other administrative districts. In the same year, 20.9 thousand tons of pollutants were released into the atmosphere of the Nakhchivan Autonomous Republic from motor vehicles, with the majority originating from Nakhchivan city, which serves as the capital. The higher level of air pollution in the city compared to other districts is one of the main factors explaining the observed differences in morbidity rates.

Conclusions. As a result of the study, the following conclusions can be drawn:

1. It was determined that among the natural regions of the republic, the highest incidence rate from these diseases was recorded in the Greater Caucasus natural region – 11.3% (1,134.6 cases per 10,000 people) – while the lowest was observed in the Middle Aras region – 5.7% (567.1 cases per 10,000 people). According to regression analysis, in the economic regions of Baku and Absheron–Khizi ($R^2 = 0.7094$), Mountainous Shirvan ($R^2 = 0.653$) within the Greater Caucasus, and Shirvan–Salyan ($R^2 = 0.8098$) within the Kura Intermountain Depression, the incidence rate decreases as the average elevation above sea level increases. In contrast, in the Middle Aras region ($R^2 = 0.3422$), morbidity increases with elevation. Based on the coefficients of determination obtained, the variables show dependencies of 71%, 65%, 81%, and 34%, respectively.

2. The effect of altitude on morbidity is not direct; it is mediated by the indirect influence of relief on various geographical factors such as precipitation, hydrological conditions, and temperature. For instance, in economic regions like Baku, Absheron–Khizi, and Mountainous Shirvan, where the atmosphere is exposed to both natural and anthropogenic pollution, analytical assessments revealed an inverse relationship between annual precipitation levels and incidence rates across administrative districts. This indicates that as the average elevation above sea level increases, the amount of precipitation also rises, thereby improving air quality and playing a significant role in preventing respiratory diseases associated with environmental impacts.

In the Shirvan–Salyan economic region, located within the Kura depression, analysis shows that for every 1-meter increase in elevation, the morbidity rate per 10,000 people decreases by an average of 16 cases. This relationship is linked to the influence of relief on groundwater levels and the ecological impact of water in the area. In contrast, in the Middle Aras region, the effect of relief is observed in the opposite direction: as elevation increases, the population becomes more exposed to colder climatic conditions, leading to a higher incidence of respiratory diseases.

REFERENCES

- [1] Aliyev Ch. S., Makhmudova F. F. *Medical geology // Topical Issues of Applied Geology*. Baku: Nafta-Press, 2013. P. 115-141.
- [2] Horwell C. J., Baxter P. J., Damby D. E. et al. The International Volcanic Health Hazard Network (IVHHN): reflections on 20 years of progress // *Frontiers in Earth Science*. 2023. No. 11. P. 1213363.
- [3] Gao C., Qi G. D., Wang D. et al. Incidence and risk factors of severe acute high-altitude illness in healthy adults first entering the northern Tibetan Plateau of over 5,000 m // *Frontiers in Public Health*. 2024. No. 12. P. 1400236.
- [4] Gatterer H., Villafuerte F. C., Ulrich S. et al. Altitude illnesses // *Nature Reviews Disease Primers*. 2024. 10(1). P. 43.
- [5] Brevik E. C., Slaughter L., Singh B. R. et al. Soil and Human Health: Current Status and Future Needs // *Air, Soil and Water Research*. 2020. No. 13. P. 1-23.
- [6] Ebi K. L., Capon A., Berry P. et al. Hot weather and heat extremes: health risks // *The Lancet*. 2021. Vol. 398(10301). P. 698-708.
- [7] Masselot P., Mistry M. N., Vanoli K. et al. Excess mortality attributed to heat and cold: a health impact assessment study in 854 cities in Europe // *The Lancet Planetary Health*. 2023. No. 7(4). P. e271-e281.
- [8] UNESCO. *World Water Resources: A New Appraisal and Assessment for the 21st Century (Report)* [Electronic resource]. 1998. Available at: <https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000112671> (accessed: 05.05.2024).
- [9] Hynds P., Borchardt M., Ibaraki M. Preface: Hydrogeology and human health // *Hydrogeology Journal*. 2017. Vol. 25. P. 897-902.
- [10] Schwarzenbach R., Egli T., Hofstetter T. et al. Global water pollution and human health // *Annual Review of Environment and Resources*. 2010. Vol. 35. P. 109-139.
- [11] *Ecological Epidemiology: Application and Research Methods in Public Health* / Ed. S. Ismayilova. Baku: Khazar University Press, 2003. 354 p.
- [12] Ayyubova N. S. *Statistics (General Theory)*. Baku: Afpolygraph, 2014. 344 p.
- [13] State Statistical Committee of the Republic of Azerbaijan. *Demographic Indicators of Azerbaijan 2022*. Baku: SSC, 2023. 589 p.
- [14] State Statistical Committee of the Republic of Azerbaijan. *Health, Social Protection and Housing Conditions in Azerbaijan 2023*. Baku: SSC, 2024. 262 p.

- [15] Mammadova A. R. The impact of natural and environmental conditions in the coastal settlements of Azerbaijan on population health // *Cities on the Way from the Present to the Future: V Geourbanistic Readings*. Moscow, 2025. May 15-17. P. 232-238.
- [16] Rzayeva S. I., Mamedova A. R., Mirzaeva Z. A. et al. Assessment of the impact of environmental quality on settlement and public health in Baku city // *Regional Geosystems*. Belgorod State University, 2025. No. 49(2). P. 375-388.
- [17] Mammadova A. R. Study of the role of atmospheric pollution in the geographical distribution of respiratory diseases in Baku city // *Proceedings of the Azerbaijan Geographical Society: Geography and Natural Resources*. 2024. No. 2(22). P. 72-80.
- [18] *The Geography of the Republic of Azerbaijan* / Ed. R. M. Mammadov. Regional Geography. Vol. 3. Baku: Avropa, 2015. 400 p.
- [19] Ayyubov A. J., Musayev Z. F., Karimov A. A. Climate and Human Health of the Baku and Absheron Peninsula. Baku: Azerbaijan State Publishing House, 1997. 126 p.
- [20] Mammadova Sh. I. Ecogeographical Problems of Atmospheric Pollution in Large Cities of Azerbaijan: Doctoral dissertation abstract. Baku, 2018. 43 p.
- [21] Aliyev Ch. S., Mahmudova F. F. Assessment of the health risk from radon gas exposure among the population of Azerbaijan // *Journal of Radiation Researches*. 2018. Vol. 5, No. 2. P. 366-368.
- [22] Mahmudova F. F. Comparative analysis of lung diseases and radon levels in Azerbaijan // *Proceedings of the National Academy of Sciences of Azerbaijan. Earth Sciences Series*. 2018. No. 1-2. P. 78-80.
- [23] Aliyev Ch. S., Feyzullayev A. A., Baghirli R. J. et al. Study of the geological factors controlling the distribution of radon in the territory of Azerbaijan // *Geography and Natural Resources*. Baku, 2016. No. 2(4). P. 11-17.
- [24] Hajiyev G. A., Rahimov V. A. Climate Characteristics of the Administrative Districts of the Azerbaijan SSR. Baku: Elm, 1977. 270 p.
- [25] Sánchez P., Vélez del Burgo A., Suñén E. et al. Fungal Allergen and Mold Allergy Diagnosis: Role and Relevance of *Alternaria alternata* Alt a 1 Protein Family // *Journal of Fungi*. 2022. 8(3). P. 277.
- [26] *The Geography of the Republic of Azerbaijan* / ed. R. M. Mammadov. Economic and Social Geography. Baku: Avropa, 2015. Vol. 2. 327 p.
- [27] Burtscher J., Samaja M. Healthy Aging at Moderate Altitudes: Hypoxia and Hormesis // *Gerontology*. 2024. Vol. 70(11). P. 1152-1160.
- [28] Stream J. O., Luks A. M., Grissom C. K. Lung disease at high altitude // *Expert Review of Respiratory Medicine*. 2009. No. 3(6). P. 635-650.
- [29] Mammadova A. R. The impact of relief and environmental conditions on the incidence of respiratory diseases (a study in the Middle Aras region) // *Socioeconomic Development and Geographical Problems of Regions: International Scientific-Practical Conference*. Baku, 2025. March 18-19. P. 367-373.

A. P. Мамедова

Ғылыми қызметкер, докторант (Әзірбайжан Республикасы Ғылым және білім министрлігі,
География институты, Баку, Әзірбайжан; ayshenmammadova1987@gmail.com)

ӘЗІРБАЙЖАН РЕСПУБЛИКАСЫ ХАЛҚЫНЫҢ ДЕНСАУЛЫҒЫНА ГЕОГРАФИЯЛЫҚ ЖАҒДАЙЛАРДЫҢ ӘСЕРІ

Аннотация. Ел аумағының географиялық жағдайлары оның халқының денсаулық жағдайын анықтауда шешуші рөл атқарады. Бұл мақалада Әзірбайжан Республикасының табиғи аймақтарындағы тыныс алу жолдарының ауруларының пайда болуы мен географиялық факторлар арасындағы байланыс қарастырылады. Зерттеу көрсеткендей, ең жоғары аурушандық деңгейі Үлкен Кавказда (11,3%), ал ең төмені Орта Араз аймағында (5,7%) байқалады. Регрессиялық талдау нәтижелері Курайн тауаралық ойпатында орналасқан Баку және Абшерон-Хызы ($R^2=0.7094$), Даглиг Ширван ($R^2=0.653$) және Ширван-Сальян экономикалық аймақтарында ($R^2=0.8098$) орташа биіктіктің жоғарылауымен аурушандық деңгейі төмендейтінін көрсетеді. Нақтырақ айтқанда, Ширван-Сальян аймағында биіктіктің 1 метрге жоғарылауы аурушандық деңгейін 10 000 адамға шаққанда орта есеппен 16 жағдайға төмендетеді. Орта Араз аймағында кері байланыс байқалады ($R^2=0.34$). Биіктіктің әсері жанама болып табылады және жауын-шашын, температура және гидрологиялық жағдайлар сияқты факторлар арқылы қалыптасады. Нәтижелер топографияның қоршаған орта жағдайлары мен адам денсаулығы арасындағы маңызды делдалдық рөлін растайды. Әзірбайжандағы аурушандықтың негізгі себептерінің бірі болып табылатын тыныс алу жолдарының ауруларының пайда болуына географиялық факторлардың әсерін зерттейтін зерттеу географиялық орналасуы, биіктік, салыстырмалы ылғалдылық, жауын-шашын, гидрологиялық жағдайлар және табиғи және антропогендік ауа ластануы сияқты факторлардың бұл аурулардың таралуындағы аймақтық айырмашылықтарды анықтайтынын көрсетті.

Түйін сөздер: халық денсаулығы, тыныс алу жолдарының аурулары, аурушандық, географиялық факторлар, топография, қоршаған орта жағдайлары.

А. Р. Мамедова

Научный сотрудник, докторант (Министерство науки и образования Азербайджанской Республики,
Институт географии, Баку, Азербайджан; ayshenmammadova1987@gmail.com)

ВЛИЯНИЕ ГЕОГРАФИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ НА ЗДОРОВЬЕ НАСЕЛЕНИЯ АЗЕРБАЙДЖАНСКОЙ РЕСПУБЛИКИ

Аннотация. Географические условия территории страны играют решающую роль в определении состояния здоровья ее населения. Исследуется взаимосвязь между заболеваемостью болезнями органов дыхания и географическими факторами по природным районам Азербайджанской Республики. Установлено, что наибольшая частота заболеваемости наблюдается в Большом Кавказе (11,3%), а наименьшая – в Средне-Аразском районе (5,7%). Результаты регрессионного анализа показывают, что в экономических районах Баку и Абшерон-Хызы ($R^2 = 0,7094$), Горный Ширван ($R^2 = 0,653$) и Ширван-Сальян, расположенном в Кураинской межгорной впадине ($R^2 = 0,8098$), с увеличением средней высоты над уровнем моря уровень заболеваемости снижается. В частности, в Ширван-Сальянском районе повышение высоты на 1 м снижает уровень заболеваемости в среднем на 16 случаев на 10 000 человек. В Средне-Аразском регионе наблюдается обратная зависимость ($R^2 = 0,34$). Влияние высоты является косвенным и формируется через такие факторы, как количество осадков, температура и гидрологические условия. Полученные результаты подтверждают важную посредническую роль рельефа между экологическими условиями и здоровьем человека. Результаты исследования влияния географических факторов на заболеваемость респираторными заболеваниями, являющимися одной из ведущих причин заболеваемости в Азербайджане, показали, что такие факторы, как географическое положение, высота над уровнем моря, относительная влажность, уровень осадков, гидрологические условия, а также природное и антропогенное загрязнение воздуха, определяют региональные различия в распространении этих заболеваний.

Ключевые слова: здоровье населения, заболевания органов дыхания, заболеваемость, географические факторы, рельеф, экологические условия.

<https://doi.org/10.55764/2957-9856/2026-1-127-135.12>

MRNTI 76.01.11
UDC 614.1:519.23

**M. B. Mustafayeva¹, Zh. S. Mustafayev^{2*},
Sh. K. Shapalov³, V. V. Semyonov⁴, K. B. Abdeshev⁵**

¹ PhD student (M. Auezov South Kazakhstan State University, Shymkent, Kazakhstan; *mminayim00@mail.ru*)

^{2*} Doctor of Engineering, Professor, Chief Researcher
(JSC Institute of Geography and Water Security, Almaty, Kazakhstan; *z-mustafa@rambler.ru*)

³ PhD, professor (South Kazakhstan State University named after M. Auezov,
Shymkent, Kazakhstan; *shermahan_1984@mail.ru*)

⁴ D. t. s., Professor (Saint Petersburg State Institute of Technology,
Saint Petersburg, Russian Federation; *semenovv 50@yandex.ru*)

⁵ PhD, Associate Professor (M. Auezov South Kazakhstan State University,
Shymkent, Kazakhstan; *abdeshev.kuanysh@mail.ru*)

MULTIPARAMETRIC ASSESSMENT OF POPULATION HEALTH IN KYZYLORDA REGION BASED ON AN INTEGRAL INDICATOR

Abstract. The subject of the research is the assessment of the health of the population of the Kyzylorda region in the context of administrative districts using the integral indicator as a function. The aim of the study is to develop an algorithm for assessing the integral indicator of population health and the weighting coefficient by types of disease. The study used methods of system and comparative analysis, methods of mathematical and simulation modeling. The following results were obtained: an algorithm for assessing the integral indicator of population health and the weighting coefficient by types of disease were developed; testing of the proposed theoretical ideas was carried out using long-term official statistical data on health care of the Kyzylorda region for 2000-2022; the results obtained showed that there were no administrative districts with favorable integral indicators of population health in the Kyzylorda region during the study period. The developed algorithm and model for the integrated assessment of population health, applied in the monitoring mode, allow for understanding the regional characteristics of public health in the Kyzylorda region. The advantages of the method are the use of standard statistical parameters, the relative simplicity of obtaining results and their interpretation, as well as the possibility of adjustment depending on the objectives of the analysis.

Keywords: statistical indicators; integral health indicator; linear models; health status dynamics.

Introduction. The Syr Darya River drainage basin, originating in mountainous areas that are virtually unpolluted and low in mineralization, is supplemented upon reaching the plain by wastewater discharged into the rivers by industrial, municipal, and agricultural facilities. This has resulted in the formation of highly mineralized and highly concentrated water in the middle and lower reaches of the rivers, making it unsuitable for drinking water supply. Currently, the drainage basins of these river basins, which serve as spatial bases for population and environmental management, are experiencing severe anthropogenic activity, potentially impacting the livelihoods of people who have lived in these areas for centuries. These areas have entered an active stage of «succession», leading to environmental disruptions to the local environment. In this regard, the assessment of population health based on the integral indicator has become one of the pressing issues for conducting an in-depth analysis of the dynamics of population health indicators in spatial and temporal aspects in the lower reaches of the Syr Darya River, which are the spatial bases for the population of the Kyzylorda region.

Methodological foundations for the development of mathematical models of the integral indicator of population health, developed in the work of V. A. Medik, M. S. Tokmachev [1], B. F. Kiryanov [2], B. F. Kiryanov, M. S. Tokmachev [3], A. G. Kulak [4], M. B. Mustafayeva and Zh.S. Mustafayev [5-8] were used in the works of Yu. A. Shakirova [9], B. F. Kiryanov [10], A. V. Ramonova [11], G. I. Ibraimova, G. S. Dzhususova [12], D. N. Begoun et al. [13] for classification and ranking of various territories according to the health status of the Russian Federation, the Kyrgyz Republic and the Republic of Kazakhstan.

The analysis of existing mathematical models for assessing the health of the population of the territory and the study of them in spatial and temporal aspects over the past thirty years at individual regional levels shows the need to study these medical and demographic processes in all catchment areas of river basins, which perform important environment-forming and ecological functions, in order to understand the results of anthropogenic activity in light of modern environmental problems.

The aim of the study is to assess the health of the population of the administrative districts of the Kyzylorda region based on an integral indicator.

Research materials and methods. State statistical reporting data from the Sagadat Kairbekova National Scientific Center for Health Development for the period 2000–2022 were used as the initial information for the integrated assessment of the health status of the population of the Kyzylorda region by administrative district.

The selection of population health indicators for analysis was carried out on the basis of data from approved annual reporting forms generated by the Republican State Enterprise on the Right of Economic Management «Republican Center for Electronic Healthcare» of the Ministry of Digital Development, Innovation and Aerospace Industry of the Republic of Kazakhstan, which include population morbidity registered for the first time in life (NRC_i), neoplasms (NAD_i), diseases of the genitourinary system (UGD_i), diseases of the digestive system (GD_i) per 1,000,000 people and the mortality rate (NR_i) per 1,000 people.

The research methodology is based on the methodological approaches of Zh. S. Mustafayev and M. B. Mustafayeva aimed at developing an algorithm for calculating the integral indicator using the theory of regression-correlation analysis [5], the amplitude of the range of statistical indicators, the method of situation analysis, the theory of events and average values, allowing for an assessment of the medical and demographic status, both at the current moment and for the forecast period, based on an assessment of the change trend using linear trends.

Research results. On the expanded and modified methodology for calculating integrated indicators of population health, scientific and methodological approaches were determined for conducting an integrated assessment of the health of the population of the Kyzylorda region in the context of administrative districts in spatial and temporal aspects.

Within the framework of the research objective, based on the created research resource base, on statistical data on the incidence of the population registered for the first time in life (NRC_i), neoplasms (NAD_i), diseases of the genitourinary system (UGD_i), diseases of the digestive organs (GD_i) per 1,000,000 people and the mortality rate (NR_i) per 1,000 people for 2000-2022, an algorithm for its implementation was developed, consisting of two blocks: determining the weighting coefficient for types of morbidity and assessment of the integrated indicator of health of the territory's population.

The composition and structure of mathematical models for assessing the integral indicator of population health in a territory typically include a weighting coefficient reflecting the significance and relative importance of each type of disease. To determine the weighting coefficients, the methodological approach of M. B. Mustafayeva and Zh. S. Mustafayeva was used [5-8]. This approach is based on calculating average values and their relative significance, derived from the theory of mathematical statistics, that is, the range of statistical indicators, based on a research database created by the Sagadat Kairbekova National Scientific Center for Healthcare Development for 2000-2022.

To solve multi-criteria problems, various methods are used to transform the natural values of particular indicators for types of morbidity into a dimensionless indicator according to the following formula:

$$DIR_i = NIR_i / AMMR_i = NIR_i / [(1/n) \sum_{i=1}^n NIR_i], \quad (1)$$

where DIR_i – is the coded value of dimensionless indicators by type of morbidity, in the form of a modular coefficient; NIR_i – natural values of private indicators by types of morbidity; $AMMR_i$ – arithmetic mean values of particular indicators by types of morbidity; n – the number of years of presented natural values of particular indicators by types of morbidity.

Based on the parameter of relative dispersion of statistical indicators by types of morbidity, it is possible to determine the amplitude of the range of statistical indicators by type of morbidity according to the following formula:

$$ASDIR_i = [(DIR_{maxi} - DIR_{mini})/DIR_{maxi}] = \Delta DIR_i/DIR_{maxi}, \quad (2)$$

where DIR_{maxi} – maximum values of dimensionless indicators by types of morbidity for the period under review; DIR_{mini} – minimum values of dimensionless indicators by types of morbidity for the period under review; ΔDIR_i – amplitude the range of statistical indicators of the dimensionless indicator by type of morbidity for the period under review.

The weighting coefficient for types of morbidity, reflecting the significance and relative importance of each type of morbidity, is determined by the following formula:

$$WCPYI_i = ASDIR_i / \sum_{i=1}^n ASDIR_i, \quad (3)$$

where n_i – the number of indicators used by type of disease.

The proposed method for determining the weighting coefficient for types of disease was tested in assessing the health of the population of the Kyzylorda region by administrative districts (table 1).

Table 1 – Determination of weighting factors for types of morbidity in the context of administrative districts of the Kyzylorda region

Administrative regions	Types of morbidity				
	NRC_i	NAD_i	UGD_i	GD_i	NR_i
Aral	0.1526	0.3071	0.1827	0.2056	0.1519
Kazalinsky	0.1533	0.3084	0.1569	0.2194	0.1621
Karmakchinsky	0.1309	0.2649	0.2303	0.2351	0.1388
Zhalagashsky	0.1323	0.3264	0.1766	0.2675	0.0973
Syr Darya	0.1184	0.2919	0.2190	0.2513	0.1193
Shieliyinsky	0.1346	0.3318	0.1848	0.2353	0.1135
Zhanakurgan	0.1413	0.3168	0.1612	0.2246	0.1560
The city of Kyzylorda	0.1317	0.2667	0.1515	0.2962	0.1539
Kyzylorda region	0.1111	0.3511	0.1556	0.2489	0.1333

A multiparameter assessment of the health of the population of the Kyzylorda region based on an integral indicator involves the use of a single criterion based on the method for calculating the integral indicator of the health status of the population by M. B. Mustafayeva et al. [14], as a generalized indicator, which is an equation of one of the classical Pythagorean means or geometric mean, arising from the Euclidean measure, which simultaneously takes into account the complex influence of various factors and summarizes information on various aspects of the health status of the population.

The coded value of the dimensionless indicator for the types of morbidity (DIR_i) is reduced to the corresponding values of the reliability of the probability of occurrence of particular morbidity indicators according to a nonlinear function similar to the normal distribution function, that is, it is determined by the exponential function:

$$PDIR_i = \exp[-\exp(-DIR_i)], \quad (4)$$

where $PDIR_i$ is the probability of occurrence of particular indicators for types of morbidity in the territory.

The integral indicator of the population's health in a given territory is defined as the geometric mean of the probabilities of occurrence of specific indicators by types of morbidity in the territory, taking into account a weighting coefficient that reflects their significance and relative importance, according to the following expression:

$$SPDIR_i = \sqrt[n]{\prod_{i=1}^n PDIR_i \cdot WCPVI_i}, \quad (5)$$

where $SPDIR_i$ is the sum of the probabilistic occurrence of particular indicators for types of morbidity in the territory; $WCPVI_i$ – weighting coefficient for types of morbidity.

This methodological approach for assessing the integral indicator of population health in a territory allows us to translate the actual values of the parameters into a single dimensionless numerical Harrington

scale with fixed boundaries from 0 to 1 into five sub-ranges: [0; 0.2] – «very bad», [0.2; 0.37] – «bad», [0.37; 0.63] – «satisfactory», [0.63; 0.8] – «good», [0.8; 1] – «very good», displaying private quantitative scales in generalized scales of quality criteria [15].

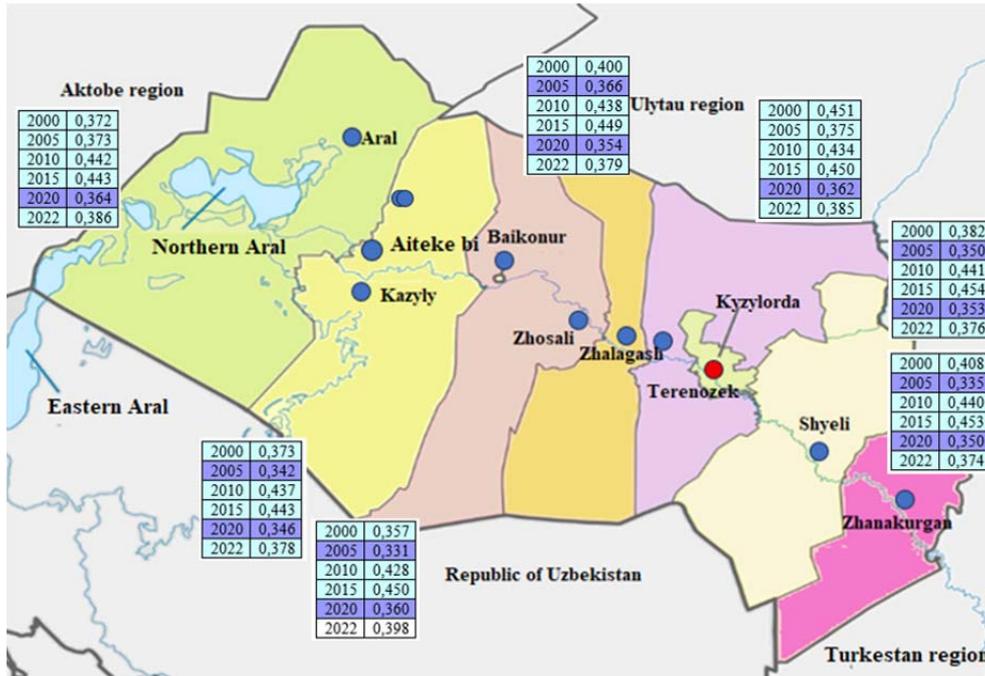
Based on the proposed methodology for calculating the integrated indicator of population health in the territory, which simultaneously takes into account the complex influence of various factors and summarizes information on various aspects of the health status of the population, their quantitative values were determined in the context of administrative districts of the Kyzylorda region in the period from 2000 to 2022, which was implemented in the Excel software shell (table 2).

Table 2 – An integrated indicator for assessing the health status of the population of the Kyzylorda region by administrative districts

Years	Administrative regions								Kyzylorda region
	Aral	Kazalinsky	Karmakchinsky	Zhalagashsky	Syr Darya	Shieliynskiy	Zhana-Kurgansky	city Kyzylorda	
2000	0.372	0.373	0.357	0.400	0.451	0.382	0.408	0.374	0.381
2001	0.372	0.395	0.407	0.386	0.396	0.349	0.379	0.374	0.370
2002	0.285	0.314	0.395	0.321	0.272	0.324	0.315	0.368	0.304
2003	0.304	0.297	0.261	0.335	0.317	0.307	0.358	0.390	0.323
2004	0.350	0.345	0.334	0.362	0.318	0.312	0.329	0.393	0.347
2005	0.373	0.342	0.331	0.366	0.375	0.350	0.335	0.264	0.328
2006	0.372	0.390	0.345	0.352	0.322	0.370	0.351	0.287	0.327
2007	0.350	0.356	0.402	0.307	0.388	0.407	0.320	0.402	0.355
2008	0.369	0.370	0.359	0.372	0.362	0.372	0.365	0.351	0.376
2009	0.427	0.424	0.417	0.434	0.421	0.431	0.422	0.413	0.438
2010	0.442	0.437	0.428	0.438	0.434	0.441	0.440	0.425	0.449
2011	0.456	0.458	0.457	0.465	0.460	0.466	0.460	0.450	0.473
2012	0.453	0.454	0.445	0.454	0.451	0.458	0.451	0.443	0.461
2013	0.462	0.457	0.456	0.461	0.459	0.463	0.456	0.453	0.468
2014	0.445	0.441	0.443	0.440	0.441	0.444	0.446	0.438	0.448
2015	0.443	0.443	0.450	0.449	0.450	0.454	0.453	0.446	0.455
2016	0.472	0.481	0.454	0.482	0.473	0.482	0.486	0.476	0.490
2017	0.353	0.352	0.364	0.346	0.353	0.348	0.354	0.371	0.348
2018	0.313	0.310	0.314	0.300	0.304	0.300	0.315	0.326	0.298
2019	0.316	0.307	0.317	0.301	0.305	0.300	0.308	0.328	0.300
2020	0.364	0.346	0.360	0.354	0.362	0.353	0.350	0.367	0.348
2021	0.375	0.372	0.385	0.380	0.376	0.372	0.373	0.390	0.369
2022	0.386	0.378	0.398	0.379	0.385	0.376	0.374	0.402	0.375

Calculations of the integrated indicator for assessing the health status of the population of Kyzylorda Oblast demonstrate significant spatial differentiation in quality of life both across the region as a whole and within administrative districts. An integrated assessment of population health across spatial and temporal aspects of Kyzylorda Oblast revealed that large administrative districts have approximately equal levels of integrated indicators. Most regions fell within the assessment range of 0.37–0.63 (satisfactory). The best integrated indicator value did not exceed 0.486, which is observed in the Zhanakurgan district, and the worst was within 0.285, which was observed in the Aral district.

It should be noted that the quantitative values of the integral indicator of population health in the Kyzylorda region, obtained in spatial and temporal aspects, broken down by administrative districts showed that out of 207 quantitative indicators, according to the Harrington scale, 89 are within the «poor» range, and 118 are «satisfactory», which allows us to identify the most problematic areas and determine the main development trends.



Map of the zoning of the Kyzylorda region by administrative districts based on the integrated indicator of population health

The integrated indicator of population health in a territory ($SPDIR_i$) is a specific value, which allows for its mapping and analysis of spatial changes. As part of the work to assess the integrated indicator of population health in the Kyzylorda $SPDIR_i$ region by administrative district, a zoning map has been presented characterizing the health status of the population, based on a philosophical approach that involves the transition of quantitative changes. in qualitative (figures).

One of the tools for solving the problem of differentiating regions by the general level of health of the population can be a model of an integrated indicator, built on the basis of the main health indicators, which are annually published in the state statistical reporting of the State Enterprise on the Right of Economic Management «National Scientific Center for Health Development named after Sagadat Kairbekova» and on the basis of special indicators developed by individual regions of the Republic of Kazakhstan.

Discussion. The results of quantitative methods of assessing the weighting coefficients for types of morbidity in the Kyzylorda region, based on solving multi-criteria problems, made it possible to identify their practical significance in the context of administrative districts:

- In the Aral region, among the relatively high weighting coefficients, there are neoplastic diseases (NAD_i) - 0.3071 and diseases of the digestive system (GD_i) - 0.2056. The weighting coefficients for diseases registered for the first time in life (NR_i) are 0.1526, for diseases of the genitourinary system (UGD_i) - 0.1827, and the mortality rate (MR) is 0.1520.

- In the Kazalinsky district, relatively high weighting coefficients are observed for neoplastic diseases (NAD_i) - 0.3084 and diseases of the digestive system (GD_i) - 0.2194. The weighting coefficients for diseases registered for the first time in life (NRC_i) are 0.1533, for diseases of the genitourinary system (UGD_i) - 0.1569, and the mortality rate (NR_i) is 0.1621.

- In the Karmakshinsky district, relatively high weighting coefficients are noted for neoplastic diseases (NAD_i) - 0.2649, diseases of the genitourinary system (DGS) - 0.2303 and diseases of the digestive system (GD_i) - 0.2351. The values for the NRC_i are 0.1309, and the mortality rate (NR_i) is 0.1388.

- In the Zhalagash district, relatively high weighting coefficients are observed for neoplastic diseases (NAD_i) - 0.3264 and diseases of the digestive system (GD_i) - 0.2675. The indicators for NRC_i are 0.1323, for UGD_i - 0.1766, the mortality rate (NR_i) is 0.0973.

- In the Syrdarya region, the weighting coefficients for neoplastic diseases (NAD_i) are 0.2919, for diseases of the genitourinary system (UGD_i) - 0.2190, for diseases of the digestive system (GD_i) - 0.2513. The values for the NRC_i are 0.1184, and the mortality rate (NR_i) is 0.11193.

- In the Shieli district, relatively high weighting coefficients are noted for neoplastic diseases (NAD_i) - 0.3318 and diseases of the digestive system (GD_i) - 0.2353. The indicators for NRC_i are 0.1346, for UGD_i - 0.1848, the mortality rate (NR_i) - 0.1135.

- In the territory of the Zhanakurgan district, relatively high weighting coefficients are characteristic of neoplastic diseases (NAD_i) - 0.3168 and diseases of the digestive system (GD_i) - 0.2246. The values for the NRC_i are 0.1413, for the UGD_i - 0.1612, the mortality rate (NR_i) - 0.1560.

- In the city of Kyzylorda, relatively high weighting coefficients are observed for neoplastic diseases (NAD_i) - 0.2667 and diseases of the digestive system (GD_i) - 0.2962. The indicators for NRC_i are 0.1317, for UGD_i - 0.1515, the mortality rate (NR_i) is 0.1539.

In general, in the Kyzylorda region, relatively high weighting coefficients are observed for neoplastic diseases (NAD_i) - 0.3511 and diseases of the digestive system (GD_i) - 0.2489. The weighting coefficients for diseases registered for the first time in life (NRC_i) are 0.1111, for diseases of the genitourinary system (UGD_i) - 0.1556, and the mortality rate (NR_i) is 0.1333.

The obtained results of the assessment of weighting coefficients for types of diseases in the Kyzylorda region in the context of administrative districts reflect the state of the environment, determined by the quality of surface water resources and atmospheric air, which perform important environmental functions for the population.

An analysis and assessment of the development of medical and demographic processes based on the time series of the integrated health indicator of the population of Kyzylorda Oblast by administrative district (Table 1) allows us to determine trends in their change over time. These trends were identified using the linear trend method and Microsoft software. Excel (Table 3).

Table 3 – Linear correlation model of the integral indicator of population health ($SPDIR_i$) of the Kyzylorda region by administrative districts

Administrative districts	Equation	Index determinations (R^2)
Aral	$SPDIR_i = 0,0018 \cdot SNY_i + 0,3637$	0.0477
Kazalinsky	$SPDIR_i = 0,0011 \cdot SNY_i + 0,3713$	0.0180
Karmakshinsky	$SPDIR_i = 0,0015 \cdot SNY_i + 0,3682$	0.0346
Zhalagashsky	$SPDIR_i = 0,0007 \cdot SNY_i + 0,3783$	0.0063
Syr Darya	$SPDIR_i = 0,0009 \cdot SNY_i + 0,3753$	0.0098
Shieliyinsky	$SPDIR_i = 0,0013 \cdot SNY_i + 0,3696$	0.0224
Zhanakurgan	$SPDIR_i = 0,0010 \cdot SNY_i + 0,3725$	0.0151
city Kyzylorda	$SPDIR_i = 0,0016 \cdot SNY_i + 0,3691$	0.0409
Kyzylorda region	$SPDIR_i = 0,0014 \cdot SNY_i + 0,3672$	0.0234

The results of research in the field of health care show (Table 2) that in the lower reaches of the Syr Darya River, within the Kyzylorda region, the integral indicator of population health ($SPDIR_i$) in the context of administrative districts, as a dynamic-stochastic process, can be represented by a regression equation of the following type:

$$SPDIR_i = 0,0018 \cdot SNY_i + 0,3637, \quad (6)$$

where $SPDIR_i$ is the integral indicator of population health; a – regression coefficient; b – indicator characterizing the increase in the next value of the time series; SNY_i – period number or ordinal number of the year.

In equation (6), the first terms express the random component of population health development in spatial and temporal aspects, while the last term reflects the deterministic part of this process. This indicates the presence of a trend that is a function of time, which can serve as the basis for long-term forecasting of the state of healthcare in Kyzylorda Oblast by administrative district.

Based on the linear trend equation for the integral population health indicator ($SPDIR_i$), we can determine the minimum, maximum, and average arithmetic values, as well as the absolute growth ($AISI_i$), growth rate ($QRIUS_i$), and growth coefficient ($GRIUS_i$) of the studied indicators. These parameters allow

Table 4 – Statistical estimates of the trend of change in the integral indicator of population health by administrative districts of the Kyzylorda region of the Republic of Kazakhstan.

Administrative districts	Statistical characteristics			Statistical indicators		
	$SPDIR_i$		AVI_i	$AISI_i$	$QRIUS_i$	$GRIUS_i$
	max	min				
Aral	0.472	0.285	0.385	0.040	0.002	1.108
Kazalinsky	0.481	0.297	0.384	0.024	0.001	1.065
Karmakshinsky	0.457	0.261	0.386	0.033	0.001	1.089
Zhalagashsky	0.482	0.300	0.386	0.015	0.001	1.041
Syr Darya	0.473	0.272	0.386	0.020	0.001	1.053
Shieliyinsky	0.482	0.300	0.385	0.029	0.001	1.077
Zhanakurgan	0.486	0.308	0.385	0.022	0.001	1.059
city Kyzylorda	0.476	0.264	0.388	0.035	0.002	1.095
Kyzylorda region	0.490	0.298	0.384	0.031	0.001	1.084

us to identify the quantitative and qualitative characteristics of their change trends over a certain period of time (table 4).

An analysis of the dynamics of the integrated health indicator of the population of the Kyzylorda region by administrative district for the period 1932–2021 allows for a comprehensive assessment of the health status of the region's population in the current period:

- Aral region. The trend of change in the integral health indicator is positive: values vary from 0.372 to 0.386; arithmetic mean - 0.385; maximum - 0.472; minimum - 0.285. The absolute increase is – «+» 0.040, the growth rate is «+» 0.002, the growth coefficient is «+» 1.108 over 23 years.

- Kazalinsky district. The trend is positive: changes from 0.373 to 0.378; arithmetic mean - 0.386; maximum - 0.481; minimum - 0.297. Absolute increase – «+» 0.024, growth rate – «+» 0.001, growth coefficient – «+» 1.065 over 23 years.

- Karmakshinsky district. Positive trend: from 0.357 to 0.398; arithmetic mean - 0.386; maximum - 0.457; minimum - 0.261. Absolute increase – «+» 0.033, growth rate – «+» 0.001, growth coefficient – «+» 1.089 over 23 years.

- Zhalagash district. The trend is positive: from 0.400 to 0.379; arithmetic mean - 0.386; maximum - 0.482; minimum - 0.300. Absolute increase – «+» 0.015, growth rate – «+» 0.001, growth coefficient – «+» 1.041 over 23 years.

- Syrdarya district. The trend is positive: from 0.451 to 0.385; arithmetic mean - 0.386; maximum - 0.473; minimum - 0.272. Absolute increase – «+» 0.020, growth rate – «+» 0.001, growth coefficient – «+» 1.053 over 23 years.

- Shieli district. Positive trend: from 0.382 to 0.376; arithmetic mean - 0.385; maximum - 0.482; minimum - 0.300. Absolute increase – «+» 0.029, growth rate – «+» 0.001, growth coefficient – «+» 1.077 over 23 years.

- Zhanakurgan district. The trend is positive: from 0.408 to 0.374; arithmetic mean - 0.385; maximum - 0.486; minimum - 0.308. Absolute increase – «+» 0.022, growth rate – «+» 0.001, growth coefficient – «+» 1.059 over 23 years.

- The city of Kyzylorda. The trend is positive: from 0.304 to 0.402; arithmetic mean - 0.388; maximum - 0.476; minimum - 0.264. Absolute increase – «+» 0.035, growth rate – «+» 0.002, growth coefficient – «+» 1.095 over 23 years.

Overall, the trend in the Kyzylorda region is positive: from 0.381 to 0.375; arithmetic mean - 0.384; maximum - 0.490; minimum - 0.298. Absolute increase – «+» 0.031, growth rate – «+» 0.001, growth coefficient – «+» 1.084 over 23 years.

The resulting integrated health indicators for the Kyzylorda region's population, broken down by administrative district, are a valuable tool for assessing and forecasting the state of public health. They demonstrate the multidimensional nature of the data obtained and enable a comprehensive analysis of the territory, taking into account not only the absolute values of individual indicators but also the direction of their dynamics.

The statistical analysis of the main indicators of the state of health of the population and its integrated assessment of the Kyzylorda region by administrative districts, as well as the formulated conclusions, can serve as a tool for analyzing and forecasting the state of health of the population and be the most important guidelines for social policy and the healthcare system.

Conclusions. Based on the developed methodological approach, the created database and research results provide a ready-to-use tool for developing measures to ameliorate spatial differences in quality of life among the population of Kyzylorda Oblast across administrative districts. Furthermore, the database and research results can be updated and used by management and supervisory bodies to assess the integrated health indicator of the population; in particular, it can be used to annually determine quality of life rankings by district. A detailed analysis of the obtained calculated data in spatial and temporal aspects shows that the quantitative assessment of the quality of life can be improved to achieve greater objectivity by justifying a change in the number of morbidity indicators selected for assessment.

REFERENCES

- [1] Medik V. A., Tokmachev M. S. *Mathematical statistics in medicine: a textbook, a manual*. M.: Finance and statistics, 2007. 800 p. (in Russ.).
- [2] Kiryanov B. F. Study of the dynamics of the integral indicator of health of the population of Russia // *International Journal of Applied and Fundamental Research*. 2009. No. 3. P. 42-0; EDN: LDNONP (in Russ.).
- [3] Kiryanov B. F., Tokmachev M. S. *Mathematical models in healthcare*. Veliky Novgorod: Novgorod State University named after Yaroslav the Wise, 2009. P. 277 (in Russ.).
- [4] Kulak, A. G. *Analysis and modeling of population health indicators: monograph*. Minsk: Misanta, 2011. 219 p. (in Russ.).
- [5] Mustafayeva M. B., Mustafayev Zh. S. Assessment of the sanitary and hygienic condition in the lower reaches of the Syr Darya River // *Higher school: scientific research. Proceedings of the Interuniversity International Congress*. Moscow, 2025. Vol. 2. P. 72-83 (in Russ.).
- [6] Mustafayeva M. B., Mustafayev Zh. S. Assessment of the Sanitary and Hygienic Condition in the Lower Reaches of the Syr Darya River // *Higher School: Scientific Research. Proceedings of the Interuniversity International Congress*. Moscow: Infinity Publishing House, 2025. Vol. 2. P. 72-83 (in Russ.).
- [7] Mustafayeva M. B., Mustafayev Zh. S. Comparative Assessment of Morbidity in the Population of the Republic of Kazakhstan and the Kyzylorda Region Located in the Man-Made Disaster Zones of the Lower Reaches of the Syr Darya River // *Collection of Scientific Articles Based on the Results of the International Scientific Forum «Scientific Dialogue: Theory and Practice»*. Moscow: Infinity Publishing House, 2025. Vol. 2. P. 85-95 (in Russ.).
- [8] Mustafayev Zh. S., Mustafayeva M. B. Mathematical modeling of integral indicators for assessing population health // *International Journal of Applied and Fundamental Research*, 2025. No. 11. P. 11-15 (in Russ.).
- [9] Shakirova Yu. A. Analysis of the spatial distribution of population morbidity as a complex integral indicator of environmental quality (using the Republic of Tatarstan as an example): Abstract of a dissertation for the degree of Candidate of Geographical Sciences. Astrakhan, 2009. 24 p. (in Russ.).
- [10] Kiryanov B. F. On the problem of determining the weight coefficients of parameters of linear models of integral quality indicators // *Bulletin of Novgorod State University*. 2007. No. 44. P. 33-37. <https://applied-research.ru/ru/article/view?id=6> (date of access: 18.11.2025) (in Russ.).
- [11] Ramonov A. V. The system of integrated indicators of population health: methodology of analysis and potential applications in Russia: Abstract of a dissertation for the degree of candidate of sociological sciences. Moscow, 2013. 28 p. (in Russ.).
- [12] Ibraimova G. I., Dzhunusova G. WITH. Integral assessment of population health in the regions of the Kyrgyz Republic: medical and demographic aspect // *Bulletin of the National Academy of Sciences of the Kyrgyz Republic*. 2021. No. 1. P. 64-71. EDN: ZBJRXX (in Russ.).
- [13] Begoun D.N., Bulycheva E.V., Duisembayeva A.N., Borshchuk E.L., Omarova D.S. Modern approaches to the integrated assessment of public health in domestic practice and in the Republic of Kazakhstan // *Health of the metropolis*. 2024. Vol. 5, Issue. P. 141-152. <https://doi.org/10.47619/2713-2617.zm.2024.v.5i3;141-152>. (in Russ.).
- [14] Mustafayeva M. B., Mustafayev Zh. S., Shapalov Sh. K., Semyonov V. V., Abdeshev K. B. Assessment of population health in the lower reach of the Syrdarya river in spatial and temporal dimensions // *Geography and water resources*. 2025. No. 3. P. 158-167.
- [15] Harrington EC The desirable function // *Industrial Quality Control*. 1965. Vol. 21, No. 10. P. 124-131.

М. Б. Мұстафаева¹, Ж. С. Мұстафаев^{*2}, Ш. К. Шапалов³, В. В. Семенов⁴, Қ. Б. Абдешев⁵

¹ Доктарант PhD (М. Әуезов атындағы Оңтүстік-Қазақстан мемлекеттік университеті, Шымкент, Қазақстан; mminayim00@mail.ru)

² *Техника ғылымдарының докторы, профессор, бас ғылыми қызметкер, «География және су қауіпсіздігі институты» АҚ, Алматы, Қазақстан; z-mustafa@rambler.ru)

³ PhD, профессор (М. Әуезов атындағы Оңтүстік-Қазақстан мемлекеттік университеті, Шымкент, Қазақстан; shermahan_1984@mail.ru)

⁴ Техника ғылымдарының докторы, профессор (Санкт-Петербург мемлекеттік технологиялық институты, Санкт-Петербург, Ресей Федерациясы; semenovv50@yandex.ru)

⁵ PhD, қауымдастық профессор (М. Әуезов атындағы Оңтүстік-Қазақстан мемлекеттік университеті, Шымкент, Қазақстан; abdeshev.kuanysheva@mail.ru)

ИНТЕГРАЛДЫҚ КӨРСЕТКІШ НЕГІЗІНДЕ ҚЫЗЫЛОРДА ОБЛЫСЫНДАҒЫ ХАЛЫҚ ДЕНСАУЛЫҒЫН КӨППАРАМЕТРЛІК БАҒАЛАУ

Аннотация. Зерттеу пәні - интегралдық көрсеткіш функциясын қолдана отырып, Қызылорда облысы халқының денсаулық жағдайын әкімшілік аудандар бойынша бағалау. Зерттеудің мақсаты - халық денсаулығын интегралдық көрсеткіші арқылы бағалаудың және аурудың түрі бойынша оның салмақтың көрсеткішін есептеу жүйесін әзірлеу. Зерттеуді жүргізу барысында жүйелік және салыстырмалы талдау әдістері, сондай-ақ математикалық және еліктеушілік үлгілері қолданылады.

Зерттеу барысында келесі нәтижелер алынды: халық денсаулығының бағалаудың интегралдық көрсеткішін және аурушандық түрлері үшін салмақтық көрсеткіштерді есептеудің әдістемелік жүйесі дайындалды; ұсынылған теориялық мақсаттар Қызылорда облысындағы 2000-2022 жылдар аралығындағы денсаулық сақтау бойынша ұзақ мерзімді ресми статистикалық деректерді пайдалана отырып тексерілді; алынған нәтижелер зерттеу кезеңінде Қызылорда облысы халқының денсаулық жағдайының қолайлы интегралдық көрсеткіштері бар әкімшілік аудандардың санының аз екенін көрсетті. Тұрақты бағалау режимінде қолданылатын халық денсаулығын кешенді бағалаудың әзірленген математикалық үлгілері мен есептеу жолдары Қызылорда облысындағы қоғамдық денсаулық сақтаудың аймақтық ерекшеліктерін түсінуге мүмкіндік береді. Қолданбалы әдістің артықшылықтары, ол стандартты статистикалық көрсеткіштерді пайдалану, нәтижелерді алудың және оларды түсіндірудің салыстырмалы қарапайымдылығы және талдау мақсаттарына байланысты түзету мүмкіндігі болып табылады.

Түйін сөздер: статистикалық көрсеткіштер; интегралдық денсаулық көрсеткіші; сызықтық теңдеу; денсаулық динамикасы.

М. Б. Мұстафаева¹, Ж. С. Мұстафаев^{*2}, Ш. К. Шапалов³, В. В. Семенов⁴, Қ. Б. Абдешев⁵

¹ Доктарант PhD (Южно-Казахстанский государственный университет им. М. Ауезова, Шымкент, Казахстан; mminayim00@mail.ru)

² *Д. т. н., профессор, главный научный сотрудник (АО «Институт географии и водной безопасности», Алматы, Казахстан; z-mustafa@rambler.ru)

³ PhD, профессор (Южно-Казахстанский государственный университет им. М. Ауезова, Шымкент, Казахстан; Shermakhan_1984@mail.ru)

⁴ Д. т. н., профессор (Санкт-Петербургский государственный технологический институт, Санкт-Петербург, Российская Федерация; semenovv50@yandex.ru)

⁵ PhD, ассоциированный профессор (Южно-Казахстанский государственный университет им. М. Ауезова, Шымкент, Казахстан; abdeshev.kuanysheva@mail.ru)

МНОГОПАРАМЕТРИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА ЗДОРОВЬЯ НАСЕЛЕНИЯ КЫЗЫЛОРДИНСКОЙ ОБЛАСТИ НА ОСНОВЕ ИНТЕГРАЛЬНОГО ПОКАЗАТЕЛЯ

Аннотация. Исследованы оценки здоровья населения Кызылординской области в разрезе административных районов с использованием в качестве функции интегрального показателя. Разработан алгоритм оценки интегрального показателя здоровья населения и весового коэффициента по видам заболеваемости. Использовались методы системного и сравнительного анализа, математического и имитационного моделирования. Разработан алгоритм оценки интегрального показателя здоровья населения и весового коэффициента по видам заболеваемости; апробации предложенных теоретических идей проводились с использованием многолетних официальных статистических данных здравоохранения Кызылординской области за 2000-2022 годы. Результаты показали, что административных районов, благоприятных по интегральным показателям состояния здоровья населения области в период исследования, не оказалось. Созданные алгоритм и модель интегральной оценки здоровья населения, применяемые в режиме мониторинга, позволяют ориентироваться в региональных особенностях общественного здоровья населения Кызылординской области. Достоинствами метода являются использование стандартных статистических параметров, относительная простота получения результатов и их интерпретации, а также возможность корректировки в зависимости от целей анализа.

Ключевые слова: статистические показатели, интегральный показатель здоровья, линейные модели, динамика состояния здоровья.

<https://doi.org/10.55764/2957-9856/2026-1-136-149.13>

GTAMP 39.25.15

ӘӘЖ 911.3

**А. Ж. Мустафина*¹, Ж. И. Инкарова²,
Г. Ж. Нургалиева³, М. Қ. Джексенов⁴, Ж. К. Тухфатов⁵**

¹ * Докторант (Л. Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті, Астана, Қазақстан;
asemgul1985@mail.ru)

² Б. ғ. к., профессор (Л. Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті, Астана, Қазақстан;
inkarzh@mail.ru)

³ Ғ. ғ. к., профессор (Х. Досмұхамедов атындағы Атырау университеті, Атырау, Қазақстан;
nurgaliyevagzh@mail.ru)

⁴ Ғ. ғ. к. (Х. Досмұхамедов атындағы Атырау университеті, Атырау, Қазақстан; *ddm85@mail.ru*)

⁵ Ғ.-м. ғ. к. («Эмбамұнайгаз» АҚ, «Доссормұнайгаз» МҒӨБ, Атырау, Қазақстан; *zh.tuhfatov@kmgep.kz*)

АТЫРАУ ОБЛЫСЫ ХАЛҚЫНЫҢ ДЕНСАУЛЫҒЫН ҚОРШАҒАН ОРТАНЫҢ ТӘУЕКЕЛДІ БАҒАЛАУ ӘДІСІМЕН ЗЕРТТЕУ

Аннотация. Қоршаған ортаның тәуекелді бағалау әдісін қолдану - қазіргі экологиялық және қоғамдық денсаулық сақтау ғылымының ең өзекті бағыттарының бірі. Бұл зерттеу Атырау облысы тұрғындарының денсаулығына қоршаған ортаның химиялық факторларының әсерін бағалауға бағытталған. Зерттеу мақсаты - Атырау облысындағы қоршаған ортадағы химиялық факторлардың халық денсаулығына әсер ету деңгейін тәуекелді бағалау әдісі арқылы анықтап, медициналық-экологиялық жағдайдың аймақтық ерекшеліктерін сипаттау. Зерттеу әдістері ретінде элеуметтік-гигиеналық мониторинг, аймақтық экологиялық деректерді талдау, аурушандық көрсеткіштерін статистикалық салыстыру және тұрғындардың денсаулығына экологиялық тәуекелді кешенді бағалау формуласы қолданылды. Мұнай-газ өндірісінің қарқынды дамуы өңірдегі экологиялық жағдайдың нашарлауына әкеліп, тұрғындар арасында аурушандықтың өсуіне себеп болуда. Осыған байланысты тіршілік ортасының сапасын тиімді басқару және халық денсаулығын қорғау мақсатында бақылау мен бағалаудың ғылыми негізделген жүйесін әзірлеу аса маңызды. Мұндай жүйе қоршаған орта факторларының адам денсаулығына әсерін дер кезінде анықтауға, сондай-ақ қауіп-қатер деңгейін төмендетуге мүмкіндік береді. Зерттеу нәтижелері Атырау облысы тұрғындарының денсаулығын жақсарту және қоршаған орта қауіпсіздігін қамтамасыз ету шараларын жетілдіруге бағытталған.

Түйін сөздер: халықтың аурушандығы, элеуметтік-гигиеналық мониторинг, эпидемиологиялық тәуекел, экологиялық жағдай, аурушандық тәуекелін бағалау.

Кіріспе. Қоршаған ортаға химиялық факторлардың теріс әсері Атырау облысы тұрғындарының денсаулығы мен ауру көрсеткіштеріне әсерін зерттеу қазіргі география және экология саласындағы ең өзекті мәселелердің бірі. Бұл мәселенің маңыздылығын облыстың мұнай-газ өндірісі дамыған аудандарындағы тұрғындардың денсаулық жағдайының нашарлауына байланысты теріс тенденциялардың сақталуы айқын көрсетеді. Адам организмінің қоршаған орта жағдайларына бейімделуін қамтамасыз ететін реттеуші жүйелер арасында ерекше орын тыныс алу жүйесіне тиесілі, алайда ол Атырау облысының қоршаған орта химиялық факторларының теріс әсеріне ең сезімтал жүйе болып табылады [1].

Тіршілік ортасының сапасын тиімді басқарудың негізгі шарттарының бірі - халық денсаулығы көрсеткіштерін бақылаудың оңтайлы жүйесін әзірлеу. Бұл жүйенің түпкі нәтижесі - қоршаған ортадағы қауіп-қатер факторларының әсерін азайту арқылы азаматтардың денсаулығын жақсарту.

Қоршаған ортаның зиянды факторларының халық денсаулығына жағымсыз әсер ету ықтималдығын сандық тұрғыда бағалау мақсатында қазіргі уақытта элеуметтік-гигиеналық мониторинг (ЭГМ) шеңберінде қауіп-қатерді бағалау әдіснамасы кеңінен қолданылады. Ресей Федерациясындағы қоршаған орта жағдайы мен халық денсаулығының қалыптасуына орта факторларының ықпалын талдау нәтижелері бойынша, жұқпалы емес аурулар құрылымындағы ең жоғары үлес (~70 %) әртүрлі химиялық қосындылармен ластанған атмосфералық ауаның әсеріне тиесілі екені анықталған [2].

Қазіргі уақытта аурушандық деңгейінің әртүрлі көрсеткіштері өнеркәсіптік және өнеркәсіптік емес аумақтарда да тіркеліп отыр. Бұл жағдай халықтың денсаулығына қоршаған ортаның (табиғи-климаттық, әлеуметтік-экономикалық, экологиялық, медициналық және басқа да) қолайсыз факторларының әсерінен қалыптасатын жергілікті денсаулық нұсқаларын сипаттайды. Мұндай факторларды алдын алу шараларды әзірлеу барысында міндетті түрде ескеру қажет. Жекелеген аумақтардағы халықтың аурушандық қаупі аталған облыстағы денсаулық көрсеткіштерінің аймақтық популяциялық денсаулық үлгісінен ауытқу деңгейін сипаттайтын индикатор ретінде пайдаланылуы мүмкін [3].

Зерттеу материалдары мен әдістері. Популяциялық денсаулықтың жергілікті нұсқаларын айқындау үшін аурушандықтың тіркелген деңгейлері жөніндегі статистикалық деректер (статистикалық есеп материалдары) негізінде салыстырмалы және атрибутті қауіп-қатерді бағалау әдістерін тиімді пайдалануға болады [4, 5].

Қоршаған орта факторларының халық денсаулығына әсерін бағалау әдіснамасының дамуына шетелдік зерттеушілердің арасында ерекше орын Dennis J. Paustenbach (АҚШ) және Roel Vermeulen (Нидерланд) ғалымдары елеулі үлес қосты. Олардың ғылыми еңбектері экологиялық тәуекелді бағалаудың және экологиялық эпидемиологияның заманауи тұжырымдамасын қалыптастыруда маңызды рөл атқарды. Америкалық ғалым Dennis J. Paustenbach қазіргі заманғы экологиялық және санитарлық-гигиеналық тәуекелді бағалау бағытының негізін қалаушылардың бірі. Ол адамның ластаушы заттармен байланысы кезінде қолайсыз әсерлердің пайда болу ықтималдығын есептеуге мүмкіндік беретін әдістерді әзірледі [6].

Голландиялық профессор Roel Vermeulen қоршаған орта эпидемиологиясы саласындағы заманауи әдістемелік тәсілдерді дамытып келеді. Оның зерттеу әдістері адамның өмір бойы орта факторларының жиынтық әсерін кешенді түрде зерттеуге бағытталған. Ғалым ұсынған тәсілдер қоршаған орта факторларының кеңістіктік және уақыттық өзгерістерін ескеруге мүмкіндік береді. Ол экологиялық және эпидемиологиялық деректерді, сондай-ақ геномика, метаболомика сияқты «омикс» технологияларын біріктіре отырып, қоршаған ортаның денсаулыққа әсерін жан-жақты бағалайды. Сонымен қатар Roel Vermeulen кеңістіктік-уақыттық модельдеу, геоақпараттық жүйелер (ГИС), спутниктік деректер мен жеке экспозициялық мониторинг әдістерін пайдаланады. Бұл тәсілдер адамның өмір сүру ортасындағы факторлардың нақты әсерін анықтауға және экологиялық тәуекелдерді дәл бағалауға мүмкіндік береді [7].

Авторлардың зерттеулері Ресей федерациясының «Ангар Мемлекеттік техникалық Академиясының» ғалымдарының А. В. Прусакова, В. М. Прусаков, В. Л. Прусаков зерттеулеріне негізделінген. Осы зерттеуде популяциялық денсаулықтың жергілікті нұсқасының бір элементі ретінде аумақ бойынша халықтың аурушандығының эпидемиологиялық қауіп-қатер көрсеткіштерін айқындауға арналған әдістемелік тәсілдерді қолдану алгоритмі келесі міндеттерді шешу арқылы ұсынылады:

Тіршілік ету ортасының өңірлік климаттық-географиялық ерекшеліктерімен қалыптасатын популяциялық денсаулықтың өңірлік типінің құрамдас бөлігі ретінде шартты облыстың фондық аурушандық деңгейін анықтау. Бұл үшін статистикалық әдісті қолдану орынды, оған сәйкес фондық көрсеткіштер ретінде қоршаған орта нысандарын ластайтын елеулі көздері жоқ немесе ондай көздердің ықпалы болмашы ғана әкімшілік аумақтардағы денсаулықтың i -ші бұзылысы көрсеткішінің (P_{ij}) вариациялық қатарларынан алынатын статистикалық сипаттамаларды пайдалану ұсынылады. Бұл кезде шамадан тыс жоғары немесе төмен «шығатын» мәндерді алып тастау үшін тиісті статистикалық тәсілдер қолданылады [8].

Өндірістік және өндірістік емес әкімшілік аумақтардағы халық денсаулығының жергілікті нұсқаларын халықтың өмір сүру ортасындағы жағымсыз жергілікті факторлардың ерекшеліктерімен қалыптасатын жекелеген аурулар кластарымен және олардың үйлесімдерімен сырқаттанушылықтың салыстырмалы қауіп деңгейі бойынша анықталады. Эпидемиологиялық салыстырмалы қауіпті (RR_{ij}) j -аумақтағы j -денсаулық бұзылысының қарқындылық көрсеткіші (салыстырмалы немесе стандартталған) бұзылыстың (немесе бақылау) ($P_{\phi j}$) фондық аумақтағы көрсеткішіне қатынасы ретінде есептеледі:

$$RR_{ij} = \frac{P_{ij}}{P_{\phi j}}. \quad (1)$$

Өндірістік және өндірістік емес жеке аумақтардағы халықтың денсаулығының локальды ерекшеліктерін ескере отырып, белгілі бір аурулар класына жататын аурулардың салыстырмалы қаупі деңгейі арқылы медико-экологиялық жағдайдың (немесе экологиялық қолайсыздықтың) деңгейін анықтау жүргізілі. Бұл мақсатта [1] және [5] еңбектерінде ұсынылған классификациялар қолданылады. Олардың ішінен, статистикалық критерийлерге негізделген және сигмалық ауытқуларды ескеретін классификациясы артықшылыққа ие. Өндірістік және өндірістік емес жеке аумақтардағы популяциялық денсаулықтың локальды нұсқаларын қалыптастыратын жетекші аурулар класстарын салыстырмалы ауру қаупі деңгейі бойынша (салыстырмалы қауіптерді рейтингтеу және жоғары және өте жоғары ауру қаупі бар жетекші экотәуелді аурулар класстарын анықтау арқылы) айқындау.

Популяциялық денсаулықтың локальды нұсқаларын қалыптастыруда жеке аурулар класстарының үлесін ауру қаупінің атрибуттік деңгейі (AR_{ij}) арқылы анықтау, ол төмендегі формула бойынша есептеледі:

$$AR_{ij} = P_{ij} / P_{oi} \cdot [(R_{ij} - 1) / P_{ij}] \quad (2)$$

Мұндағы P_{ij} және P_{oi} – сәйкесінше i -класқа жататын аурулардың және барлық аурулардың салыстырмалы көрсеткіштері [8].

Популяциялық денсаулықтың локальды нұсқалары бар аумақтарда тұрғындардың ауру қаупін қалыптастыратын адаптациялық процестердің жетекші реттеу буындарын, сондай-ақ көпжылдық динамика деректерін ескере отырып, салыстырмалы және атрибуттік тәуекел деңгейлерін анықтау. Зерттелетін аумақтарда халықтың денсаулығы сапасын жақсарту үшін медико-экологиялық алдын алу шараларын әзірлеудің негізгі бағыттарын негіздеу [9].

Зерттеу нәтижелер. Ауру қаупін бағалау ретінде берілген алгоритмі Атырау облысының аумағында локальды нұсқаларды анықтау үшін қолданылды. Облыста әртүрлі экологиялық жүктемелері бар аудандар бар: атмосфералық ауаның жоғары және өте жоғары ластану деңгейіне ие мұнай-газ өндіру кешендері орналасқан – Атырау қаласы, Мақат, Жылыой, Исатай аудандары және сондай-ақ өндірістік емес аудандар, соның ішінде Индер және Махамбет аудандары кіреді (1-сурет) [10].



1-сурет – Атырау облысы табиғатты пайдалану картасы

Figure 1 – Nature use map of Atyrau region

Белгілі бір аумақтағы халық денсаулығының ерекшеліктері 2014–2024 жылдар аралығындағы деректер негізінде анықталды. Бағалау барысында барлық жас топтары арасында 1,9 және одан жоғары эпидемиологиялық салыстырмалы тәуекел деңгейімен сипатталатын аурулар класының таралуы ескерілді. Аумақтың денсаулық жағдайы (локальды типі) жалпы сырқаттанушылықтың тәуекел көрсеткіші бойынша бағаланды және ол экологиялық факторларға тәуелді аурулар класының саны мен солар арқылы анықталатын медико-экологиялық жағдайдың күрделілік деңгейіне (кернеулілігіне) қарай жіктелді.

1-кесте – Атырау облысының барлық тұрғындарының аурушандығы (100 000 адамға шаққанда)

Table 1 – Incidence of all residents of Atyrau region (per 100,000 people)

Аудандар	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024
Атырауская облысы	28451,4	28780,3	31203,8	32355,7	32469,5	31699,1	37046,3	39855,1	33922,7	34288,9	36578
к.Атырау	28623,5	27900,9	29011,9	31418,4	33166,8	33244,5	39031,1	43677,9	33190,6	31856,4	32486,7
Жылыой	43141,6	43656,1	44905,9	42401,5	38190	40578,1	48354,6	54979,8	50556,2	54649,8	59674,7
Индер	15732,7	16475,6	18534,2	21048,2	17994,7	18582,4	31335,2	27962,1	31852,6	33069,2	36567,6
Исатай	30399,8	29591,2	38486,4	41099,7	43122,4	37271,4	29561,6	39342,9	34977,8	37706	41909,2
Құрманғазы	27279,8	28350,3	35557,4	35062,3	32261,3	22262,3	30139,2	22333,3	25590,0	25731,8	27990,7
Қызылқоға	24292,5	27664,6	27609,4	24133,8	23155,5	22328,0	23059,1	27984,6	27931,1	25551,9	27432,3
Мақат	23995,6	28960,2	35774,9	38676,1	38558,6	32494,3	34088,2	28073,8	33976,5	46376,7	59688,8
Махамбет	13628,5	14595,9	16915,9	18270,8	20510,4	24722,0	24720,4	21058,7	18494,7	19463	24937,2

Атырау облысы және оның аудандары бойынша 2014–2024 жылдар аралығындағы аурушандық деңгейін көрсетеді (100 мың тұрғынға шаққандағы көрсеткіштер). Жалпы тенденциялар (Атырау облысы бойынша): 2014 жылы – 28 451,4 аурушандық көрсеткіші, ең төменгі көрсеткіш – 2015 жылы (27 800,3), ең жоғары көрсеткіш – 2021 жылы (39 851,3) және 2024 жылы – 36 578 мың адам сырқаттанған [11].

Жалпы алғанда, облыста аурушандық деңгейі біртіндеп өсіп отырған, әсіресе 2019 жылдан кейін күрт өсім байқалады. Бұл, мүмкін, экологиялық жағдайдың нашарлауымен немесе диагностика сапасының артуымен байланысты болуы мүмкін. Атырау қаласы: 2014 жылы – 26 023,5, 2021 жылы – 43 677,9 (ең жоғары), 2024 жылы – 42 456,7 адамды құрады. Қалада аурушандық деңгейі жыл сайын тұрақты түрде өсіп, 2021 жылы шарықтау шегіне жеткен. Бұл урбанизация, экология, өндірістік факторлар әсерінен болуы мүмкін.

Жылыой ауданы: 2014 жылы – 43 141,6, 2024 жылы – 59 647,7 көрсеткіш (аймақтағы ең жоғары көрсеткіш). Жылыой – ең жоғары аурушандық деңгейі бар аудан. Бұл ауданның мұнай өндірісінің орталығы екенін ескерсек, экологиялық факторлар әсері айқын байқалды.

Исатай, Құрманғазы, Қызылқоға, Мақат аудандары: Бұл аудандарда аурушандық көрсеткіштері орташа немесе төмен деңгейде, бірақ: Мақат ауданы да жоғары көрсеткіштерге ие (2024 ж. – 59 014,3), бұл да мұнай өндірісімен байланысты.

Махамбет, Индер, Қызылқоға, Құрманғазы - салыстырмалы түрде тұрақты және төмен деңгейде, бірақ біртіндеп өсіп келе жатыр. Аймақ бойынша аурушандық деңгейі 2014-2024 жылдар аралығында біртіндеп өскен.

Ең жоғары көрсеткіштер Жылыой, Мақат аудандары және Атырау қаласында тіркелген -бұл аудандарда өнеркәсіптік және экологиялық факторлар ерекше әсер етуде.

2020-2021 жылдары көрсеткіштердің күрт өсуі – мүмкін COVID-19 пандемиясы мен денсаулық сақтау жүйесіне түскен жүктемемен байланысты.

2023-2024 жылдары аздап төмендеу байқалғанымен, жалпы аурушандық деңгейі 2014 жылмен салыстырғанда әлдеқайда жоғары.

Біз ұсынған диаграммада Атырау облысы бойынша тыныс алу ауруларының ауданаралық үлесі көрсетілген. Диаграммада әр ауданның облыс бойынша тыныс алу ауруларының үлесі пайызбен көрсетілген. Диаграмма сипаттамасы: Ең жоғары үлес - Мақат ауданы (23%), Мақат

2-кесте – Атырау облысының халқының аурушандылық кластары (100 000 адамға шаққанда)

Table 2 – Incidence classes of the population of Atyrau region (per 100,000 people)

№	Аурулар класы	Барлығы			
		абсолюттік саны		100 000 адамға шаққанла	
		2023	2024	2023	2024
1	Барлығы	493 418	508 277	70 631,9	71 848,6
2	Жұқпалы және паразитарлы аурулар	13 316	13 889	1906,2	1963,3
3	Ісіктер	6783	7464	971,0	1055,1
4	Қан және қан түзілу ағзаларының аурулары және иммундық механизмдер қатысқан жекелеген бұзылулар	30 039	29 277	4300,0	4138,5
5	Ішкі секреция жүйесінің аурулары, коректену мен зат алмасудың бұзылулары	33 396	35 090	4780,6	4960,2
6	Психикалық бұзылулар және мінез-құлықтың бұзылулары	6024	6271	862,3	886,5
7	Психобелсенді заттарды қолданумен байланысты психикалық бұзылулар және мінез-құлықтың бұзылулары	2750	2560	393,7	361,9
8	Нерв жүйесінің аурулары	19 704	21 592	2820,6	3052,2
9	Көз аурулары	32 687	33 294	4679,1	4706,3
10	Құлақ пен емізік тәрізді өскіннің аурулары	11 038	11 384	1580,1	1609,2
11	Қан айналым жүйесінің аурулары	85 405	86 353	12 225,6	12 206,6
12	Тыныс алу ағзаларының аурулары	141 058	145 963	20 192,2	20 632,9
13	Ас қорыту ағзаларының аурулары	26 369	26 624	3774,7	3763,5
14	Тері қабаты мен тері шелмайының аурулары	16 001	16 223	2290,5	2293,2
15	Сүйек-бұлшық ет жүйесі мен дәнекер тіннің аурулары	17 281	19 694	2473,7	2783,9
16	Несеп-жыныс жүйесінің аурулары	22 313	22 644	3194,1	3200,9
17	Туа біткен ауытқулар (даму кемістіктері), пішінінің бұзылулары мен хромосомдық бұзылула	5680	5710	813,1	807,1
18	Жүктіліктің, босанудың және босанғаннан кейінгі кезеңнің асқынулары*)	5907	5887	3685,7	3630,8
19	Перинаталдық кезеңде пайда болатын жекелеген жағдайлар**)	3623	3698	1524,4	1551,7
20	Жарақаттар, уланулар және сыртқы себептер әсерінің кейбір басқа салдары	12 430	15 595	1779,3	2204,5

ауданы жалпы тыныс алу ауруларының төртен біріне жуық бөлігін құрайды. Бұл ауданның мұнай-газ өндірісімен тығыз байланысы бар, сол себепті экологиялық факторлардың әсері жоғары болады. Исатай және Қызылқоға аудандары- әрқайсысы 14%. Жылыой ауданы - 13% құрады. Мұнайлы аудан болғандықтан, бұл көрсеткіш экологиялық факторлармен байланысты. Атырау қаласы - 10% құрап, облыс орталығы бола тұра үлесі салыстырмалы түрде төмендеу. Алайда халық тығыздығы мен медициналық қызметтердің жақсырақ болуы диагностиканың сапасын арттырып, нақты көрсеткішті анықтауға мүмкіндік берген болуы мүмкін. Индер және Құрманғазы – әрқайсысы 9% құрап, бұл аудандарда үлес орташа деңгейде. Табиғи климаттық факторлар мен демографиялық жағдай жағымды әсер еттіп отыр. Махамбет - ең төмен үлес (8%) көрсетіп, бұл аудан облыстағы ең аз үлеске ие. Демографиялық көрсеткіштер немесе экологиялық ахуал салыстырмалы түрде жақсы болуы ықтимал. Мақат, Исатай, Қызылқоға және Жылыой аудандарында тыныс алу ауруларының үлесі жоғары. Бұл жағдайлар көбінесе өндірістік және экологиялық факторларға байланысты. Махамбет, Индер, Құрманғазы - салыстырмалы түрде төмен көрсеткіштерге ие.

Диаграмма бойынша Атырау облысында жүйке жүйесінің ауруларының таралуы аудан бойынша айтарлықтай ерекшеленеді. Ең жоғары көрсеткіш Жылыой ауданында байқалады - бұл аудан облыс бойынша барлық жағдайлардың 42% үлесін құрайды. Мұндай жоғары үлес аудан халқының өндірістік аймақтарда жұмыс істеуімен, экологиялық жүктеменің артуымен және психоэмоциялық факторлармен байланысты.



2-сурет – Атырау облысының халқының тыныс алу ауруларының көрсеткіштері
Figure 2 – Indicators of respiratory diseases in the population of Atyrau region

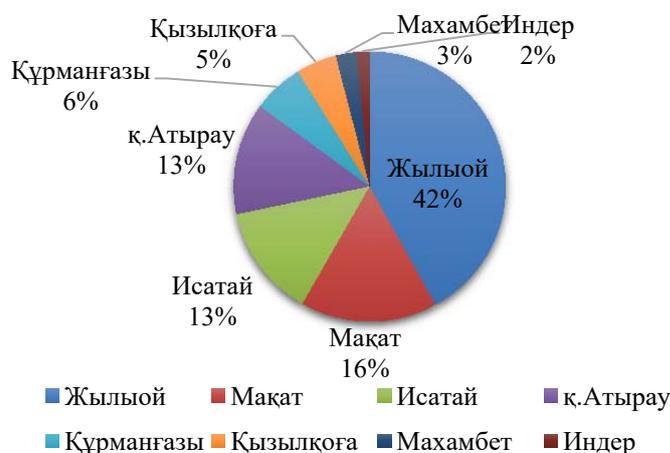
Мақат ауданы екінші орында - 16%, бұл да мұнай-газ өндіру аймағы ретінде экологиялық және әлеуметтік факторлардың әсерін көрсетуі ықтимал.

Исатай ауданы мен Атырау қаласының үлесі бірдей – әрқайсысы 13%, бұл көрсеткіш облыс орталығы мен ауылдық аудандар арасындағы салыстырмалы тепе-теңдікті білдіреді.

Құрманғазы ауданының үлесі - 6%, ал Қызылқоға ауданында бұл көрсеткіш - 5%. Бұл аудандардың экологиялық жағдайы салыстырмалы түрде тұрақтырақ болғанымен, жүйке жүйесі ауруларының тіркелу деңгейі төмен емес.

Ең төмен көрсеткіштер Махамбет (3%) және Индер (2%) аудандарында байқалады. Бұл аудандарда халық тығыздығының төмендігі мен экологиялық факторлардың салыстырмалы әлсіздігі әсер етуі мүмкін.

Жалпы алғанда, талдау көрсеткендей, жүйке жүйесі ауруларының таралуы өндірістік және экологиялық факторларға тікелей байланысты. Мұнай-газ өнеркәсібі дамыған аймақтарда (Жылыой, Мақат) аурушандық деңгейі жоғары, бұл халық денсаулығына антропогендік фактордың әсері.



3-сурет – Атырау облысы халқының жүйке жүйесінің ауруларының көрсеткіштері
Figure 3 – Indicators of nervous system diseases in the population of Atyrau region

Диаграмма деректеріне сәйкес, Атырау облысында қан қысымының жоғарылауы бойынша ең жоғары көрсеткіш Жылыой ауданында тіркелген - бұл аудан облыс бойынша барлық жағдайлардың 31% үлесін құрайды. Мұндай жоғары деңгейдің қалыптасуы аймақтың экологиялық ахуалының күрделілігімен, өндірістік факторлардың ықпалымен және тұрғындардың өмір сүру жағдайының ерекшеліктерімен байланысты.

Екінші және үшінші орындарды Мақат ауданы (18%) мен Атырау қаласы (18%). Бұл аймақтарда да өнеркәсіптік кәсіпорындардың шоғырлануы тұрғындар денсаулығына әсер ететін маңызды факторлар.

Құрманғазы ауданының үлесі 10%, ал Индер ауданында бұл көрсеткіш 9% шамасында. Бұл аудандарда экологиялық және тұрмыстық факторлардың ықпалы салыстырмалы түрде төмен болғанымен, гипертонияның таралу деңгейі айтарлықтай жоғары екенін көрсетті.

Қызылқоға және Махамбет аудандарында қан қысымының жоғарылауы тиісінше 5%, ал Исатай ауданында ең төмен көрсеткіш - 4% деңгейінде тіркелген. Мұндай айырмашылықтар әлеуметтік-экономикалық даму деңгейінің, тұрғындардың өмір салты мен медициналық қызметке қолжетімділіктің әрекетшілігімен түсіндіріледі.

Жалпы алғанда, қан қысымының жоғарылауының таралу құрылымы облыстың өндірістік және экологиялық жағдайымен байланысты. Мұнай-газ саласы дамыған аймақтарда аурушандықтың жоғары болуы антропогендік факторлардың адам денсаулығына әсерінің айқын дәлелі.



4-сурет – Атырау облысы халқының қан қысымы ауруының көрсеткіштері

Figure 4 – Blood pressure indicators of the population of Atyrau region

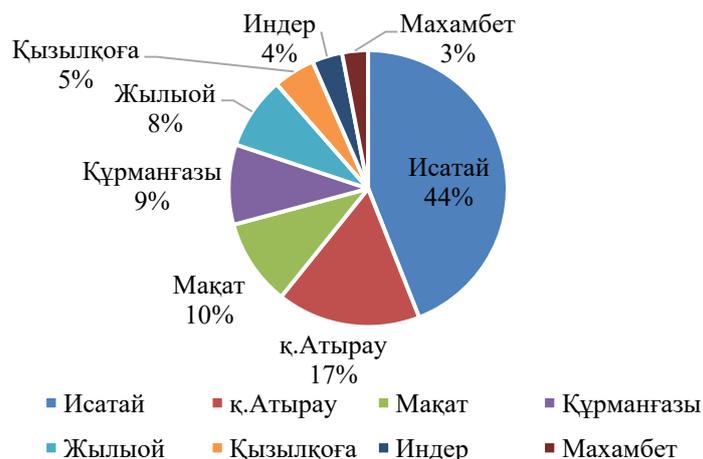
Диаграмма деректеріне сәйкес, Атырау облысында көз ауруларының ең жоғары көрсеткіші Исатай ауданында тіркелген-ол облыс бойынша барлық жағдайлардың 44% үлесін құрады. Бұл аймақтағы жоғары көрсеткіш тұрғындардың кәсіптік қызметінің ерекшеліктерімен, экологиялық факторлармен және шаң-тозаңның көптігімен байланысты.

Екінші орында Атырау қаласы – оның үлесі 17%. Көлік түтіні мен өндірістік ластаушылардың көптігі тұрғындардың көру қабілетіне теріс әсер етеді.

Үшінші орында Мақат ауданы (10%) орналасқан. Мұнай-газ өндіру саласы дамыған бұл аймақтың тұрғындары өндірістік шаң-тозаң мен химиялық факторлардың әсеріне жиі ұшырайды, бұл көздің тітіркенуіне және көз ауруларына әкелді. Құрманғазы (9%) және Жылыой (8%) аудандарында аурушандық деңгейі орташа деңгейде байқалды.

Ал Қызылқоға (5%), Индер (4%) және Махамбет (3%) аудандарында көз ауруларының үлесі салыстырмалы түрде төмен. Бұл көрсеткіштер халық тығыздығының аздығы мен өндірістік жүктеменің төмендігіне байланысты.

Жалпы алғанда, көз ауруларының таралуы экологиялық, өндірістік және әлеуметтік факторлардың кешенді әсеріне тәуелді. Әсіресе Исатай және Мақат аудандарындағы жоғары көрсеткіштер мұнай-газ өндірісінің және климаттық жағдайлардың адам денсаулығына тигізетін ықпалын айқын көрсетеді.



5-сурет – Атырау облысы халқының көз ауруының көрсеткіштері

Figure 5 – Indicators of eye diseases in the population of Atyrau region

Диаграммаға сәйкес, Атырау облысында 18 жастан асқан ересектер арасындағы жүрек ауруының таралуы аймақтар бойынша айтарлықтай ерекшеленеді. Ең жоғары көрсеткіш Атырау қаласында байқалады - бұл барлық тіркелген жағдайлардың 31% үлесін құрайды. Мұндай жоғары деңгей урбанизация, тұрмыс қарқынының жоғары болуы, психоэмоциялық жүктеме, сондай-ақ экологиялық факторлармен байланысты. Мақат ауданы екінші орында – 17%, бұл да өндірістік аймақтардағы экологиялық жүктеменің жоғары екендігін көрсетеді. Мұнай-газ өндірумен айналысатын аймақтарда күкіртсутек, ауыр металдар және басқа зиянды заттардың атмосфераға таралуы жүрек-қан тамыр жүйесінің ауруларының дамуына әкелуі ықтимал. Исатай ауданының үлесі 15%, бұл да салыстырмалы түрде жоғары көрсеткіш. Мұнда да тұрғындардың еңбек жағдайлары мен климаттық факторлардың әсері елеулі рөл атқарады. Орташа деңгейдегі көрсеткіштер Құрманғазы (10%) және Жылыой (8%) аудандарын көрсетті. Бұл аймақтарда аурушандық деңгейі экологиялық және әлеуметтік жағдайлардың аралас ықпалын білдіреді. Ең төмен үлес Қызылқоға (6%) және Индер (5%) аудандарында тіркелген. Бұл аудандарда халық тығыздығының төмендігі және өндірістік ластанудың салыстырмалы аз болуы аурудың таралуын шектеуші фактор ретінде қарастырылды.



6-сурет – Атырау облысы халқының жүрек ауруының көрсеткіштері (ересектер - 18 жастан асқан)

Figure 6 – Heart disease rates in the population of Atyrau region (adults - over 18 years old)

Жалпы сырқаттанушылық бойынша салыстырмалы тәуекелі жоғары көрсеткіштердің санына қарай ең қолайсыз медициналық-экологиялық жағдай барлық жас топтары арасында Атырау облысының келесі мұнай-газ өндірістік елді мекендерінде байқалады:

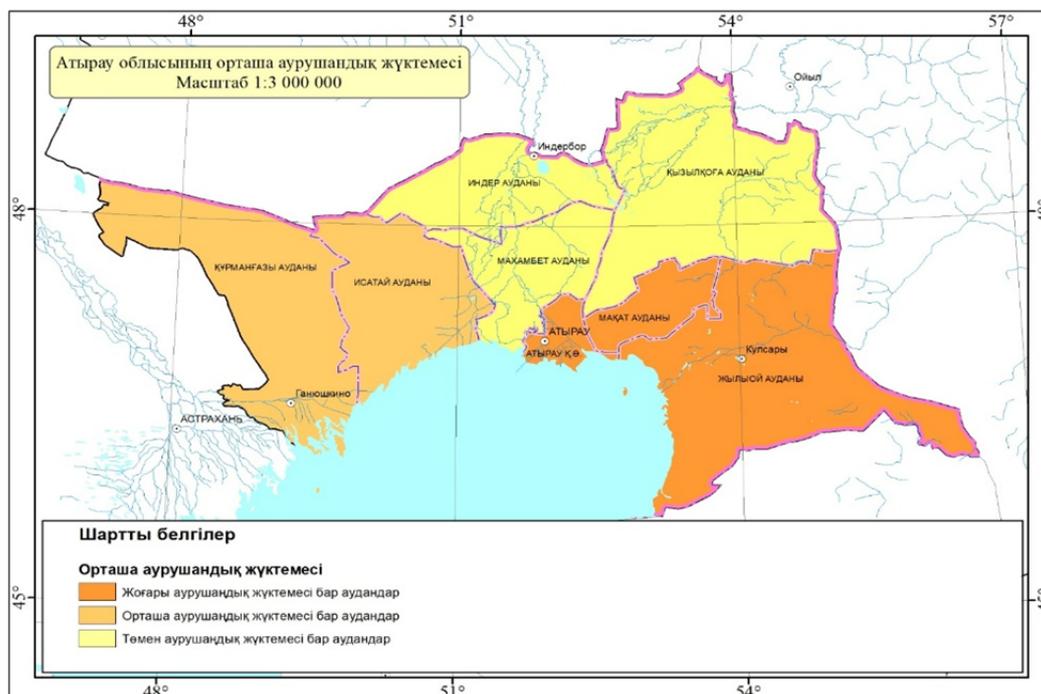
- Атырау қаласында - 2-тен 5-ке дейінгі аурулар класы бойынша;
- Исатай ауданы - 3-тен 4-ге дейінгі аурулар класы бойынша;
- Мақат ауданында - 2-ден 4-ке дейінгі аурулар класы бойынша;
- Жылыой ауданы - 3-тен 5-ға дейінгі аурулар класы бойынша.

Атырау облысының мұнай-газ өндірісімен айналыспайтын аумақтарында да түрлі аурулар класы бойынша жоғары және өте жоғары деңгейдегі тәуекелдер анықталды. Зерттелген 7 - аудан, 1 - қаланы салыстыра келе, экологиялық жүктемесі төмен аумақтардың ішінен 3 ауданда осындай қауіптер тіркелген. Сол аумақтардың кемінде үшеуінде кең таралған, салыстырмалы тәуекелі жоғары және өте жоғары деңгейдегі жетекші аурулар класына жататындар мыналар:

- балалар арасында - эндокриндік жүйе аурулары, тыныс алу бұзылыстары және тірек-қимыл жүйесінің аурулары;
- жасөспірімдер арасында - жүрек ауруы, тыныс алу және ас қорыту жүйесінің аурулары;
- ересек тұрғындар арасында (екі ауылдық аумақта) - тыныс алу жүйесі, жүрек ауруы, және көз аурулары.

Аталған кезең ішінде Махамбет, Индер, және Құрманғазы сияқты мұнай газ өндірісімен айналыспайтын аудандар аумағында орташа көрсеткіштер бойынша салыстырмалы тәуекелі жоғары және өте жоғары деңгейдегі жетекші ауруларға мыналар жатады:

- балалар арасында - жүйке жүйесінің аурулары, көз аурулары, сондай-ақ несеп-жыныс жүйесінің аурулары;
- жасөспірімдер арасында - қан айналым жүйесі мен несеп-жыныс жүйесінің аурулары;
- ересек тұрғындар арасында - көз, құлақ және тыныс мүшелерінің аурулары, тірек-қимыл аппараты мен дәнекер тіндердің аурулары.
- Махамбет ауданында - аурулар класы бойынша - 0;
- Индер ауданында - аурулар класы бойынша - 1;
- Қызылқоға ауданы - аурулар класы бойынша - 1;
- Құрманғазы ауданы - аурулар класы бойынша - 1.



7-сурет – Атырау облысының орташа аурушандық жүктемесі

Figure 7 – Average disease burden in Atyrau region

Талқылау. Атырау облысының жетекші мұнай-газ өндіру орынына жақын орналасқан елді мекендерінде және өндірістік емес (ауылдық) аумақтарында халық денсаулығының әртүрлі локальды типтері қалыптасуда. Бұл типтер балалар, жасөспірімдер және ересектер арасында аурушандықтың жоғары және өте жоғары салыстырмалы тәуекел деңгейлерімен сипатталады. Аурушандық тәуекелдерінің жоғары болуы, негізінен, өндірістік аудандар мен қалаларда - реттеуші тыныс ауруы, қан айналымына қатысты өзгерістермен, ал өндірістік емес аудандарда – эндокриндік жүйе буындарының бұзылыстарымен байланысты болып отыр [12, 13].

Егер жекелеген аурулар класының салыстырмалы тәуекелі аумақтағы медико-экологиялық жағдайдың кернеулік деңгейін анықтаса, онда атрибутивтік тәуекел жоғарыда көрсетілген формула бойынша сол аурулардың барлық кластарындағы экологиялық себепті сырқаттанушылық үлесіне әр кластың қосқан үлесін сипаттайды. Аурулар класының осы екі көрсеткіш бойынша маңыздылығы әрдайым сәйкес келмеуі мүмкін. Бұл әсіресе балалар мен жеткіншектер арасында тыныс алу органдары ауруларының рөліне қатысты, өйткені олардың жалпы сырқаттанушылықтағы үлесі әдетте жоғары болады. Осыдан біз тыныс алу органдары ауруларының салыстырмалы тәуекелінің медико-экологиялық жағдайдың кернеулік деңгейін анықтауда айтарлықтай маңызды рөл атқармауының жағдайларын, ал керісінше, осы аурулардың аталған жас топтарындағы экологиялық себепті жалпы сырқаттанушылықтағы үлесінің алдыңғы орынға шығуын байқаймыз [14-16].

Жоғарыда айтылғандарды ескере отырып, территорияны экологиялық қолайсыздық жағдайынан шығаруға бағытталған, спецификалық емес аурушандылық тәуекелін төмендетуге арналған басым медициналық-алдын алу шаралары негізінен келесі факторларға сүйене отырып анықталуы тиіс:

а) территорияның экологиялық қолайсыздық деңгейін анықтайтын аурулардың салыстырмалы тәуекелінің жоғары деңгейлері;

б) ең үлкен атрибутивтік тәуекелі бар аурулар класының салыстырмалы тәуекел мәндері, бұл халықтың жалпы сырқаттанушылығын төмендетуге мүмкіндік береді.

Осылайша, біріншілері территорияның экологиялық жағдайының нашарлау деңгейін анықтаса, екіншілері медициналық-алдын алу іс-шараларын әзірлеу приоритеттерін айқындайды, бұл өз кезегінде медициналық-экологиялық жағдайды жақсарту және халықтың сырқаттану деңгейін төмендету мақсаттарын ескереді.

Аталған ауру қаупін бағалау алгоритмі жергілікті өмір сүру ортасының қолайсыз жағдайларына байланысты территориядағы популяциялық денсаулықтың локальды варианттарының қалыптасу ерекшеліктерін анықтауға, территориядағы медико-экологиялық жағдайдың шиеленісу деңгейін бағалауға және алдын алу іс-шараларын әзірлеу бағыттарын негіздеуге мүмкіндік береді [17-20].

Қорытынды. Атырау облысы бойынша ересек тұрғындар арасында тіркелген аурушандық көрсеткіштерін талдау нәтижесінде аурулардың таралуында аймақтық (аумақтық) айырмашылықтардың бар екендігі анықталды. Зерттеу нәтижелері бойынша барлық қарастырылған ауру түрлері өндірістік және экологиялық жағдайлармен тығыз байланысты. Жүйке жүйесінің аурулары мен қан қысымының жоғарылауы көбінесе Жылыой, Мақат, және Атырау қаласында шоғырланған. Бұл аудандарда мұнай-газ өндіру қарқынды дамыған, атмосфералық ластану деңгейі жоғары және техногендік жүктеме айқын байқалды. Мұндай факторлар адам ағзасына ұзақ мерзімді стресс әсерін тигізіп, жүйке және жүрек-қан тамыр жүйелерінің бұзылыстарына алып келеді. Тыныс алу жүйесі ауруларының жоғары көрсеткіштері де осы аймақтарда байқалады, бұл ауа сапасының төмендігі мен өндірістік шығарындылардың көптігінен. Көз аурулары көбіне Исатай ауданында және Атырау қаласында жоғары тіркеліп, визуалды жүктеменің, экологиялық ластанудың және климаттық ерекшеліктердің әсерін көрсетеді. Жүректің аурулары көбінесе Атырау қаласы, Мақат, және Исатай аудандарында кең тараған. Бұл көрсеткіш урбанизация және қоршаған ортаның химиялық ластануы сияқты факторлардың адам денсаулығына кешенді әсерін дәлелдейді.

Жалпы алғанда, жүргізілген талдау нәтижелері Атырау облысында экологиялық және өндірістік факторлардың халық денсаулығына айтарлықтай әсер ететінін көрсетті. Әсіресе мұнай-газ өндіру аудандарында аурушандықтың жоғары болуы аймақтың экологиялық қауіпсіздігін қамтамасыз ету, тұрғындардың өмір сүру сапасын арттыру және профилактикалық медициналық шараларды күшейту қажеттігін айқындайды.

Атырау облысы аудандарының аурушандық жүктемесіне кешенді бағаланды.

1. Жоғары аурушандық жүктемесі бар аудандар: Жылыой, Мақат, Атырау қаласы.

Бұл аймақтарда барлық қарастырылған ауру түрлері бойынша жоғары үлес байқалады:

Жылыой ауданы – жүйке жүйесі аурулары (42%), қан қысымы (31%), тыныс алу (13%) бойынша алдыңғы қатарда. Мұнда экологиялық ахуалдың нашарлауы (мұнай, газ, шаң-тозаң, күкірт-сутек) мен өндірістік факторлардың әсері айқын.

Мақат ауданы – тыныс алу (23%), қан қысымы (18%), жүрек аурулары (17%) бойынша жоғары көрсеткіштерге ие. Бұл өндірістік аймаққа тән экологиялық және кәсіби қауіптердің әсерін дәлелдейді.

Атырау қаласында – жүрек ауруы (31%), қан қысымы (18%), көз аурулары (17%) көрсеткіштерімен ерекшеленді.

Қорытындылай келе: Бұл үш аудан облыстың экологиялық және медициналық тұрғыдан ең ауыр аймақтар. Денсаулық сақтау жүйесінде профилактикалық, санитарлық және экологиялық бақылауды күшейту қажет.

2. Орташа аурушандық жүктемесі бар аудандар: Исатай, Құрманғазы.

Исатай ауданы – жүрек аурулары (15%), тыныс алу (14%), көз аурулары (44%) бойынша жоғары үлес көрсетіп, көз және жүйке жүйесі ауруларының шоғырланған аймағы ретінде ерекшеленді.

Құрманғазы ауданы – қан қысымы (10%), тыныс алу (9%), көз аурулары (9%) шамасында. Бұл аудан экологиялық тұрақтырақ болғанымен, жел, шаң және маусымдық климаттық факторлар әсерінен орташа деңгейлі аурушандық сақталған.

Қорытынды: Бұл аудандарда аурушандықтың себебі көбіне табиғи-климаттық және тұрмыстық факторлармен байланысты.

3. Төмен аурушандық жүктемесі бар аудандар: Қызылқоға, Махамбет, Индер.

Қызылқоға ауданы – барлық ауру түрлері бойынша 4-6% аралығында. Халық тығыздығының төмендігі және өндірістік әсердің аз болуы оң әсерін тигізеді. Махамбет ауданы - кейбір аурулар (қан қысымы - 5%, тыныс алу - 8%) байқалғанымен, жалпы аурушандық деңгейі төмен. Индер ауданы - барлық көрсеткіштер бойынша 3-5% шамасында. Бұл аймақ облыс бойынша салыстырмалы түрде экологиялық таза ауданға жатады. Қорытынды: Бұл аудандарда аурушандықтың төмен болуы табиғи орта жағдайының салыстырмалы тұрақтылығын және өндірістік ластанудың аздығын көрсетті.

ӘДЕБИЕТ

[1] Прусаков В. М., Прусакова А. В., Сарапулов В. В. Анализ риска здоровью населения по данным статистической информации и мониторинга загрязнителей атмосферы // Проблемы медико-демографического и социально-гигиенического мониторинга и пути их решения: сборник научно-практических статей семинара «Задачи медико-демографического и социально-гигиенического мониторинга и пути их решения» / Под общ. ред. врача РФ П. К. Каурова. – Иркутск, 2010. – С. 73-79. https://fcrisk.ru/sites/default/files/upload/conference/781/conf_21-23_05_2014-materials.pdf

[2] Май И. В., Зайцева Н. В. Показатели риска и вреда здоровью населения в системе новых механизмов мониторинга и управления качеством воздуха // Здоровье населения и среда обитания – ЗНиСО. – 2022. – Вып. 10 – С. 7-15. <https://doi.org/10.35627/2219-5238/2022-30-10-7-15>

[3] Прусаков В. М., Вержбицкая Э. А., Басараба И. Н., Ткаченко А. В., Сарапулов В. В. Относительные риски заболеваемости населения как критерий оценки медико-экологической ситуации на территории в разделах «Охрана окружающей среды» генпланов городов и поселений // Опыт использования методологии оценки риска здоровью населения для обеспечения санитарно-эпидемиологического благополучия: труды Всерос. науч.-практ. конф. с междунар. участием. – Ангарск: РИО АГТА, 2012. – С. 17-21.

[4] Прусакова А. В., Прусаков В. М., Зайкова З. А., Ткаченко А. В., Сарапулов В. В. Оценка медико-экологической ситуации на территории некоторых промышленных городов Иркутской области в динамике // Опыт использования методологии оценки риска здоровью населения для обеспечения санитарно-эпидемиологического благополучия: труды Всерос. науч.-практ. конф. с междунар. участием. – Ангарск: РИО АГТА, 2012. – С. 36-42.

[5] Прусаков В. М., Прусакова А. В. Критерии оценки медико-экологической ситуации на основе метода сигмальных отклонений // Гигиена и санитария. – 2013. – № 1. – С. 72-76.

[6] Paustenbach, D., Brew, D., Ligas, S., Heywood, J. (2021). A critical review of the 2020 EPA risk assessment for chrysotile and its many shortcomings. *Critical Reviews in Toxicology*, 51(6), 509-539. <https://doi.org/10.1080/10408444.2021.1968337>

[7] Andersen, Z. J., Pedersen, M., Weinmayr, G., Stafoggia, M., Galassi, C., Jørgensen, J. T., Raaschou-Nielsen, O. (2018). Long-term exposure to ambient air pollution and incidence of brain tumor: the European Study of Cohorts for Air Pollution Effects (ESCAPE). *Neuro-oncology*, 20(3), 420-432. <https://doi.org/10.1093/neuonc/nox163>

- [8] Прусаков В. М., Прусакова А. В., Зайкова З. А. Динамика риска заболеваемости населения в промышленных городах Иркутской области // Гигиена и санитария. – 2013. – № 5. – С. 63-69. https://zniso.fcgie.ru/jour/article/view/1548?locale=ru_RU
- [9] Прусаков В. М., Прусакова А. В. Риск заболеваемости как критерий оценки медико-экологической компоненты качества жизни // Бюллетень ВШЦ СО РАМН. – 2013. – № 3, ч. 2. – С. 120-124.
- [10] Information bulletin on the state of the environment in Atyrau region for the 1st half of 2024, RSE Kazhydromet. Department of Environmental Monitoring. – Atyrau, 2024. P. 1-9. https://www.kazhydromet.kz/uploads/calendar/185/polugodie_1_file/66967636281c1atyrauskaya-oblast-1-polugodie-2024-rus-1.pdf.
- [11] National Statistics Agency of the Republic of Kazakhstan for Strategic Planning and reforms-2024. <https://stat.gov.kz/region/atyrau/>.
- [12] Mustafina, A., Inkarova, Z., Baimukasheva, G., Jexenov, M., Tukhfatov, Z. 2025. Impact of oil and gas fields on atmospheric air and public health in Atyrau region (a case study of Zhylyoi district) // News of the National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan Series of Geology and Technical Sciences, 2025(4). <http://geolog-technical.kz/assets/2025-4/17.%20260-278.pdf>
- [13] Ryskaliyeva, D., Yessenamanova, M., Syrlybekkyzy, S., Koroleva, E. G., Yessenamanova, Z., Tlepbergenova, A., ... & Turekeldiyeva, R. (2023). Environmental Assessment of the Impact of Atmospheric Air Pollution with Hydrogen Sulfide on the Health of the Population of Atyrau, Republic of Kazakhstan // International Journal of Sustainable Development & Planning, 18(7). <https://iieta.org/journals/ijstdp/paper/10.18280/ijstdp.180724>
- [14] Battakova K., Saipov A. Healthcare and wellness tourism for people with occupational diseases in central Kazakhstan // Geo Journal of Tourism and Geosites. 2022. Vol. 45. – P. 1586-1593. <https://doi.org/gtg.454spl07-978>
- [15] Ushakov D., Vasyuta E. Factors of post-covid recovery of the international health & medical tourism (hmt): Territorial potential vs state support efficiency // Geo Journal of Tourism and Geosites. 2022. Vol. 41, No. 2. P. 614-620. <https://doi.org/10.30892/gtg.41236-870>
- [16] Zisook R. E. et al. A state-of-the-science review of health hazards in insulators in the United States // Journal of Occupational and Environmental Hygiene. 2025. P. 1-104. <https://gtg.webhost.uoradea.ro/PDF/GTG-4spl-2022/gtg.454spl07-978.pdf>
- [17] Khozhayev A., Saterova A. Epidemiological indicators and statistical data of oncological screening at the level of primary care // Publisher. agency: Proceedings of the 11th International Scientific Conference «Foundations and Trends in Research» (October 30-31, 2025). Copenhagen, Denmark, 2025. 264p. – Danish School of Media and Journalism, 2025. P. 173. <https://ojs.publisher.agency/index.php/FTR/article/view/7008>
- [18] Tauova N. R. et al. Atyrau and the global greenhouse effect: climate analysis and prospects // Bulletin of West Kazakhstan University. – 2025. – Vol. 99, No. 3. – P. 492-492. [https://doi.org/10.37238/2960-1371.2960-138X.2025.99\(3\).143](https://doi.org/10.37238/2960-1371.2960-138X.2025.99(3).143)
- [19] Togizbayev G. et al. Development of rheumatology services in Atyrau Region, Kazakhstan // Rheumatology. – 2025. – Vol. 64, No. 6. P. 4065-4066. <https://doi.org/10.1093/rheumatology/keaf166>
- [20] Makhmetova, N. A., Aubakirova, J. S., Margulan, A. S. (2025). Features of ethno-demographic development of eastern Kazakhstan in comparison with other regions of republic // Asian Journal "Steppe Panorama", 12(4), 1130-1148. https://doi.org/10.51943/2710-3994_2025_12_4_1130-1148

REFERENCES

- [1] Prusakov V. M., Prusakova A. V., Sarapulov V. V. Analysis of the risk to public health based on statistical information and monitoring of atmospheric pollutants // Problems of medical-demographic and social-hygienic monitoring and ways to solve them: collection of scientific and practical articles from the seminar “Tasks of medical-demographic and social-hygienic monitoring and ways to solve them” / Edited by the physician of the Russian Federation P.K. Kaurov. Irkutsk: Irkut Printing House, 2010. P. 73-79. https://fcrisk.ru/sites/default/files/upload/conference/781/conf_21-23_05_2014-materials.pdf (in Russ.).
- [2] May I. V., Zaitseva N. V. Population Health Risk and Harm Indicators in the System of New Mechanisms for Air Quality Monitoring and Management // Public Health and Life Environment – PH&LE. 2022; (10):7-15. <https://doi.org/10.35627/2219-5238/2022-30-10-7-15> (in Russ.).
- [3] Prusakov V. M., Verzhbitskaya E. A., Basaraba I. N., Tkachenko A. V., Sarapulov V. V. Relative morbidity risks of the population as a criterion for assessing the medico-ecological situation in the “Environmental Protection” sections of master plans of cities and settlements // Experience in applying the methodology of population health risk assessment to ensure sanitary and epidemiological well-being: proceedings of the All-Russian scientific and practical conference with international participation. Angarsk: RIO AGTA, 2012. P. 17-21 (in Russ.).
- [4] Prusakova A. V., Prusakov V. M., Zaikova Z. A., Tkachenko A. V., Sarapulov V. V. Assessment of the medico-ecological situation in the territory of several industrial cities of the Irkutsk region in dynamics // Experience in applying the methodology of population health risk assessment to ensure sanitary and epidemiological well-being: proceedings of the All-Russian scientific and practical conference with international participation. Angarsk: RIO AGTA, 2012. P. 36-42 (in Russ.).
- [5] Prusakov V. M., Prusakova A. V. Criteria for assessing the medico-ecological situation based on the method of sigma deviations // Hygiene and Sanitation. 2013. No. 1. P. 72-76 (in Russ.).
- [6] Paustenbach, D., Brew, D., Ligas, S., Heywood, J. (2021). A critical review of the 2020 EPA risk assessment for chrysotile and its many shortcomings. Critical Reviews in Toxicology, 51(6), 509-539. <https://doi.org/10.1080/10408444.2021.1968337>
- [7] Andersen, Z. J., Pedersen, M., Weinmayr, G., Stafoggia, M., Galassi, C., Jørgensen, J. T., ... & Raaschou-Nielsen, O. (2018). Long-term exposure to ambient air pollution and incidence of brain tumor: the European Study of Cohorts for Air Pollution Effects (ESCAPE) // Neuro-oncology, 20(3), 420-432. <https://doi.org/10.1093/neuonc/nox163>

- [8] Prusakov V. M., Prusakova A. V., Zaikova Z. A. Dynamics of morbidity risk in the population of industrial cities of the Irkutsk region // Hygiene and Sanitation. 2013. No. 5. P. 63-69. https://zniso.fcgi.ru/jour/article/view/1548?locale=ru_RU (in Russ.).
- [9] Prusakov V. M., Prusakova A. V. Morbidity risk as a criterion for assessing the medico-ecological component of quality of life // Bulletin of the East-Siberian Scientific Center, Siberian Branch of the Russian Academy of Medical Sciences. 2013. No. 3, part 2. P. 120-124 (in Russ.).
- [10] Information bulletin on the state of the environment in Atyrau region for the 1st half of 2024, RSE Kazhydromet. Department of Environmental Monitoring. Atyrau, 2024. P. 1-9. https://www.kazhydromet.kz/uploads/calendar/185/polugodie_1_file/66967636281c1atyraskaya-oblast-1-polugodie-2024-rus-1.pdf
- [11] National Statistics Agency of the Republic of Kazakhstan for Strategic Planning and reforms-2024. <https://stat.gov.kz/region/atyrau/>
- [12] Mustafina, A., Inkarova, Z., Baimukasheva, G., Jexenov, M., Tukhfatov, Z. 2025. impact of oil and gas fields on atmospheric air and public health in atyrau region (a case study of Zhylyoi district) // News of the National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan. Series of Geology and Technical Sciences, 2025(4). <http://geolog-technical.kz/assets/2025-4/17.%20260-278.pdf>
- [13] Ryskaliyeva, D., Yessenamanova, M., Syrlybekkyzy, S., Koroleva, E. G., Yessenamanova, Z., Tlepbergenova, A., ... & Turekeldiyeva, R. (2023). Environmental Assessment of the Impact of Atmospheric Air Pollution with Hydrogen Sulfide on the Health of the Population of Atyrau, Republic of Kazakhstan // International Journal of Sustainable Development & Planning, 18(7). <https://iijeta.org/journals/ijstdp/paper/10.18280/ijstdp.180724>
- [14] Battakova K., Saipov A. Healthcare and wellness tourism for people with occupational diseases in central Kazakhstan // Geo Journal of Tourism and Geosites. 2022. Vol. 45. P. 1586-1593. <https://doi.org/gtg.454spl07-978>
- [15] Ushakov D., Vasyuta E. Factors of post-covid recovery of the international health & medical tourism (hmt): Territorial potential vs state support efficiency // Geo Journal of Tourism and Geosites. 2022. Vol. 41, No. 2. P. 614-620. <https://doi.org/10.30892/gtg.41236-870>
- [16] Zisook R. E. et al. A state-of-the-science review of health hazards in insulators in the United States // Journal of Occupational and Environmental Hygiene. 2025. P. 1-104. <https://gtg.webhost.uoradea.ro/PDF/GTG-4spl-2022/gtg.454spl07-978.pdf>
- [17] Khozhayev A., Saterova A. Epidemiological indicators and statistical data of oncological screening at the level of primary care // Publisher. agency: Proceedings of the 11th International Scientific Conference «Foundations and Trends in Research» (October 30-31, 2025). Copenhagen, Denmark, 2025. 264 p. – Danish School of Media and Journalism, 2025. P. 173. <https://ojs.publisher.agency/index.php/FTR/article/view/7008>
- [18] Tauova N.R. et al. Atyrau and the global greenhouse effect: climate analysis and prospects // Bulletin of West Kazakhstan University. 2025. Vol. 99, No 3. P. 492-492. [https://doi.org/10.37238/2960-1371.2960-138X.2025.99\(3\).143](https://doi.org/10.37238/2960-1371.2960-138X.2025.99(3).143)
- [19] Togizbayev G. et al. Development of rheumatology services in Atyrau Region, Kazakhstan // Rheumatology. 2025. Vol. 64. № 6. P. 4065-4066. <https://doi.org/10.1093/rheumatology/keaf166>
- [20] Makhmetova, N. A., Aubakirova, J. S., Margulan, A. S. (2025). Features of ethno-demographic development of eastern Kazakhstan in comparison with other regions of republic // Asian Journal "Steppe Panorama", 12(4), 1130-1148. https://doi.org/10.51943/2710-3994_2025_12_4_1130-1148

**А. Ж. Мустафина^{*1}, Ж. И. Инкарова²,
Г. Ж. Нурғалиева³, М. Қ. Джекенов⁴, Ж. К. Тухфатов⁵**

¹ *Докторант (Евразийский национальный университет имени Л. Н. Гумилева, Астана, Казахстан; asemgul1985@mail.ru)

² К. б. н., профессор (Евразийский национальный университет имени Л. Н. Гумилева, Астана, Казахстан; inkarzh@mail.ru)

³ К. г. н., профессор (Атырауский университет имени Х. Досмухамедова, Атырау, Казахстан; nurgaliyevagzh@mail.ru)

⁴ К. г. н. (Атырауский университет имени Х. Досмухамедова, Атырау, Казахстан; ddm85@mail.ru)

⁵ К. г.-м. н. (АО «Эмбаунайгаз», НГДУ «Доссормунайгаз» г. Атырау, Казахстан; zh.tuhfatov@kmgep.kz)

ИССЛЕДОВАНИЕ ЗДОРОВЬЯ НАСЕЛЕНИЯ АТЫРАУСКОЙ ОБЛАСТИ МЕТОДОМ ОЦЕНКИ ЭКОЛОГИЧЕСКОГО РИСКА

Аннотация. Применение метода оценки экологического риска является одним из наиболее актуальных направлений современной экологии и общественного здравоохранения. Цель исследования – определить уровень воздействия химических факторов окружающей среды на здоровье населения Атырауской области с использованием метода оценки риска, а также охарактеризовать региональные особенности медико-экологической ситуации. В качестве методов исследования использовались социально-гигиенический мониторинг, анализ региональных экологических данных, статистическое сравнение показателей заболеваемости и формула комплексной оценки экологического риска для здоровья населения. Интенсивное развитие нефтегазо-

вой промышленности привело к ухудшению экологической ситуации в регионе и росту заболеваемости среди населения. В связи с этим особую важность приобретает разработка научно обоснованной системы мониторинга и оценки качества среды обитания с целью эффективного управления её состоянием и защиты здоровья населения. Такая система позволит своевременно выявлять влияние факторов окружающей среды на здоровье человека, а также снижать уровень экологических рисков. Результаты исследования направлены на совершенствование мер по улучшению здоровья населения Атырауской области и обеспечению экологической безопасности региона.

Ключевые слова: заболеваемость населения, социально-гигиенический мониторинг, эпидемиологический риск, экологическая обстановка, оценка риска заболеваемости.

**A. Zh. Mustafina^{*1}, Zh. I. Inkarova²,
G. Zh. Nurgaliyeva³, M. K. Jexenov⁴, Zh. K. Tukhfatov⁵**

^{1*} Doctoral student

(L. N. Gumilyov Eurasian National University, Astana, Kazakhstan; asemgul1985@mail.ru)

² Candidate of Biological Sciences, Professor

(L. N. Gumilyov Eurasian National University, Astana, Kazakhstan; inkarzh@mail.ru)

³ Candidate of Geographical Sciences, Professor

(Kh. Dosmukhamedov Atyrau University, Atyrau, Kazakhstan; nurgaliyevagzh@mail.ru)

⁴ Candidate of Geographical Sciences

(Kh. Dosmukhamedov Atyrau University, Atyrau, Kazakhstan; ddm85@mail.ru)

⁵ Candidate of geological and mineralogical science

(OGPA "Dossormunaygaz" JSC "Embamunaygaz", Atyrau, Kazakhstan; zh.tukhfatov@kmgep.kz)

STUDY OF THE HEALTH OF THE POPULATION OF THE ATYRAU REGION USING THE ENVIRONMENTAL RISK ASSESSMENT METHOD

Abstract. The application of the environmental risk assessment method is one of the most relevant directions in modern ecology and public health. This study is aimed at assessing the impact of chemical factors of the environment on the health of the population of the Atyrau region. The purpose of the study is to determine the level of influence of environmental chemical factors on the health of the population of the Atyrau region using the risk assessment method, as well as to characterize the regional features of the medical and ecological situation. The research methods included socio-hygienic monitoring, analysis of regional environmental data, statistical comparison of morbidity indicators, and the formula for comprehensive assessment of environmental risk to public health. The intensive development of the oil and gas industry has led to the deterioration of the ecological situation in the region and an increase in the morbidity rate among the population. In this regard, the development of a scientifically based system for monitoring and assessing the quality of the living environment, aimed at effective management and protection of public health, is of particular importance. Such a system makes it possible to identify in a timely manner the influence of environmental factors on human health and to reduce the level of ecological risks. The results of the study are aimed at improving measures to enhance the health of the population of the Atyrau region and ensuring the environmental safety of the region.

Keywords: population morbidity, socio-hygienic monitoring, epidemiological risk, environmental conditions, morbidity risk assessment.

<https://doi.org/10.55764/2957-9856/2026-1-150-164.14>

GTAMP 39.01.11

ӨОЖ 911

**А. Б. Сансызбаева¹, А. Т. Мылкайдаров², З. А. Толеков^{*3},
Б. А. Чашина⁴, Ж. М. Асипова⁵**

¹ PhD, доцент м.а. (Л. Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті, Астана, Қазақстан;
sansyzbayeva.ab@mail.ru)

² Г. ғ. к., аға оқытушы (Әл-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университеті, Алматы, Қазақстан;
mylkaydarov@mail.ru)

^{3*} PhD докторант (Әл-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университеті, Алматы, Қазақстан;
tolekov.zangar04@gmail.ru)

⁴ PhD, қауымдастырылған профессор (Торайғыров университеті, Павлодар, Қазақстан;
bikuwa17101981@gmail.ru)

⁵ PhD, профессор м.а. (Әл-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университеті, Алматы, Қазақстан;
zhanna.assipova@gmail.ru)

ХАЛЫҚТЫ ҚОНЫСТАНДЫРУДАҒЫ НЕГІЗГІ ТІРЕК ФАКТОРЛАРДЫҢ ҚАЛЫПТАСУ ЕРЕКШЕЛІКТЕРІ (ОҢТҮСТІК ҚАЗАҚСТАН ЭКОНОМИКАЛЫҚ АУДАНЫ МЫСАЛЫНДА)

Аннотация. Мақалада халықты қоныстандырудағы экономикалық-географиялық тірек фактордың қалыптасу үдерісінің теориялық негіздері, мән-мағынасы және кезеңдері қарастырылған. Сондай-ақ зерттеу аумағында халық қоныстануы мен өндірістік дамудың кеңістіктік ұйымдасуына ықпал ететін тірек фактордың қалыптасу логикасы талданады. Оңтүстік Қазақстан экономикалық ауданы аумағында тірек фактордың орнығуына негіз болған тарихи, физикалық-географиялық және экономикалық-географиялық алғышарттар айқындалып, бағаланады. Зерттеліп отырған аумақта қалыптасқан қоныстану тірек факторының негізгі түйінді және сызықтық элементтері анықталып, олардың өзара байланысы мен аумақтық ұйымдасу ерекшеліктері сипатталады. Сонымен қатар тірек факторды құрайтын түйінді элементтердің негізгі топтары жүйеленіп, қоныстану құрылымының конфигурациясы талданып, түрлері бойынша жіктеледі. Қорытынды бөлімде зерттеу аумағындағы халық қоныстануының экономикалық-географиялық тірек факторын оңтайландыру және жетілдіру бағыттары бойынша нақты ұсыныстар берілген.

Түйін сөздер: тірек фактор, ресурс, қоныстандыру, инфрақұрылым, өнеркәсіп, туризм, магистрал.

Кіріспе. Қазақстан тәуелсіздік алғаннан кейін Үкімет елдің табиғи-климаттық жағдайларын және әлеуметтік-экономикалық факторларды ескере отырып, елдің стратегиялық даму бағытын айқындады [1]. Бүгінде Қазақстан Республикасында қабылданған маңызды мемлекеттік құжаттар өңірлік дамуды реформаламайынша, сондай-ақ өңірлік саясаттың жаңа парадигмасын әзірлеп, оны іске асырмайынша, экономиканы әртараптандыру мен индустрияландыру мақсаттарына қол жеткізу қиын екенін атап көрсетеді [2]. Кең байтақ мемлекетіміздің кеңістік ұйымдастырылуындағы ерекшеліктері халықтың қоныстану жағдайлары мен көптеген экономикалық көрсеткіштерге өз әсерін тигізеді. Бұл әсіресе ауданы үлкен және халықтың қоныстану тығыздығы біркелкі емес аумақтарға қатысты. Еліміздегі осындай аумақтардың ішінде Оңтүстік Қазақстан экономикалық ауданының облыстары – Жетісу, Алматы, Жамбыл, Түркістан және Қызылорда өңірлері айрықша көзге түседі. Оңтүстік Қазақстан аумағы өзінің табиғи жағдайларының алуан түрлілігімен, тарихи қалыптасқан қоныстану ошақтарымен, ұлттық шаруашылықтарының әркелкі орналасуымен сипатталады. Бұлардың барлығы аумақтағы халықтың таралуында, ірі өнеркәсіптік және ауыл шаруашылық орталықтарының, көліктік және туристік орталықтар мен тораптарының қалыптасуында өз көрінісін табады. Сондықтан халық қоныстануының экономикалық-географиялық тірек факторын зерттеу, оның күшті және осал жақтарын анықтап, оларды оңтайландыру өңірлік дамуды қамтамасыз етудегі міндеттердің бірі. Олар:

Біріншіден, бұл ауқымды аумақтарда қоныстану құрылымын жақсарту мен кеңістіктік ұйымдасуды күшейту талабынан туындайды;

Екіншіден, халық қоныстануы мен өндірістік дамудың тірек факторын жүйелі қалыптастыру аумақтың тұрақты әлеуметтік-экономикалық дамуына негіз болады; тірек орталықтарды және оларды байланыстыратын көлік дәліздерін айқындау тиімді логистика жүйесін құруға, инфрақұрылымды жетілдіруге және аумақтың әлеуетін толық ашуға мүмкіндік береді;

Үшіншіден, орнықты тірек факторды қалыптастыру табиғи-ресурстық әлеуетті ұтымды пайдалануға, ресурстарды игерудің кеңістіктік тиімділігін арттыруға және аумақшілік теңгерімді дамытуға жәрдемдеседі.

Кез келген мемлекеттің, әсіресе шекара маңындағы аумақтардың әлеуметтік-экономикалық және сәйкесінше геосаяси дамуында халық қоныстануының аумақтық ұйымдасуы негізгі тірек факторлардың бірі болып табылады. Ұзақ уақытты дамудың нәтижесі болып қалыптасқан және әлі күнге дейін өзгерістерге ұшырайтын аумақ тірек факторының оңтайлы және тиімді ұйымдастырылуы жалпы аумақтың және жеке әлеуметтік-экономикалық көрсеткіштердің дамуын анықтайды. Сондықтан қалыптасқан тірек фактордың түйінді элементтері мен байланыстырушы желілерін ажыратып, олардың орналасуы мен өзара сабақтастығы мен байланыстылығын анықтау және осының нәтижесінде болашақ дамуына көз салу әрекеттері аумақтың ресурстарын тиімді пайдалануға, аумақтардың кеңістіктегі ұйымдастырылуын оңтайландыруға, соның нәтижесінде көптеген мәселелерді шешуге мүмкіндік береді [3]. Соңғы онжылдықтарда географиялық ақпараттық жүйелердің дамуы осы салада эмпирикалық мәліметтер мен талдау әдістемесінің көптігіне әкеліп отыр [4]. Бұл үдеріс, әдетте, демографиялық, экономикалық, әлеуметтік және кеңістіктік құрылымдардағы елеулі өзгерістерді қамтиды.

Экономика мен халықты географиялық кеңістікте тиімді орналастырудың теориялық негіздері алғаш рет орналасу (штандинг) теориясы классиктері И. Тюнен, В. Лаунхардт, А. Вебер еңбектерінде, сондай-ақ кеңістіктік ұйымдасу мәселелерін дамытқан А. Лёш пен В. Кристаллер зерттеулерінде көрініс тапты. Осы теориялық идеялар аумақтық жоспарлаудың ғылыми базасын қалыптастырып, аумақтың тірек факторы тұжырымдамасының пайда болуына және дамуына негіз болды.

Аумақтың тірек факторы ұғымын ғылыми айналымға енгізгендердің бірі көрнекті кеңестік эконом географ Н. Н. Баранский. Ол өзінің «Қаланың экономикалық-географиялық зерттеуі туралы» деген мақаласында «... города и дорожная сеть – это каркас, это остов, на котором всё держится, остов, который формирует территорию, придаёт ей определённую конфигурацию» [5]. Осы тақырыптың кеңірек әрі қарай дамуына үлес қосқан ғалымдардың қатарында Г. М. Лаппо, М. Майергойз [6-7], П. М. Полян [8, 9] бар. «Қоныстанудың тірек факторы» терминін ғылыми айналымға қалалардың көрнекті зерттеушісі Б. С. Хорев өткен ғасырдың 70-ші жылдарының басында ғана енгізді [10] және кеңестік зерттеушілердің қатарынан О.К. Кудрявцев [11] сынды ғалымдардың зерттеуін айтуымызға болады. Елімізде тірек факторына зерттеулер кеңірек жүргізілмеген. Соңғы зерттеулердің бірі ретінде Д. Искалиев, М. Мурзатаева, Т. Терещенконың Батыс Қазақстан мен жалпы Қазақстанның тірек факторы бойынша еңбектерін айтуымызға болады. Аталған зерттеу негізгі мәселелерді анықтауға, бар мүмкіндіктерді талдауға және дамыту бойынша нақты ұсыныстарды тұжырымдауға бағытталған [12].

Бастапқы деректер және зерттеу әдістері. Зерттеу нысаны ретінде Оңтүстік Қазақстан экономикалық ауданына кіретін Жетісу, Алматы, Жамбыл, Түркістан және Қызылорда облыстары алынды. Зерттеу пәні ретінде осы облыстардағы қалалық және ауылдық елді мекендер, көлік тораптары, туристік орталықтар, сондай-ақ оларды өзара байланыстыратын көлік желілері мен магистральдардан тұратын аумақтың тірек факторы.

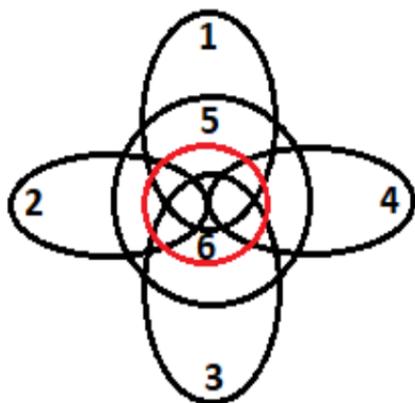
Зерттеу материалдары ретінде ҚР Ұлттық статистика бюросының ресми статистикалық деректері және «2025 жылға арналған КАТО кодтарының анықтамалығы» пайдаланылды. Талдауда аумақтық бірліктер бойынша салыстыру және жүйелеуде КАТО кодтары негізге алынды.

Аумақтың тірек факторы экономикалық және әлеуметтік географияның іргелі ұғымдарымен тығыз байланысты категория болып табылады және экономикалық аудандардың қалыптасуы мен аудандар арасындағы өзара байланыстар жүйесінің нәтижесі ретінде қалыптасады. Өз кезегінде, тірек факторы аумақтық-шаруашылықтық интеграцияның механизмі ретінде рөл атқарады. Мемлекеттің немесе оның жеке аумақтарының біртұтас ұлттық шаруашылық кешенін қалыптастырып, оның тиімді қызмет етуі мен дамуына жағдай жасайды. Сонымен қатар тірек факторын

зерттеу халықтың шаруашылығы мен қоныстануының аймақтық құрылымын талдауда жүйелі тәсілдемені қамтамасыз етіп, аумақшілік және аумақаралық байланыстардың алуан түрлілігін анықтауға мүмкіндік береді.

Зерттеу әдістері ретінде: теориялық әдістер (талдау, синтез, дедукция мен индукция, модельдеу, жалпылау, жүйелеу, жіктеу т.б.); және салыстырмалы-географиялық және бейнелеу-графикалық әдістер; есептік-математикалық және статистикалық мәліметтерді өңдеу әдістер; картографиялық әдіс, сондай-ақ геоақпараттық модельдеу қолданылды.

Талқылау және нәтижелері. Қазіргі кезде қоныстану жүйелерінің әрбір елді мекені өз бетінше дамитын дәстүрлі елді мекендермен жақындасуы және олардың арасындағы байланыстардың күшеюі жоғары дәрежеде шоғырланған қоныстанудың жаңа «топтық» түрлеріне алмасуда. Қоныстанудың жаңа түрлерін талдау үшін оның тірек факторы – ірі елді мекендердің, экономикалық, саяси, мәдени фокустары мен оларды байланыстыратын магистральдардың үйлесімділіктері маңызды рөл атқарады (1-сурет) [13].



1-сурет –
Ұлттық шаруашылықтың аймақтық құрылымындағы тірек фактордың орны:
1 – аймақтық-өндірістік құрылым; 2 – инфрақұрылым;
3 – өндірістік емес саланың аймақтық құрылымы;
4 – табиғи ресурстардың аймақтық құрылымы;
5 – халық қоныстануы; 6 – тірек фактор

Figure 1 –
The place of the supporting factor in the regional structure of the national economy: 1 – regional-production structure; 2 – infrastructure;
3 – regional structure of the non-production sphere;
4 – regional structure of Natural Resources; 5 – population; 6 – supporting factor

Қоныстанудың тірек факторы ұғымы Г. М. Лаппоның еңбектерінде терең қарастырылған. Ғалымның айтуынша, қоныстанудың тірек факторы – мемлекеттің немесе аумақтың кеңістіктік ұйымдастырылуының негізгі белгілерін көрсететін аумақ немесе елдің жалпыланған, ұсақ-түйектерден айырылған географиялық бейнесі [13; б. 18]. Тірек фактордың негізгі элементтеріне түйіндері мен сызықтық элементтері жатады. Түйіндері ретінде елді мекендері, ал сызықтық элементтері ретінде – магистральдар мен полимагистральдар рөл атқарады.

Басқаша айтқанда, аумақтың тірек факторының түйінді және сызықтық элементтері аумақтың экономикалық «бедерін» айқындап, оның «шыңдары» мен «жоталарын» бейнелейді. Осы тұрғыдан алғанда тірек факторды аумақтың әлеуметтік-экономикалық дамуын көрсететін «айна» ретінде қарастыруға болады. Мысалы, су нысандары климаттық жағдайлардың, топырақ жамылғысы ландшафттық ерекшеліктердің көрсеткіші болса, аумақтың тірек факторы да оның әлеуметтік-экономикалық даму деңгейі мен құрылымын бейнелейтін көрсеткіш қызметін атқарады.

Тірек фактордың түйінді элементтері екі негізгі түрге бөлінеді:

«орталық» түйіндер – көршілес аудандардың халқына және шаруашылықтарына қызмет көрсетіп, аумақтың ұйымдастырушы орталығы рөлін атқарады;

«арнайы маманданған» түйіндер – жетекші кәсіпорындар мен шаруашылық салалары (өнеркәсіп, ауыл шаруашылығы, қызмет көрсету салалары, оның ішінде туризм, рекреация және т.б. шоғырланған ошақтар ретінде қалыптасады. Басқаша айтқанда, оларды «салалық орталықтар» деп атауға болады.

Сызықтық элементтердің негізгі 2 түрі ажыратылады:

магистральдар – жоғары техникалық деңгейімен және тасымалдау қабілетімен сипатталатын көлік желілері;

полимагистральдар – бір бағытта бірнеше көлік түрлерінің желілері қатар шоғырланған (бір дәліз бойымен өтетін) жүйелер.

Түйінді элементтерді «орталық» және «арнайы маманданған» түрлерге ажырату барысында олардың әкімшілік мәртебесі, халық саны мен қоныстану тығыздығы, қызмет көрсету функцияларының ауқымы (білім беру, медицина, сауда, мәдениет), сондай-ақ көлік-логистикалық қолже-

тімділік деңгейі және жақын аумақтарды тарту аймағы (хинтерланд) ескерілді. Ал «арнайы маманданған» түйіндер жетекші салалардың шоғырлануымен (ірі кәсіпорындардың болуы, өндірістік және аграрлық өнім көлемі, қызмет көрсету секторының үлесі, туристік келушілер ағыны және рекреациялық инфрақұрылым) айқындалды.

Сызықтық элементтерді магистральдар және полимагистральдар ретінде жіктеу кезінде көлік желісінің техникалық санаты, өткізу және тасымалдау қабілеті, байланыстырылатын түйіндердің иерархиялық деңгейі, сондай-ақ дәліз бойында бірнеше көлік түрінің қатар орналасуы (автожол, теміржол және т.б.) және халықаралық, ұлттық маңыздылығы негізге алынды.

Оңтүстік Қазақстан – елімізде ерекше орын алатын экономикалық-географиялық аудан. Жер ауданы жағынан 2-ші орында. Жалпы ауданы – 707 383 км². Солтүстіктен оңтүстікке қарай 700 км-ге, батыстан шығысқа қарай 2000 км-ге созылып жатыр. Атауы айтып тұрғандай, республикамыздың оңтүстігінде орналасқан. Қытай, Қырғызстан, Өзбекстан сияқты елдермен шектесетін аумақ. Ауданның құрамына 5 облыс (Жетісу, Алматы, Жамбыл, Түркістан, Қызылорда) және республикалық маңызы бар 2 қала (Алматы, Шымкент) кіреді (2-сурет). Географиялық орналасуы оның көптеген ерекшеліктерінің қалыптасуына өз әсерін тигізді.



2-сурет – Оңтүстік Қазақстан экономикалық ауданының орналасуы.

Ескерту: авторлар ArcGIS бағдарламасы көмегімен құрастырған карта

Figure 2 – Location of the South Kazakhstan economic district.

Note: map compiled by the authors using the ArcGIS program

Физикалық-географиялық орналасуы жағынан аумақ кең байтақ Тұран жазығының шығыс бөлігі мен Орталық Азиялық таулар (Жетісу Алатауы, Ұзынқара, Солтүстік Тянь-Шань мен Солтүстік-Батыс Тянь-Шаньның сілемдері) алып жатыр. Климаттық көрсеткіштері жағынан қоңыржай белдеуінің континентті секторында орналасқан. Осындай алуан түрлі геоморфологиялық және климаттық факторларының әсерінен алуан түрлі табиғи зоналар мен ландшафттар таралған: шөлдер мен шөлейттерден бастап биіктаулы шыңдардағы нивальді белдеуіне дейін. Осылайша, Оңтүстік Қазақстан аумағы табиғи жағдайларының жоғары алуантүрлілігімен сипатталады.

Ең алдымен Оңтүстік Қазақстанды еліміздегі ежелгі өркениеттердің бесігі мен ошағы деуге болады. Соған қоса, б.з.б. II мыңжылдықтан бері Ұлы Жібек жолының қызмет етуі де осы аумақтың тарихи ескерткіштер мен мәдени мұраның көптеп жинақталуына әкелді. Қазіргі кезде де Оңтүстік Қазақстан халық ең тығыз қоныстанған экономикалық аудан болып келеді. ҚР-ң Статистика агенттігінің мәліметтері бойынша, 2025 жылғы 1 қазанда Оңтүстік Қазақстан ауданына кіретін Қызылорда, Түркістан, Жамбыл, Алматы және Жетісу облыстары және еліміздің ең ірі қалалары Алматы мен Шымкенттің жалпы халық саны 10 млн адамнан асқан. Демек, бұл еліміздегі халықтың тең жартысы 5 экономикалық ауданның ішіндегі тек бір Оңтүстік Қазақстанда ғана шоғырланған. Экономикалық ауданның жалпы ауданын қоса алғанда, орташа халық тығыздығы 14 адам/км² келеді, бұл орташа республикалық көрсеткіштен 2 есе жоғары [14].

Алайда бұл өңірдегі халықтың орташа тығыз (көршілес Орталық Азия мемлекеттеріндегідей) аумақ бойынша қоныстанудың шынайы бейнесін толық ашып көрсетпейді. Себебі тығыздығы қоныстанған ошақтар (кей аумақтарда 1 шаршы шақырымға ондаған адамнан келетін) көбіне кең алқапты өте сирек қоныстанған, тіпті қоныстанбаған шөлді аймақтармен шектесіп жатыр. Халық саны бойынша пайдаланылған деректер көзі – Қазақстан Республикасының ресми статистикасы [15].

1-кесте – Оңтүстік Қазақстан экономикалық ауданының негізгі көрсеткіштері [16]

Table 1 – Main indicators of the South Kazakhstan economic District

№	Облыс	Әкімшілік орталығы	Ауданы, км ²	Халық саны, адам (2025 ж. 1 қазан)
1	Алматы	Қонаев	105 263	1 560 124
2	Жетісу	Талдықорған	118 648	694 325
3	Жамбыл	Тараз	144 264	1 222 391
4	Түркістан	Түркістан	111 280	2 154 041
5	Қызылорда	Қызылорда	226 076	846 104
6	Алматы қаласы	–	682	2 292 055
7	Шымкент қаласы	–	1 170	1 256 164
	Оңтүстік Қазақстан	–	707 383	10 025 204

Дереккөз: Қазақстан Республикасы Ұлттық экономика министрлігі Статистика комитеті
<https://stat.gov.kz/region/almatyobl/collections/?year=2018&period=year&name=>.
 Source: Statistics Committee of the Ministry of national economy of the Republic of Kazakhstan
<https://stat.gov.kz/region/almatyobl/collections/?year=2018&period=year&name=>.

1991 жылы Кеңес Одағы ыдырағаннан кейін тәуелсіздік алған Қазақстан ірі, географиялық жағынан алуан түрлі және көп этносты ел болып табылады [17; б. 57]. Аймақ тарихи тұрғыдан көпэтносты сипатта қалыптасып, қазақ халқының басымдығымен және орыс-славян этностары үлесінің салыстырмалы жоғары болуымен дамыды. Қазіргі кезеңде Оңтүстік Қазақстанның этникалық құрылымы полиэтностық сипатын сақтай отырып, қазақтар мен басқа да түркі тілдес этностардың саны мен үлес салмағының артуы бағытында өзгеру (трансформациялану) үстінде.

2025 жылы Оңтүстік Қазақстан өңіріндегі халықтың этникалық құрамы бірнеше ірі этностардан тұрады. Саны жағынан ең ірі алғашқы 10 этностық топ төмендегідей: қазақтар – 7 382 045, орыстар – 862 380, өзбектер – 649 656, ұйғырлар – 298 685, әзірбайжандар – 121 806, түріктер – 86 863, кәрістер – 83 238, татарлар – 77 988, украиндар – 52 037, немістер – 38 639 адам (2-кесте). Статистикалық деректерге сәйкес, қазақтар өңір халқының абсолютті көпшілігін құрайды. Ал өзге ірі этностардың саны бір-біріне салыстырмалы түрде жақын болғанымен, қазақтар үлесінен айтарлықтай төмен деңгейде қалып отыр.

Статистикалық деректер бойынша, қазақтар айқын абсолютті көпшілікті құрайды (көрсетілген топтар ішінде 76,5%). Екінші және үшінші орындарда орыстар (8,9%) мен өзбектер (6,7%) тұр, ал қалған этностардың әрқайсысының үлесі 3.1%-дан төмен, яғни өңір полиэтносты болғанымен, құрылымы доминантты көпшілік (қазақтар) және салыстырмалы түрде шағын үлесті этностардан тұратын модельге жақын.

2-кесте – Оңтүстік Қазақстан өңіріндегі ірі этностардың саны және үлесі, 2025 ж.
Table 2 – Number and share of large ethnic groups in the South Kazakhstan region, 2025

Этнос	Саны (адам)	Үлесі, %
Қазақтар	7 382 045	76.47
Орыстар	862 380	8.93
Өзбектер	649 656	6.73
Ұйғырлар	298 685	3.09
Әзірбайжандар	121 806	1.26
Түріктер	86 863	0.90
Кәрістер	83 238	0.86
Татарлар	77 988	0.81
Украиндар	52 037	0.54
Немістер	38 639	0.40
Барлығы	9 653 337	100.00

Дереккөз: Қазақстан Республикасы Ұлттық экономика министрлігі Статистика комитеті <https://stat.gov.kz/region/zhetisu/collections/?year=2024&period=&name=>.
Source: Statistics Committee of the Ministry of national economy of the Republic of Kazakhstan <https://stat.gov.kz/region/zhetisu/collections/?year=2024&period=&name=>.

Аталған зерттеуде Оңтүстік Қазақстанның облыстарына тән белгілері этникалық алуан-түрлілігі, солтүстік аумақтарға қарағанда туу көрсеткіштері әлдеқайда жоғары (соның арқасында оңтүстік аумақтар мемлекетіміздің халық саны өсуінің қозғалтқышына айналды), көші-қон ағымдары, әсіресе облысшілік, ауылдан қалаға, ауылдан ауылға, облыс аралық ағымдары да ауқымды. Нәтижесінде Оңтүстік Қазақстанның кейбір ауылдары еліміздің солтүстігіндегі аумақтардың қалаларынан да үлкенірек.

Оңтүстік Қазақстан экономикалық ауданының табиғи жағдайлары мен табиғи ресурстары, халықтың қоныстану ерекшеліктері және ұлттық шаруашылықтардың орналасуы мен дамуы оның қазіргі кездегі тірек факторының қалыптасуына әкелді. Сонымен қатар, көші-қон факторлары географиялық жақындыққа, әлеуметтік желілерге және тарихи байланыстарға қатысты болуы мүмкін. Әсіресе Еуропа мен Азияның тоғысқан жеріндегі трансконтинентальды мемлекет Қазақстан жағдайында өзекті болып табылады [18]. Кез келген аумақтың тірек факторы 2 негізгі элементтен тұрады: нүктелі және сызықтық. Олар халықтың және шаруашылықтардың шоғырлану орталықтары мен оларды байланыстыратын желілер болып келеді. Олардың сипаттамалары мен орналасу ерекшеліктері жалпы тірек факторының сипатын, конфигурациясын, қызмет етуін анықтайды.

1. Тірек факторды қалыптастырудағы бастапқы негіз – түйінді элементтер. Түйінді элементтер қатарына облыс орталықтары, қалалар мен аудан орталықтары, сондай-ақ маңызды өнеркәсіптік, сауда және туризм орталықтары енгізілді. Бұдан бөлек, көлік магистральдары бойындағы негізгі елді мекендер мен ірі көлік бекеттері (станциялар, тораптар) да түйінді элемент ретінде қарастырылды. Олардың жалпы саны Алматы облысында - 58, Жетісу - 35, Жамбыл - 23, Түркістан - 55, Қызылорда облысында - 30, сонымен қатар республикалық маңызы бар Алматы мен Шымкент қалалары әкімшілік жағынан осы облыстарға кірмесе де, осы аумақтар тұрғындарының таралуы мен көлік қатынастарында маңызды орын алатындықтан есепке алынды, сонымен барлығы – 203 элементі алынды. Олар мәртебесі мен қызметіне қарай жеке топтарға жіктелінді (3-кесте).

Аумақтың түйінді элементтермен қамсыздандырылуын түйінді элементтердің жиілігі көрсетеді [11]. Осы көрсеткіш түйінді элементтер санының аумақтың ауданына қатынасы ретінде есептеледі (4-кесте).

Оңтүстік Қазақстан өңірінде түйінді элементтердің жиілігін талдау нәтижелері бойынша ең жоғары көрсеткіш Алматы облысында анықталды. Бұл облыста елді мекендер желісінің салыстырмалы түрде тығыз орналасуымен және өңірдің ірі агломерациялық-экономикалық орталығы – Алматы қаласының шоғырландырушы ықпалымен байланысты. Екінші орында Түркістан облысы

түр; оның жоғары мәні еліміздегі ірі агломерациялардың бірі – Шымкент қаласының орналасуымен түсіндіріледі. Сонымен қатар аталған екі облыс тарихи тұрғыдан отырықшы қоныстану дәстүрі қалыптасқан аймақтарға жататындықтан, елді мекендер санының көптігімен ерекшеленеді. Бұған қоса, олардың аумақ көлемінің салыстырмалы түрде шағын болуы жиілік көрсеткішін қосымша арттырады. Ал түйінді элементтердің ең төменгі жиілігі Қызылорда облысында тіркелді; бұл облыс аумағының ауқымдылығымен және шөлді табиғи жағдайлардың басым болуына байланысты қоныстанудың сирек орналасуымен сипатталады. Осылайша өңірде қоныстану жүйесінің кеңістіктік әркелкілігі мен контрастылығы түйінді элементтердің жиілігі арқылы айқын көрініс табады.

3-кесте – Оңтүстік Қазақстан экономикалық ауданы аумақтарының тірек факторын құрайтын түйінді элементтердің топтамалары

Table 3 – Groups of key elements that make up the supporting factor of the territories of the South Kazakhstan economic district

№	Топтамалар	Аумақ	Елді мекендер	Саны
1	Республикалық маңызы бар қалалар	Оңтүстік Қазақстан ЭА	Алматы	1
			Шымкент	1
2	Облыс орталықтары	Алматы	Қонаев	1
		Жетісу	Талдықорған	1
		Жамбыл	Тараз	1
		Түркістан	Түркістан	1
		Қызылорда	Қызылорда	1
3	Аудан орталықтары мен қала әкімшіліктеріне қарасты аумақтары	Алматы	Алатау, Бақанас, Есік, Өтеген Батыр, Қаскелең, Кеген, Нарынқол, Талғар, Шонжы	10
		Жетісу	Жансүгір, Үшарал, Қарабұлақ, Үштөбе, Сарыөзек, Балпық-Би, Жаркент, Сарқан, Текелі	9
		Жамбыл	Сарыкемер, Аса, Бауыржан Момышұлы, Қордай, Мерке, Мойынқұм, Құлан, Жаңатас, Қаратау, Төле би	10
		Түркістан	Арыс, Жетысай, Қазығұрт, Абай, Кентау, Мырзакент, Темірлан, Шәуілдір, Шаян, Шорнақ, Ақсуқент, Сарыағаш, Шолаққорған, Ленгер, Тұрар Рысқұлов, Шардара	16
		Қызылорда	Арал, Байқоңыр, Жалағаш, Жаңақорған, Әйтеке би, Жосалы, Терөзек, Шиелі	8
5	Ерекше (өнеркәсібі бар немесе туристік зоналарға кіретін) ауылдық елді мекендер	Алматы	Шымбұлақ, Шамалған, Түрген, Саты т.б.	4
		Жетісу	Ақсу, Көксу, Ақши, Көктума т.б.	4
		Жамбыл	Шығанақ, Ойтал, Ақбақай, Луговое т.б.	4
		Түркістан	Бадам, Қарасу, Ақсу, Отырар, Созақ, т.б.	5
		Қызылорда	Қазалы, Жақсықылыш, Тасбөгет т.б.	3
6	Көлік жолдары бойындағы маңызы бар ауылдық елді мекендер мен бекеттер	Алматы	Ақши, Қараой, Бақбақты, Шелек	23
		Жетісу	Қорғас (Хоргос), Қызылағаш, Лепсі, Матай, Көпбірлік т.б.	21
		Жамбыл	Шу, Отар, Ақсу, Сортөбе т.б.	8
		Түркістан	Қарабұлақ, Атакент, Қызылқұм, Түлкібас т.б.	28
		Қызылорда	Белкөл, Тұрмағамбет, Сексеуіл	18

Ескерту: 2025 жылға арналған КАТО кодтарының анықтамалығы – ҚР СҚ жіктеуі 11-2009 бойынша авторлар құрастырған.

Дереккөз: <https://findhow.org/2210-spravochnik-kato-v-kazhastane.html>

Note: reference book of Cato codes for 2025-classification of the SC RK compiled by the authors of 11-2009.

Source: <https://findhow.org/2210-spravochnik-kato-v-kazhastane.html>

4-кесте – Оңтүстік Қазақстан аймағының түйінді элементтермен қамсыздандырылуы

Table 4 – Provision of the South Kazakhstan region with key elements

№	Аумақ	Ауданы, км ²	Түйінді элементтердің саны	Түйінді элементтердің жиілігі
1	Алматы	105 263	58	0,00055
2	Жетісу	118 648	35	0,00029
3	Жамбыл	144 264	23	0,00016
4	Түркістан	111 280	55	0,00049
5	Қызылорда	226 076	30	0,00013
6	Алматы қаласы	682	1	–
7	Шымкент қаласы	1 170	1	–
	Оңтүстік Қазақстан экономикалық ауданы	707 383	203	0,00029

Ескерту: авторлар 2025 жылға арналған КАТО кодтарының анықтамалығы – ҚР СҚ жіктеуі 11-2009 дереккөзі негізінде құрастырған.
Дереккөз: <https://findhow.org/2210-spravochnik-kato-v-kazahstane.html>
Note: compiled by the authors on the basis of the reference book of Cato codes for 2025 – classification of the SC RK 11-2009.
Source: <https://findhow.org/2210-spravochnik-kato-v-kazahstane.html>

2. Қоныстанудың және аумақтық ұйымдасудың тірек факторын құрайтын маңызды құрамдас бөліктің бірі – түйінді элементтерді өзара байланыстыратын сызықтық элементтер (жолдар мен магистральдар). Зерттеу аумағында сызықтық элементтер ретінде теміржол желілері және қатты жабындысы бар халықаралық, республикалық және аумақтық маңызы бар автомобиль жолдары алынды.

Аумақтың тірек қаңқасының сызықтық элементтерін негізінен теміржол және автомобиль жолдары құрайды. Осыған байланысты жұмыста зерттеу аумағындағы теміржол және автомобиль жолдары желісінің кеңістіктік құрылымы мен таралу ерекшеліктері қарастырылды.

Теміржол магистральдары субмеридиандық және субендік бағытта созылып жатыр. Олар Кеңес Одағы кезінде салынған Трансқазақстан және Түркісіб магистральдарының кесінділері болып келеді:

- Транссібір магистралінің Қазақстан жеріндегі кесіндісі;
- Трансқазақстан магистралінің кесіндісі;
- Орынбор-Ташкент магистралінің кесіндісі;
- Трансазия магистралінің кесіндісі.

Оңтүстік Қазақстан аумағы арқылы халықаралық маңызы бар 3 автомагистрал өтіп жатыр:

- Ташкент – Шымкент – Тараз – Алматы – Хоргос;
- Шымкент – Қызылорда – Ақтөбе – Орал - Самара;
- Алматы – Қарағанды – Астана – Петропавл.

Осы магистральдар субмеридиандық және субендік бағытта Ресей мен Орталық Азия елдерін, ал республикалық маңызы бар жолдар өзара облыс орталықтарын және Астана қаласымен байланыстырады.

Аумақтардың сызықтық элементтермен қамсыздандырылуы сызықтық элементтер жиілігі деген көрсеткіштің көмегімен анықталады (5-кесте) [11].

Сызықтық элементтердің жиілігі бойынша ең жоғары көрсеткіш Түркістан облысына тән. Бұл, бір жағынан, облыс аумағының салыстырмалы түрде шағын болуына, екінші жағынан, елді мекендер желісінің жиілігі мен оларды байланыстыратын жолдардың тығыз орналасуына байланысты. Екінші орында көрсеткіші шамалы төмен Алматы облысы тұр. Мұны облыс аумағының салыстырмалы түрде шағындығымен қатар, оңтүстік өңірдегі ірі экономикалық және көліктік орталық – Алматы қаласының ықпалымен (көлік ағындарының шоғырлануы, магистральдардың түйісуі) түсіндіруге болады. Ең төменгі мән Қызылорда облысында анықталды, бұл облыс аумағының ауқымдылығымен және шөлді өңірлердің сирек қоныстануы мен шаруашылық тұрғыдан аз игерілуімен байланысты.

5-кесте – Оңтүстік Қазақстан аумағының сызықтық элементтермен қамсыздандырылуы

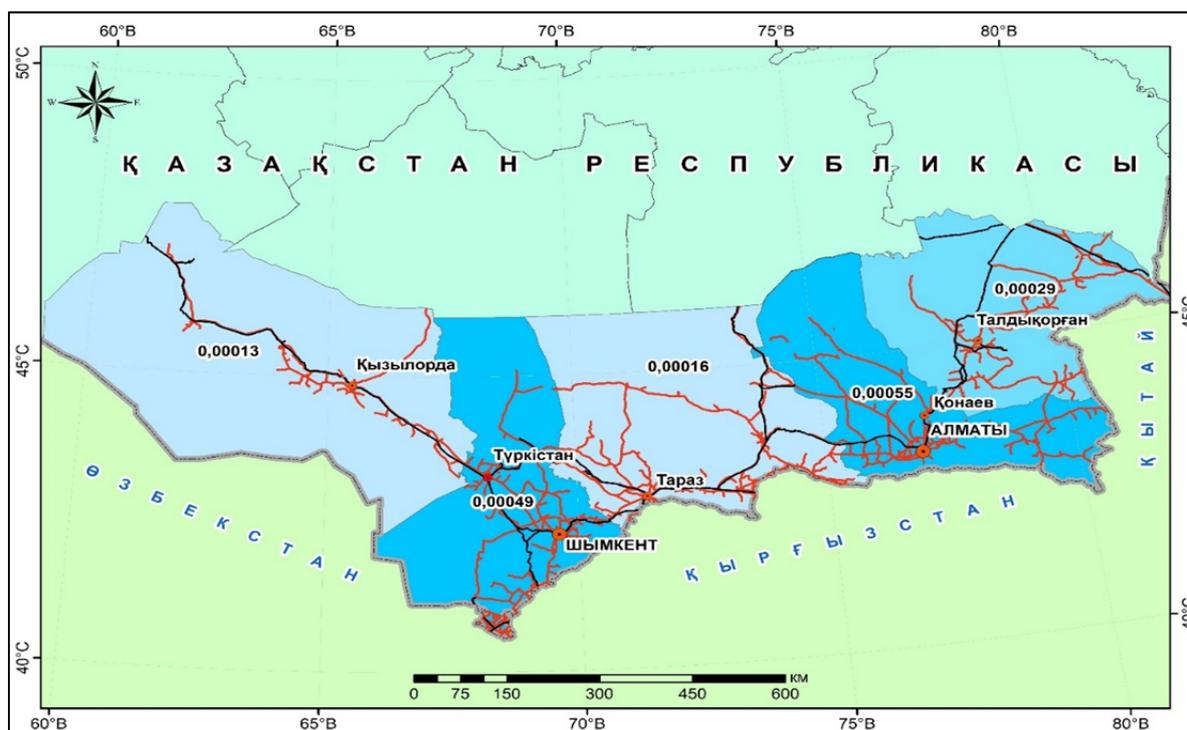
Table 5 – Provision of linear elements in the territory of South Kazakhstan

№	Аумақ	Ауданы, км ²	Теміржол ұзындықтары, км	Қатты жабындысы бар автожол ұзындықтары, км	Сызықтық элементтердің жиілігі
1	Алматы	105 263	306,3	3221	0,034
2	Жетісу	118 648	965,2	2498,6	0,029
3	Жамбыл	144 264	1236,3	3317,9	0,032
4	Түркістан	111 280	915,6	3057,8	0,036
5	Қызылорда	226 076	1055	1755	0,012
	Оңтүстік Қазақстан	707 383	3935,4	13850,3	0,025

Ескерту: ArcGIS бағдарламасының «Вычислить геометрию» құралының көмегімен есептелді.
Note: Calculated using the ArcGIS geometry tool.

Жалпы, Оңтүстік Қазақстан тірек факторының түйінді және сызықтық элементтерінің жиілік көрсеткіштерінің таралуы 3-, 4-суреттердегі карталарда көрсетілген.

Талқылау. Зерттеу аумағында қоныстанудың тірек факторын сипаттайтын түйінді және сызықтық элементтердің жиілігін талдау нәтижелері бойынша екі көрсеткіштің де ең төмен деңгейі Қызылорда облысында байқалады. Бұл, біріншіден, облыс аумағының ауқымдылығымен, екіншіден, шөлді табиғи-климаттық жағдайлардың басым болуына байланысты халықтың сирек таралуымен түсіндіріледі. Жамбыл және Жетісу облыстары орташа мәндермен сипатталады. Ал ең жоғары көрсеткіштер Алматы және Түркістан облыстарында байқалып, олар өңірдегі ірі агломерациялық орталықтардың шоғырлануымен, шаруашылық қызметтің жоғары деңгейімен және қоныстануға салыстырмалы қолайлы табиғи жағдайлармен негізделеді.

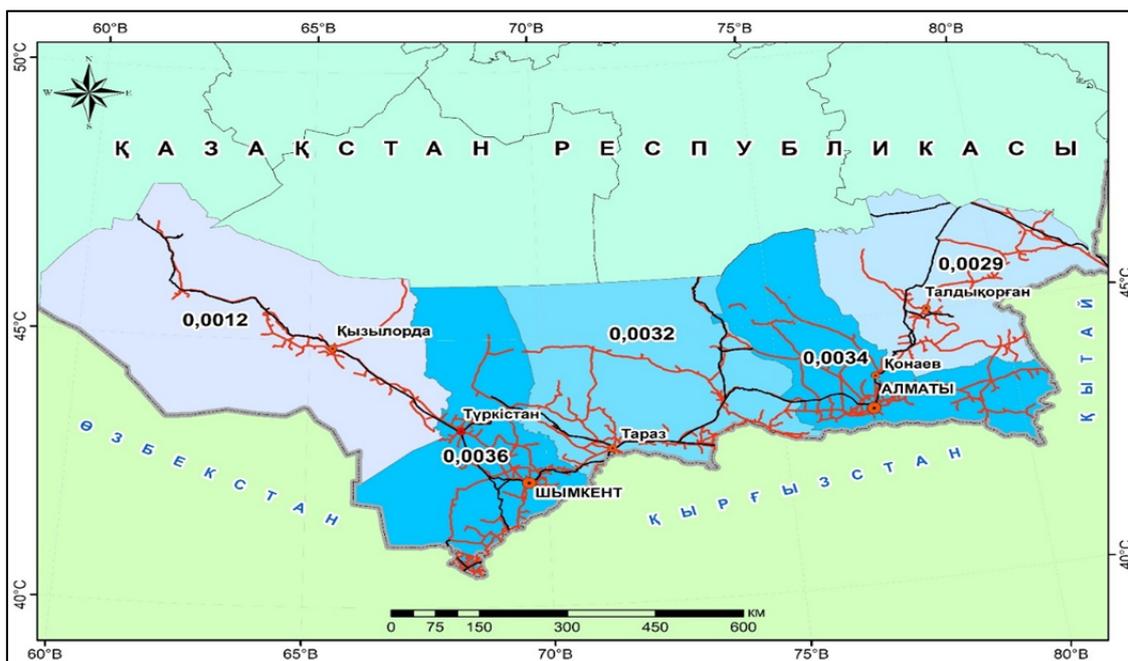


3-сурет – Оңтүстік Қазақстан аумағындағы қоныстану тірек факторы түйінді элементтерінің жиілік көрсеткіштері.

Ескерту: авторлар ArcGIS бағдарламасы көмегімен құрастырған карта

Figure 3 – Frequency indicators of key elements of the supporting factor of settlement in the territory of South Kazakhstan.

Note: map compiled by the authors using the ArcGIS program



4-сурет – Оңтүстік Қазақстан аумағындағы қоныстанудың тірек факторы сызықтық элементтерінің жиілік көрсеткіштері.
Ескерту: авторлар ArcGIS бағдарламасы көмегімен құрастырған карта

Figure 4 – Frequency indicators of linear elements of the main factor of settlement in the territory of South Kazakhstan.
Note: map compiled by the authors using the ArcGIS program

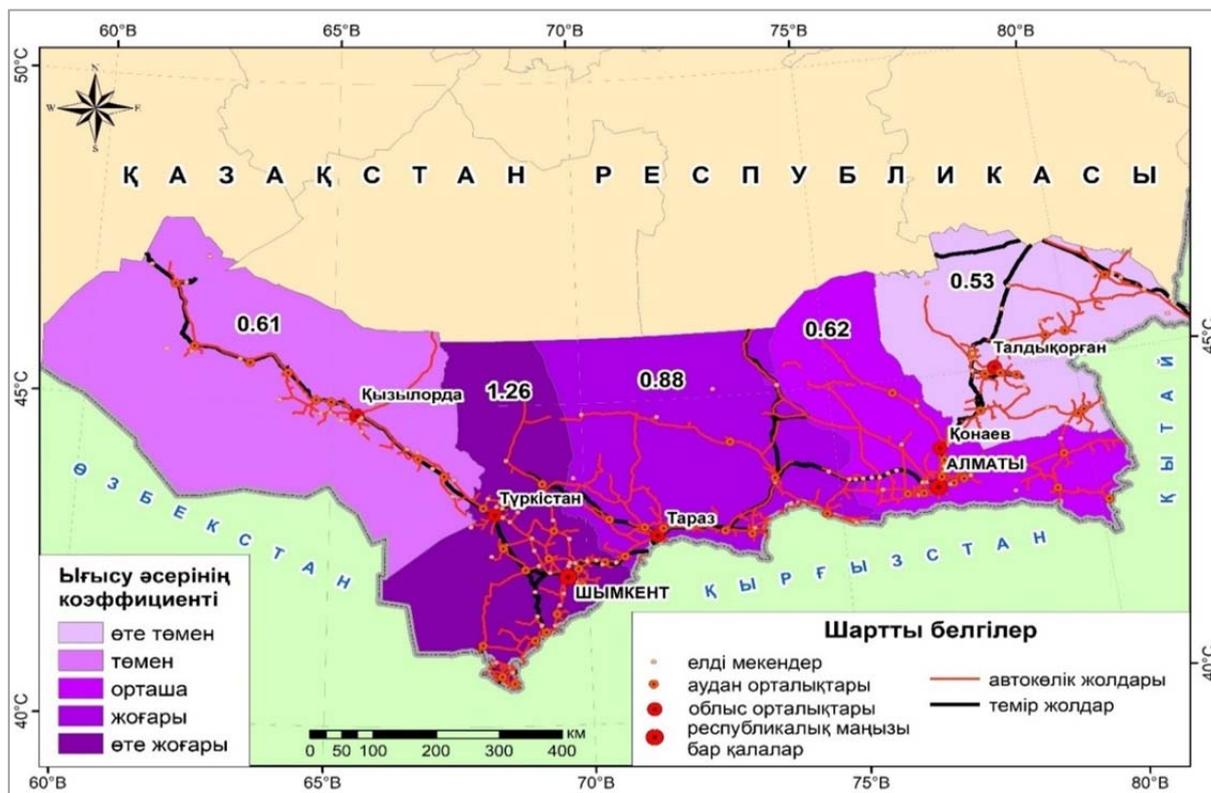
Аумақтың түйінді және сызықтық элементтер жиынтығы нәтижесінде пайда болатын тірек факторының қалыптасуы экономикалық және әлеуметтік сипаттағы жағымды нәтижелердің жиыны ретіндегі факторлық әсер (факторный эффект) береді. Осы факторлық әсердің бірі ретінде орталықтардың ығысу әсері (эффектісі) кешенді көрсеткіш болып табылады. Орталықтардың ығысу әсері тірек факторы түйіндерінің аумақ бойынша біркелкі таралмауы, керісінше бір-біріне тартылатындай жақындасуынан туындайды. Бұл орталықтар арасындағы көлік шығындарын азайтуға мүмкіндік береді. Өртүрлі аумақтардағы ығысу әсерін бағалау үшін О. К. Кудрявцев келесі өрнек ұсынды [11, б. 70]:

$$K = \frac{\sum l_{\phi}}{\sum l_{\tau}} = \frac{\sum l_{\phi}}{\sqrt{SN}},$$

мұндағы l_{ϕ} – тірек факторының көршілес түйіндері арасындағы шынайы қашықтық, км; l_{τ} – тірек факторының түйіндері біркелкі таралғандағы орташа теориялық қашықтық, км; S – зерттелу аумағының ауданы, км²; N – тірек түйіндерінің саны;

Демек, орталықтардың ығысу әсерінің көрсеткіші түйіндердің бір-біріне қаншалықты жақын орналасқанын, яғни олардың біркелкі орналасудан қаншалықты ауытқығанын (ығысқанын) көрсетеді және неғұрлым осы көрсеткіш кіші болса, соғұрлым фактордың түйіндері бір-біріне жақын орналасқан, ал неғұрлым көбірек болса – аумақ бойынша біркелкі орналасқан деген сөз. Оңтүстік Қазақстан аумағындағы түйіндердің ығысу әсерінің есептелген коэффициенттері 5-суреттегі картада келтірілген.

Түйінді элементтердің кеңістіктік таралуын талдау олардың негізінен Оңтүстік Қазақстанның оңтүстік белдеуінде шоғырланғанын көрсетеді. Әсіресе түйінді элементтер Алматы, Жамбыл және Түркістан облыстарының тауалды және тау бөктері аймақтарында (Солтүстік және Солтүстік-Батыс Тянь-Шань етектері) жиі орналасқан. Жетісу облысында олар Жетісу Алатауының тауалды жазықтары мен аңғарларында, ал Қызылорда облысында Сырдария өзені бойында шоғырланады. Бұл аумақтар табиғи жағдайлары қолайлы, су ресурстары мол әрі егіншілік пен қоныстануға қолайлы өңірлер болып табылады. Керісінше, Жетісу өңірінің шөлейт-далалық бөліктерінде, сондай-ақ Арал теңізі маңы мен Бетпақдала шөлі аумақтарында түйінді элементтердің таралуы сирек байқалады. Осыған сәйкес, түйінді элементтерді өзара байланыстыратын жол желісінің



5-сурет – Оңтүстік Қазақстан экономикалық ауданы тірек факторы элементтері мен түйіндерінің ығысу әсер көрсеткіштері.

Ескерту: авторлар ArcGIS бағдарламасы көмегімен құрастырған карта

Figure 5 – Indicators of the impact of displacement of elements and nodes of the supporting factor of the South Kazakhstan economic district.

Note: map compiled by the authors using the ArcGIS program

таралуы да біркелкі емес, яғни инфрақұрылым тығыздығы қоныстану мен шаруашылықтың шоғырланған аймақтарында жоғары болып келеді.

Осыған сәйкес, түйінді элементтерді өзара байланыстыратын жол желісінің таралуы да біркелкі емес, яғни инфрақұрылым тығыздығы қоныстану мен шаруашылықтың шоғырланған аймақтарында жоғары болады. Нәтижесінде өңір аумағында көлік қолжетімділігі мен байланыстылық деңгейі кеңістікте айқын әркелкі қалыптасып, шеткері және сирек қоныстанған аумақтарда транспорттық қолжетімділік төмендеу сипат алады.

Оңтүстік Қазақстан аумақтарының ығысу әсері жөнінде айтсақ, ең кіші коэффициент Жетісу облысында байқалады, бұл облыстың аудан орталықтары облыс орталығына жақынырақ орналасқан, сондықтан көлік шығындары көп болмайды деген сөз және экономикалық жағынан бұл тиімді. Қызылорда облысына қатысты да бұны айта аламыз. Бірақ екінші жағынан, игерілмеген кеңістіктер де бар деген сөз. Ең біркелкі орналасқан фактор түйіндері Түркістан облысында анықталды. Бұның да жағымды және жағымсыз белгілері анық.

Зерттеу аумағындағы тұрғындар қоныстануының тірек фактор конфигурациясын талдау нәтижесінде оны негізгі типтер бойынша жіктеуге болады. Қоныстанудағы тірек фактордың негізгі түрлері келесідей:

- орталықтандырылған, көбінесе радиалдық-сакиналық құрылым тән (мысалы, Франция, Венгрияның тірек факторы);
- агломерациялық торлы, «тордың» сызықтары (көлік байланыстары) қиылысатын жерлерінде өлшемдері әртүрлі көптеген орталықтар қалыптасады (Оңтүстік Германия);
- сызықтық континенттік (Канаданың тірек факторлары);
- алаптық (бассейндік) түрі – Рур, Жоғарғы Силезия, Донецк алабы сияқты көмір-металлургиялық аудандарға тән.

Г. Лаппо қоныстанудың аумақтық тірек факторының келесі кеңістіктік түрлерін ажыратады:

- радиалдық-сақиналы – мұнда басты ядросы болады, ал қалған ядролары басты ядродан тарайтын радиалды сызықтарда орналасқан;
- тікбұрышты-біркелкі, торлы – елді мекендер мен оларды қосатын сызықтар өзара тікбұрыштар жиынтығын құрайтын сияқты көрінеді. Осы пішіндердің бұрыштарында халық саны көбірек қалалық елді мекендер орналасқан;
- сызықтық-түйінді – осы тірек қаңқадағы ірі елді мекендердің көбі қуатты теміржол немесе өзен магистралы бойында бір сызықпен орналасқан;
- біртекті емес (көпядролы) – елді мекендердің орналасуында белгілі бір заңдылық байқалмайтын тау-кен өндіруші аумақтарға тән [13].

Осы түрлерге сәйкес Оңтүстік Қазақстан аумақтарында қоныстану тірек факторының түрлері жіктелген (6-кесте).

6-кесте – Оңтүстік Қазақстан экономикалық ауданы аумақтары тірек факторының жіктемесі
Table 6 – Classification of the supporting factor of the territories of the South Kazakhstan economic District

№	Аумақ	Жалпы жіктеме бойынша	Г. Лаппоның жіктемесі бойынша
1	Алматы	Агломерациялық-Торлы	Радиалдық Сақиналы
2	Жетісу	Алаптық (Бассейндік)	Радиалдық-Сақиналы
3	Жамбыл	Сызықтық Континенттік	Сызықтық-Түйінді
4	Түркістан	Сызықтық Континенттік	Сызықтық-Түйінді
5	Қызылорда	Сызықтық Континенттік	Сызықтық-Түйінді
	Оңтүстік Қазақстан экономикалық ауданы	Сызықтық Континенттік	Сызықтық-Түйінді

Ескерту: 2025 жылға арналған КАТО кодтарының анықтамалығы – ҚР СҚ жіктеуі 11-2009 бойынша авторлар құрастырған.
Дереккөз: <https://findhow.org/2210-spravochnik-kato-v-kazahstane.html>
Note: reference book of Cato codes for 2025-classification of the SC RK compiled by the authors of 11-2009.
Source: <https://findhow.org/2210-spravochnik-kato-v-kazahstane.html>

6-кесте бойынша Оңтүстік Қазақстан экономикалық ауданының тірек факторы жалпы жіктемеде басым түрде «сызықтық континенттік» сипатқа ие: Жамбыл, Түркістан, Қызылорда және ауданның жиынтық бейнесі осы типке жатады. Бұл өңірдің кеңістіктік ұйымдасуында негізгі байланыстардың магистральдар мен дәліздер бойымен созылыңқы қалыптасатынын, түйіндер сол сызықтық осьтерге тіреліп орналасатынын көрсетеді.

Г. Лаппо жіктемесі бойынша ауданның көп бөлігі «сызықтық-түйінді» типпен сипатталады (Жамбыл, Түркістан, Қызылорда және жалпы аудан). Яғни тірек құрылым бірнеше басты орталықтар (түйіндер) және оларды жалғайтын негізгі көлік осьтері арқылы ұйымдасқан. Ерекше жағдай ретінде Алматы мен Жетісу «радиалдық-сақиналы» типке жақын: бұл ірі орталықтың айналасына радиалды бағытталған байланыстардың және айналма-сақиналы элементтердің қалыптасуын білдіреді (агломерациялық ықпал). Сонымен, аудан ішінде агломерациялық аймақтарда агломерациялық-торлы сипат күшейсе, шөлді-шөлейтті кең аумақтарда және көлік дәліздері бойында сызықтық-түйінді құрылым басым.

Қорытынды. Өзінің тарихи даму барысында адамзат қоғамы табиғи жағдайлар мен ресурстардың кеңістікте біркелкі таралмауына байланысты әртүрлі аумақтық диспропорцияларға ұшырайды. Соның нәтижесінде өндіріс құралдары мен еңбек ресурстарының өзара әрекеттесуі арқылы қалыптасатын өндіргіш күштердің аумақ бойынша біркелкі орналаспау мәселесі туындайды. Қазіргі кезеңде әлеуметтік-экономикалық дамудың басым бөлігі аумақтық деңгейде іске асатындықтан, өңірлердің қызмет етуін ғылыми тұрғыда негіздеу өзектілігі арта түсуде. Осы контексте аумақтық шаруашылық құрылымның арқауы ретінде қоныстану мен өндірістің тірек факторы қалыптасады. Оңтүстік Қазақстан экономикалық ауданының елді мекендері мен көлік желілері негізіндегі тірек факторды зерттеу нәтижесінде төмендегідей қорытындылар тұжырымдалып, қолданбалы ұсыныстар ұсынылды.

1. Тірек фактордың интеграциялық рөлі. Қоныстанудың тірек факторы ел аумағының құрамдас бөліктерін біртұтас жүйеге біріктіруге қызмет етеді. Мемлекеттің әртүрлі бөліктерінің экономикалық тұрғыдан жақындасуы шаруашылық қызмет пен байланыстардың түйінді элементтерде (ірі қалалар мен орталықтарда) және сызықтық элементтерде (магистральдар мен дәліздерде) шоғырлануы арқылы жүзеге асады. Тірек фактордың тиімді қызмет етуі экономикалық, әлеуметтік және экологиялық тұрғыдан қосымша әсер қалыптастыруы мүмкін. Сонымен қатар тірек фактор қоныстану-өндірістік жүйені ғана емес, аумақтың физикалық-географиялық алғышарттарымен (орография, гидрографиялық тор, аумақ конфигурациясы және т.б.) өзара байланысын да айқындап көрсетеді.

2. Кеңістіктік әркелкілік және шеткері аумақтардың «тұйықталу» құбылысы. Зерттеу аумағында негізгі шаруашылық орталықтардан қашықтаған сайын тірек фактор элементтерінің даму деңгейі біртіндеп төмендейтіні байқалады. Бұл шеткері аумақтардың аймақаралық және халықаралық шаруашылық байланыстар жүйесіне жеткілікті дәрежеде кірігуінің әлсіреуіне, соның салдарынан тірек фактордың салыстырмалы «тұйық» түйіндері мен тармақтарының қалыптасуына негіз болады. Мұндай құбылыстар физикалық-географиялық кедергілер (алыстық, орография, климат) мен инфрақұрылымдық шектеулер байқалатын аумақтарда айқынырақ көрінеді. Атап айтқанда, Қызылорда облысында шөлді өңірлердің басымдығы және қоныстанудың өзен аңғары маңында шоғырлануы тірек фактордың кеңістіктік «созылыңқы» әрі сирек құрылымын қалыптастырады; Жамбыл облысының солтүстік бөліктерінде де ұқсас үрдістер байқалады. Ал тірек фактордың салыстырмалы жоғары көрсеткіштері Алматы және Түркістан облыстарында анықталып, бұл өңірлерде ірі агломерациялық орталықтардың тартылыс әлеуеті, шаруашылық қызметтің шоғырлануы және қоныстануға қолайлы табиғи жағдайлар әсер етеді.

Жалпы алғанда, Оңтүстік Қазақстан экономикалық ауданында тірек фактордың қалыптасуы физикалық-географиялық ерекшеліктерге, табиғи ресурстарды игеру дәрежесіне және тарихи қалыптасқан қоныстану белдеулеріне тәуелді. Орографиялық алғышарттар тұрғысынан түйінді және сызықтық элементтердің салыстырмалы тығыз шоғырлануы Іле Алатауы, Жетісу Алатауы және Қаратау маңында байқалады. Қызылорда облысында тірек фактордың негізгі бағыты Сырдария аңғары бойымен айқындалады, өйткені өңірдің едәуір бөлігін шөлді аумақтар алып жатыр. Тарихи алғышарттар қатарында көне қалалардың Ұлы Жібек жолы бойында қалыптасуы ерекше мәнге ие.

3. Тірек фактор құрылымын оңтайландыру бойынша қолданбалы ұсыныстар. Оңтүстік Қазақстанда тарихи қалыптасқан тірек фактор құрылымын жетілдіру үшін төмендегі бағыттар маңызды:

- қатты жабындысы бар автожолдар желісін кеңейту және жол сапасын жүйелі жақсарту;
- Алматы және Шымкент агломерацияларының шамадан тыс жүктемесін төмендету мақсатында олардың айналасындағы елді мекендердің қызметтік рөлін күшейту (сервистік, логистикалық, өндірістік және әлеуметтік функцияларды тең бөлу);
- туризмді дамыту арқылы туристік-рекреациялық әлеуеті бар, бірақ шалғай орналасқан ауылдық елді мекендердің инфрақұрылымын көтеру және ауылдық аумақтардың әлеуметтік-экономикалық жағдайын жақсарту.

4. Ғылыми-практикалық маңызы және болашақ зерттеу бағыттары. Зерттеу нәтижелері өңірлік жоспарлау, көлік-логистикалық инфрақұрылымды дамыту және туристік-рекреациялық саясатты негіздеуде қолданылуы мүмкін. Болашақта жол желісінің сапалық параметрлерін (өткізу қабілеті, жабынды сапасы, маусымдық қолжетімділік) және елді мекендердің функционалдық мәртебесін ескере отырып, геоақпараттық желілік талдау (қолжетімділік изохрондары, ықпал аймақтары, көпкритерийлі бағалау) жүргізу ұсынылады.

ӘДЕБИЕТ

- [1] Uskelenova A., Nikiforova N. Regional development of Kazakhstan: Theoretical premises and reality // *Regional Science Policy & Practice*. – 2022. P. 1-15. <https://doi.org/10.1111/rsp3.12616>
- [2] Aghion P., Durlauf S. *Handbook of economic growth*. – North Holland, 2019. – 1176 p.
- [3] Сансызбаева А. Б., Мылкайдаров А. Т., Чашина Б. А., Шакенова Г. Р. Территориальные особенности опорного каркаса расселения Северо-Казахстанского экономического района // *Вестник КазНУ. Серия географическая*. – 2025. – № 1(76). – С. 17-28. <https://doi.org/10.26577/JGEM20257612>
- [4] Kaarel S., Geoffrey C. Framing settlement systems as spatial adaptive systems // *Ecological Modelling*. – 2024. – Vol. 490. – P. 1-12. <https://doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2024.110652>

- [5] Баранский Н. Н. Об экономико-географическом изучении города // Экономическая география. Экономическая картография. – М.: Географгиз, 1956. – С. 132-153.
- [6] Маергойз И. М., Лаппо Г.М. География и урбанизация // Вопросы географии. Сб. 96. Урбанизация мира. – М.: Мысль, 1974. – С. 5-18.
- [7] Лаппо Г. М. География городов. – М.: Владос, 1997. – 480 с.
- [8] Полян П. М. Методика выделения и анализа опорного каркаса расселения. – М.: ИГ АН, 1988. – 220 с.
- [9] Географические ресурсы для иностранцев [Электрон. ресурс]. – 2019. – URL: Режим доступа: <http://geoconfluences.ens-lyon.fr/kz> (дата обращения: 20.02.2025).
- [10] Хорев Б. С. Исследование функциональной структуры городских поселений СССР (в связи с задачами их экономико-географической типологии) // Вопросы географии. Сб. 66. – М.: Мысль, 1965. – 53 с.
- [11] Кудряцев О.К. Глобальный каркас расселения // Известия АН СССР. Серия географическая. – 1989. – Вып. 4. – С. 68-76.
- [12] Dyussekeyeva Y., Kadyrbekova D., Issakov Y., Ageleuova A., Zhaksybekova D., Gajić T. Analysis of the current state and dynamics of tourism industry development in Akmola region, Kazakhstan // Geojournal of Tourism and Geosites. – 2025. – No. 60(2). – P. 1348-1361. <https://doi.org/10.30892/gtg.602spl30-1506>
- [13] Лаппо Г. М. Концепция опорного каркаса территориальной структуры народного хозяйства: развитие, теоретическое и практическое значение // Известия АН СССР. Серия географическая. – 1983. – Вып. 5. – С. 16-28.
- [14] Lei W., Jiao L., Xu G., Zhou Z. Urban scaling in rapidly urbanising China // Urban Studies. – 2022. – No. 59(9). – P. 1889-1908. <https://doi.org/10.1177/00420980211017817>
- [15] Чуланова З. К., Спанкулова Л. С. Демографический прогноз населения Казахстана: методы и перспективы развития // Кайнар. – 2023. – Вып. 2. – С. 6-22. <https://doi.org/10.58732/2958-7212-2023-3-6-22>
- [16] Официальный сайт Комитета по статистике Министерства национальной экономики Республики Казахстан [Электронный ресурс]. – 2024. URL: <https://stat.gov.kz/> (дата обращения: 15.08.2025).
- [17] Davletov K., Mackey M., Berkinbaev S., Battakova Z., Rechel B. Ethnic differences in all-cause mortality rates in Kazakhstan // Public health. – 2016. – No. 133. – P. 57-62. <https://doi.org/10.1016/j.puhe.2015.11.026>
- [18] Tolesha F., Biloshchytska S. Forecasting international migration in Kazakhstan using ARIMA models // Procedia Computer Science. – 2024. – No. 231. – P. 176-183. <https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0>

REFERENCES

- [1] Uskelenova A., Nikiforova N. Regional development of Kazakhstan: Theoretical premises and reality // Regional Science Policy & Practice. 2022. P. 1-15. <https://doi.org/10.1111/rsp3.12616>
- [2] Aghion P., Durlauf S. Handbook of economic growth. North Holland, 2019. 1176 p.
- [3] Sansyzybayeva A. B., Mylkaidarov A. T., Chashina B. A., Shakenova G. R. Territorial features of the supporting framework of the settlement of the North Kazakhstan Economic region // KazNU Bulletin. Geography series. 2025. No. 1(76). P. 17-28. <https://doi.org/10.26577/JGEM20257612> (in Russ.).
- [4] Kaarel S., Geoffrey C. Framing settlement systems as spatial adaptive systems // Ecological Modelling. 2024. Vol. 490. P. 1-12. <https://doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2024.110652>
- [5] Baransky N. N. On the economic and geographical study of the city // Economic geography. Economic cartography. Moscow: Geografiz, 1956. P. 132-153 (in Russ.).
- [6] Maerгойз И.М., Лаппо Г.М. География и урбанизация // Questions of geography. collection 96. Urbanization of the world. Moscow: Mysl, 1974. P. 5-18 (in Russ.).
- [7] Лаппо Г.М. География городов. Москва: Владос, 1997. 480 p. (in Russ.).
- [8] Polyán P.M. Methodology of isolation and analysis of the basic framework of settlement. M.: IG AN, 1988. 220 p. (in Russ.).
- [9] Geography resources for teachers [electronic resource]. Access mode: <http://geoconfluences.ens-lyon.fr/kz> (accessed: 02/20/2025) (in Russ.).
- [10] Khorev B.S. Investigation of the functional structure of urban settlements of the USSR (in connection with the tasks of their economic and geographical typology) // Questions of geography. Collection 66. M.: Mysl, 1965. 53 p. (in Russ.).
- [11] Kudryatsev O.K. The global framework of settlement // News of the USSR Academy of Sciences. 1989. No. 4. P. 68-76 (in Russ.).
- [12] Dyussekeyeva Y., Kadyrbekova D., Issakov Y., Ageleuova A., Zhaksybekova D., Gajić T. Analysis of the current state and dynamics of tourism industry development in Akmola region, Kazakhstan // Geojournal of Tourism and Geosites. 2025. No. 60(2). P. 1348-1361. <https://doi.org/10.30892/gtg.602spl30-1506>
- [13] Лаппо Г. М. The concept of the supporting framework of the territorial structure of the national economy: development, theoretical and practical significance // Izvestiya AN SSSR. The series is geographical. 1983. Issue 5. P. 16-28 (in Russ.).
- [14] Lei W., Jiao L., Xu G., Zhou Z. Urban scaling in rapidly urbanising China // Urban Studies. 2022. No. 59(9). P. 1889-1908. <https://doi.org/10.1177/00420980211017817>
- [15] Chulanova Z.K., Spankulova L.S. Demographic Forecast of the Population of Kazakhstan: Methods and Development Prospects // Qainar Journal of Social Science. 2023. Issue 2. P. 6-22. <https://doi.org/10.58732/2958-7212-2023-3-6-22> (in Russ.).
- [16] The official website of the Committee on Statistics of the Ministry of National Economy of the Republic of Kazakhstan [Electronic resource]. 2024. URL: <https://stat.gov.kz/> (date of access: 08/15/2025) (in Russ.).
- [17] Davletov K., Mackey M., Berkinbaev S., Battakova Z., Rechel B. Ethnic differences in all-cause mortality rates in Kazakhstan // Public health. 2016. No. 133. P. 57-62. <https://doi.org/10.1016/j.puhe.2015.11.026>
- [18] Tolesha F., Biloshchytska S. Forecasting international migration in Kazakhstan using ARIMA models // Procedia Computer Science. 2024. No. 231. P. 176-183. <https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0>

А. Б. Сансызбаева¹, А. Т. Мылқайдаров², З. А. Төлеков*³,
Б. А. Чашина⁴, Ж. М. Асипова⁵

¹ PhD, и.о. доцента (Евразийский национальный университет им. Л. Н. Гумилева, Астана, Казахстан; sansybayeva.ab@mail.ru)

² К.г.н., старший преподаватель (Казахский национальный университет им. аль-Фараби, Алматы, Казахстан; mylkaydarov@mail.ru)

³ *PhD докторант (Казахский национальный университет им. аль-Фараби, Алматы, Казахстан; tolekov.zangar04@gmail.ru)

⁴ PhD, ассоциированный профессор (Торайгыров университет, Павлодар, Казахстан; bikuwa17101981@gmail.com)

⁵ PhD, и.о. профессора (Казахский национальный университет им. аль-Фараби, Алматы, Казахстан; zhanna.assipova@gmail.ru)

ОСОБЕННОСТИ ФОРМИРОВАНИЯ ОСНОВНЫХ ОПОРНЫХ ФАКТОРОВ РАССЕЛЕНИЯ НАСЕЛЕНИЯ (НА ПРИМЕРЕ ЮЖНО-КАЗАХСТАНСКОГО ЭКОНОМИЧЕСКОГО РАЙОНА)

Аннотация. Рассмотрены теоретические основы, сущность и этапы процесса формирования экономико-географического опорного фактора расселения населения. Анализируется логика формирования опорного фактора, способствующего пространственной организации расселения населения и производственного развития на территории исследования. Определены и оценены исторические, физико-географические и экономико-географические предпосылки, положившие начало установлению опорного фактора в Южно-Казахстанском экономическом районе. Установлены основные сформировавшиеся ключевые и линейные элементы опорного фактора расселения, описаны их взаимосвязь и особенности территориальной организации. Систематизируются основные группы узловых элементов, образующих опорный фактор, анализируется конфигурация структуры расселения и классифицируется по видам. В заключительном разделе представлены предложения по оптимизации и совершенствованию экономико-географического опорного фактора расселения населения на исследуемой территории.

Ключевые слова: опорный фактор, ресурс, расселение, инфраструктура, промышленность, туризм, магистраль.

А. В. Sansybayeva¹, А. Т. Mylkaydarov², З. А. Tolekov*³,
В. А. Chashina⁴, Zh. M. Asipova⁵

¹ PhD, Acting associate professor (L. N. Gumilyov Eurasian National University, Astana, Kazakhstan; sansybayeva.ab@mail.ru)

² Candidate of geographical sciences, Senior Lecturer (Al-Farabi Kazakh National University, Almaty, Kazakhstan; mylkaydarov@mail.ru)

³ *PhD student (Al-Farabi Kazakh National University, Almaty, Kazakhstan; tolekov.zangar04@gmail.ru)

⁴ PhD, Associate Professor (Toraigyrov University, Pavlodar, Kazakhstan; bikuwa17101981@gmail.com)

⁵ PhD, Acting professor (Al-Farabi Kazakh National University, Almaty, Kazakhstan; zhanna.assipova@gmail.ru)

FEATURES OF THE FORMATION OF THE MAIN SUPPORTING FACTORS IN POPULATION SETTLEMENT (ON THE EXAMPLE OF THE SOUTH KAZAKHSTAN ECONOMIC DISTRICT)

Abstract. The article examines the theoretical foundations, the essence and stages of the process of forming an economic and geographical reference factor for the settlement of the population. The logic of the formation of a supporting factor contributing to the spatial organization of population settlement and industrial development in the study area is also analyzed. The historical, physico-geographical, and economic-geographical prerequisites that initiated the establishment of a reference factor in the territory of the South Kazakhstan Economic Region have been identified and evaluated. The main key and linear elements of the basic factor of settlement formed in the studied territory are identified, their interrelation and features of the territorial organization are described. At the same time, the main groups of nodal elements forming the supporting factor are systematized, the configuration of the settlement structure is analyzed and classified by type. The final section presents specific proposals on the areas of optimization and improvement of the economic and geographical support factor for the settlement of the population in the study area.

Keywords: support factor, resource, settlement, infrastructure, industry, tourism, highway.

МАЗМҰНЫ – СОДЕРЖАНИЕ – CONTENTS
**Геоинформационные технологии
Геоақпараттық технологиялар
Geoinformation technologies**

- Есимбеков Г. А., Рамазанова Н. Е., Мусабаяев Т. Т.* Эмпирические модели оценки плоскостной эрозии почв на основе геоинформационного анализа данных дистанционного зондирования Земли (на примере Жамбылской области)..... 3
(*Yessimbekov G. A., Ramazanova N. Ye., Musabaev T. T.* Empirical models for assessing sheet soil erosion based on geoinformation analysis of remote sensing data (a case study of the Zhambyl region))

**Геоэкология
Геоэкология
Geocology**

- Каюмова И. К., Турабджанов С. М., Абдурахманов Д. Д.* Исследование биосорбции с использованием микроводорослей рода *Хлорелла* для защиты водных ресурсов.....17
(*Kayumova I. K., Turabdzhanov S. M., Abdurakhmanov D. D.* Study of biosorption using *Chlorella* microalgae for the protection of water resources)

**Гидрология и водное хозяйство
Гидрология және су шаруашылығы
Hydrology and water management**

- Мальковский И. М., Толеубаева Л. С., Таиров А. З., Леман М. В., Абдидеков А. У., Нарбаева Қ. Т., Толева А.* Динамикалық-стохастикалық тәсіл негізінде трансшекаралық Шу-Талас бассейнін сумен қамтамасыз ету жүйесін модельдеу.....28
(*Malkovsky I. M., Toleubaeva L. S., Tairov A. Z., Leman M. V., Abdibekov A. U., Narbayeva K. T., Tolekova A.* Modeling of the water supply system of the transboundary Shu-Talas basin based on a dynamic-stochastic approach)
- Токтар А. Т., Нургазиева А. А., Рахметов И. К.* Актуальное состояние и возможности устойчивого водообеспечения пастбищ Южного Казахстана за счёт использования подземных вод..... 41
(*Toktar A. T., Nurgaziyeva A. A., Rakhmetov I. K.* Current state and prospects for sustainable water supply for pastures in Southern Kazakhstan through the use of groundwater)

**Гидрохимия и качество воды
Гидрохимия және судың сапасы
Hydrochemistry and water quality**

- Дюсембаева М. Т., Бубликов В. Н., Колбин В. В., Смирнов С. Д., Нургайсина Н. К., Ташекова А. Ж.* Химическая характеристика малых рек города Риддера Восточного Казахстана.....51
(*Dyusembayeva M. T., Bublikov V. N., Kolbin V. V., Smirnov S. D., Nurgaisinova N. K., Tasheкова A. Zh.* Chemical characteristic of small rivers in Ridder city of the East Kazakhstan)

**Земельные ресурсы, ландшафтоведение и рациональное природопользование
Жер ресурстары, ландшафттану және қоршаған ортаны басқару
Land resources, landscape science and environmental management**

- Aidarova A., Mussagaliyeva A., Assipova Zh., Oryngoza N., Turganaliyev S., Yildiz F.* Effective management of land resources to optimize their rational and sustainable land use from degradation and ecological and economic assessment of lands..... 63
(*Айдарова Ә., Мұсағалиева А., Асипова Ж., Орынгожа Н., Турганалиев С., Ялдыз Ф.* Жер ресурстарын тиімді басқару жерді тозуға және жерді экологиялық-экономикалық баға беру үшін оларды ұтымды және орнықты пайдалануды оңтайландыру)
- Мұқанова Г. А., Шимшиков Б. Е., Базарбаева Т. А., Ошақбай А. А., Қырғызбай Қ. Қ., Амангазиева У. Т.* Алматы қаласы топырағының морфологиялық және физика-химиялық қасиетін зерттеу..... 71
(*Mukanova G. A., Shimshikov B. Ye., Bazarbayeva T. A., Oshakbay A. A., Kyrgyzbay K. K., Amangaziyeva U. T.* Study of the morphological and physicochemical properties of soils in the city of Almaty)

Климатология и метеорология
Климатология және метеорология
Climatology and meteorology

- Омаров А. Н., Алдажанова Г. Б., Тулетаяев А. Б., Керимкулов Б. К.* Қазақстан Республикасы Жетісу облысының агроклиматтық ресурстарын бағалау..... 84
(*Omarov A. N., Aldazhanova G. B., Tuletayev A. B., Kerimkulov B. K.* Assessment of agro-climatic resources of Zhetysu Region of the Republic of Kazakhstan)
- Наурызбаева Ж. К., Жунисова М. А., Рахматулла Н. Е.* Климатические изменения Южного Каспия и их влияние на уровень моря..... 97
(*Naurozbayeva Zh. K., Zhunissova M. A., Rakhmatulla N. Ye.* Climate change in the Southern Caspian sea and its impact on sea level)

Экономическая география
Экономикалық география
Economical geography

- Келгенбаев Қ. М., Надыров Ш. М., Robinson J., Young S., Мазбаев О. Б.*
География международных конфликтов..... 108
(*Kelgenbayev K. M., Nadyrov Sh. M., Robinson J., Young S., Mazbayev O. B.* Geography of international conflicts)
- Mammadova A. R.* The impact of geographical conditions on population health in the Republic of Azerbaijan..... 116
(*Мамедова А. Р.* Әзірбайжан Республикасы халқының денсаулығына географиялық жағдайлардың әсері)
- Mustafayeva M. B., Mustafayev Zh. S., Shapalov Sh. K., Semyonov V. V., Abdeshev K. B.*
Multiparametric assessment of population health in Kyzylorda Region based on an integral indicator..... 127
(*Мұстафаева М. Б., Мұстафаев Ж. С., Шапалов Ш. К., Семенов В. В., Абдешев Қ. Б.* Интегралдық көрсеткіш негізінде Қызылорда облысындағы халық денсаулығын көппараметрлік бағалау)
- Мустафина А. Ж., Инкарова Ж. И., Нурғалиева Г. Ж., Джексенов М. Қ., Тухфатов Ж. К.*
Атырау облысы халқының денсаулығын қоршаған ортаның тәуекелді бағалау әдісімен зерттеу..... 136
(*Mustafina A. Zh., Inkarova Zh. I., Nurgaliyeva G. Zh., Jexenov M. K., Tukhfatov Zh. K.* Study of the health of the population of the Atyrau Region using the environmental risk assessment method)
- Сансызбаева А. Б., Мылкайдаров А. Т., Толеков З. А., Чашина Б. А., Асипова Ж. М.*
Халықты қоныстандырудағы негізгі тірек факторлардың қалыптасу ерекшеліктері (Оңтүстік Қазақстан экономикалық ауданы мысалында)..... 150
(*Sansyzbayeva A. B., Mylkaydarov A. T., Tolekov Z. A., Chashina B. A., Asipova Zh. M.* Features of the formation of the main supporting factors in population settlement (on the example of the South Kazakhstan economic district))

ПРАВИЛА ДЛЯ АВТОРОВ

В журнале публикуются статьи, посвященные проблемным вопросам географической науки и геоэкологии, а также научные сообщения теоретического, методического, экспериментального и прикладного характера, тематические обзоры, критические статьи и рецензии, в том числе в виде писем в редакцию, библиографические сводки, хроника научной жизни. Тексты статей и других материалов могут предоставляться на казахском, русском или английском языках. Редакция принимает материалы в электронном виде, набранные в текстовом редакторе Microsoft Word, в сопровождении идентичной бумажной версии. Поля: верхнее и нижнее – 2,4 см, правое и левое – 2,2 см. Текст (шрифт «Times New Roman») дается в одну колонку через межстрочный интервал 1,0 и для него устанавливается автоматический перенос. Страницы нумеруются. Материал статьи (текст, включая аннотации на казахском, русском и английском языках, рисунки, таблицы, список литературы) оформляется одним файлом. Объем статьи со всеми структурными элементами не должен превышать 50 000 знаков с пробелами (до 12 стр.), других материалов – 20 000 знаков с пробелами (до 4 стр.).

Рукописи статей оформляются следующим образом: 1) УДК (выравнивание текста «левый край», кегль 10); 2) через один интервал инициалы и фамилии всех авторов через запятую (выравнивание текста «по центру», начертание «полужирный», регистр «начинать с прописных», кегль 11; если авторов несколько, после фамилии каждого указывается надстрочным индексом порядковый номер арабской цифрой); 3) через один интервал – ученое звание и степень автора, должность, в скобках – полное название организации, в которой он работает, город, страна (выравнивание текста «по центру», кегль 10; если авторов несколько, сведения даются о каждом из них отдельной строкой через одинарный интервал, а начинается каждая строка с надстрочного индекса порядкового номера после фамилии автора); 4) через один интервал – название статьи без переноса (выравнивание текста «по центру», начертание «полужирный», регистр «все прописные», кегль 14); 5) через один интервал – аннотация из 5–10 предложений, объемом до 1200 знаков с пробелами (начинать абзац следующим образом: «Аннотация. ... (каз. яз.)», «Аннотация. ... (рус. яз.)», «Abstract. ... (англ. яз.)») на том языке, на котором написан основной текст рукописи (абзац «0,75 см», выравнивание текста «по ширине», регистр «все строчные», кегль 10); 6) через один интервал 5–7 ключевых слов (начинать абзац следующим образом: «Түйін сөздер: ...», «Keywords: ...», «Ключевые слова: ...»), сортированных по алфавиту, на том языке, на котором написан основной текст рукописи (абзац «0,75 см», выравнивание текста «по ширине», регистр «все строчные», кегль 10).

Основной текст разбивается на структурные элементы: введение, постановка проблемы, методика исследований, источники данных, результаты исследований, обсуждение результатов, заключение (выводы), источник финансирования исследований (при необходимости), список литературы. Перед списком литературы может помещаться благодарность лицам и организациям, оказавшим помощь в написании статьи. Необщепринятые аббревиатуры должны расшифровываться в тексте при первом упоминании. Параметры текста: абзац «0,75 см», выравнивание «по ширине», регистр «как в предложениях», кегль 11.

Под заголовком «ЛИТЕРАТУРА» приводится список источников, на которые есть ссылки в тексте. Литература приводится сначала на языке оригинала, затем дублируется на английском языке «REFERENCES» (абзац «0,75 см», выравнивание «по ширине», регистр «как в предложениях», кегль 9). В тексте ссылки на номера списка даются в квадратных скобках. Запись каждой библиографической ссылки в списке начинается с ее порядкового номера в тексте: «[1] Петрова С.Н. Научно-исследовательская деятельность ...»). Список литературы оформляется по ГОСТ 7.1–2003 и тщательно выверяется автором. Транслитерация не допускается!

Далее следует резюме. Для статьи, предоставленной на *казахском языке*, требуются русский и английский переводы; на *русском языке* – казахский и английский переводы; на *английском языке* – казахский и русский переводы. Для авторов из зарубежья резюме на казахский язык переводится в редакции в соответствии с предоставленным на русском и английском языках. Структура двуязычных резюме: инициалы и фамилии всех авторов через запятую (после фамилии каждого указывается надстрочным индексом порядковый номер арабской цифрой); ученое звание и степень автора, должность, в скобках – полное название организации, в которой он работает, город, страна (если авторов несколько, сведения даются отдельной строкой через одинарный интервал, а начинается каждая строка с надстрочного индекса порядкового номера после фамилии автора); название статьи; аннотация, приведенная в начале статьи (начинать абзац следующим образом: «Аннотация. ... (каз. яз.)», «Аннотация. ... (рус. яз.)», «Abstract. ... (англ. яз.)»); ключевые слова, приведенные в начале статьи (начинать абзац следующим образом: «Түйін сөздер: ...», «Keywords: ...», «Ключевые слова: ...»).

Таблицы набираются в формате Microsoft Word (не Microsoft Excel), кегль 9. В статье даются ссылки на все таблицы. Располагать их следует сразу после упоминания в тексте или на следующей странице. Название таблицы должно отражать ее содержание, быть точным, кратким. Например, «Таблица 1 – Средний многолетний расход р. Жайык, м³/с». Размещать его следует над таблицей, без абзацного отступа (выравнивание текста «по центру», кегль 9). Не допускается перенос части таблицы на следующую страницу. Большие таблицы допускается размещать на всю страницу с ориентацией «альбомная». Таблицы и графы в них должны иметь заголовки, сокращения слов не допускаются. Повторяющийся в разных строках графы таблицы текст из одного слова после первого написания допустимо заменять кавычками. Если он состоит из двух и более слов, то при первом повторении его заменяют словами «то же», а далее – кавычками. Ставить кавычки вместо повторяющихся цифр, марок, знаков, математических и химических символов не допускается. Если данные в какой-либо строке таблицы не приводят, то в ней ставят прочерк.

Рисунки должны быть выполнены в хорошем качестве, а их общее количество не превышать 5. Рисунки располагают непосредственно после текста, в котором они упоминаются впервые, или на следующей странице. Все надписи на рисунках должны хорошо читаться; по возможности их следует заменять буквами или цифрами, а необходимые пояснения давать в тексте или в подрисуночных подписях. В подрисуночной подписи необходимо четко отделить (новая строка) собственно название рисунка от объяснений к нему (экспликация). Подрисуночные подписи должны соответствовать тексту (но не повторять его) и изображениям. Например, «Рисунок 1 – Карта плотности населения в бассейне р. Жайык, чел. на 1 км²» (выравнивание текста «по центру», кегль 9). Фотографии должны быть четкими, без дефектов. Все рисунки также предоставляют отдельными файлами: для растровых изображений – в формате JPEG/TIFF/PSD, для векторных – в совместимом с Corel Draw или Adobe Illustrator. Разрешение растровых изображений в оттенках серого и RGB цветах должно быть 300 dpi, чёрно-белых – 600 dpi. Рекомендуемые размеры: ширина – 85, 120–170 мм, высота – не более 230 мм. При необходимости файлы могут быть заархивированы, предпочтительно в форматах ZIP или ARJ.

Математические обозначения и формулы нужно набирать в Microsoft equation и размещать в тексте отдельных строках, нумеруя только те, на которые есть ссылки в тексте. Русские и греческие буквы в формулах и статьях, а также математические символы и химические элементы набираются прямым шрифтом, латинские буквы – курсивом.

К статье следует приложить: 1) сопроводительное письмо; 2) рецензию на 1 стр.; 3) экспертное заключение об отсутствии секретных сведений в публикации, выданное организацией, в которой выполнена работа (в особых случаях возможно составление в редакции после внутреннего рецензирования); для нерезидентов Республики Казахстан экспертное заключение не требуется; 4) краткое заключение лаборатории (кафедры, отдела и др.), где выполнена представленная к публикации работа; 5) сведения о каждом авторе: ФИО (полностью), ученые степень и звание, должность и место работы, контактные E-mail, телефоны, факс.

Сданные в редакцию материалы авторам не возвращаются. Не соответствующие требованиям статьи не рассматриваются. Если статья отклонена, редакция сохраняет за собой право не вести дискуссию по мотивам отклонения.

Все материалы проходят внутреннее и внешнее рецензирование. Редакция просит авторов отмечать все изменения, внесенные в статью после исправления или доработки текста по замечаниям рецензента (например, цветом). При работе над рукописью редакция вправе ее сократить. В случае переработки статьи по просьбе редакционной коллегии журнала датой поступления считается дата получения редакцией окончательного варианта. За достоверность приведенных в статье научных фактов полную ответственность несет автор (авторы в равной мере, если их несколько).

Адрес редакции журнала «География и водные ресурсы»:

Республика Казахстан, 050000, г. Алматы, пр. Сейфуллина, 458/1,

АО «Институт географии и водной безопасности».

Тел.: +7(727)279-21-13.

E-mail: journal.ingeo@gmail.com

Сайт: <https://ojs.ingeo.kz>

Ғылыми жарияланымдардың этикасы

«География мен су ресурстары» журналының редакциялық алқасы халықаралық қоғамдастық қабылдаған жариялау этикасының қағидаттарын ұстанады, сондай-ақ беделді халықаралық журналдар мен баспалардың құнды тәжірибесін ескереді.

Баспа қызметіндегі жосықсыз тәжірибені болдырмау мақсатында (плагиат, жалған ақпаратты ұсыну және т.б.) және ғылыми жарияланымдардың жоғары сапасын қамтамасыз ету, автордың алған ғылыми нәтижелерін жұртшылықпен таныстыру мақсатында редакциялық кеңестің әрбір мүшесі, автор, рецензент, сондай-ақ баспа барысында қатысатын мекемелер этикалық стандарттарды, нормалар мен ережелерді сақтауға және олардың бұзылуын болдырмау үшін барлық іс-шараларды қабылдауға міндетті. Осы процеске қатысушылардың барлығының ғылыми жарияланым этикасы ережелерін сақтау авторлардың зияткерлік меншік құқықтарын қамтамасыз етуге, басылым сапасын арттыруға және авторлық ақпараттарды, жеке тұлғалардың мүддесі үшін заңсыз пайдалану мүмкіндігін болдырмауға ықпал етеді.

Редакцияға келіп түскен барлық ғылыми мақалалар міндетті түрде екі жақты шолудан өтеді. Журнал редакциясы мақаланың журнал бейініне, ресімдеу талаптарына сәйкестігін белгілейді және қолжазбаның ғылыми құндылығын айқындайтын және мақала тақырыбына неғұрлым жақын ғылыми мамандандырулары бар екі тәуелсіз рецензент – мамандарды тағайындайтын журналдың жауапты хатшысының бірінші қарауына жібереді. Мақалаларды рецензиялауды редакциялық кеңес және редакциялық алқа мүшелері, сондай-ақ басқа елдердің шақырылған рецензенттері жүзеге асырады. Мақалаға сараптама жүргізу үшін белгілі бір рецензентті таңдау туралы шешімді Бас редактор қабылдайды. Рецензиялау мерзімі 2-4 аптаны құрайды, бірақ рецензенттің өтініші бойынша ол ұзартылуы мүмкін.

Редакция мен рецензент қарауға жіберілген жарияланбаған материалдардың құпиялылығын сақтауға кепілдік береді. Жариялау туралы шешімді журналдың редакциялық алқасы рецензиялаудан кейін қабылдайды. Қажет болған жағдайда қолжазба авторларға рецензенттер мен редакторлардың ескертулері бойынша жөнделуге жіберіледі, содан кейін ол қайта рецензияланады. Редакция этика ережелерін бұзған жағдайда мақаланы жариялаудан бас тартуға құқылы. Егер ақпаратты плагиат деп санауға жеткілікті негіз болса, жауапты редактор жариялауға жол бермеуі керек.

Авторлар редакцияға ұсынылған материалдардың жаңа, бұрын жарияланбаған және түпнұсқа екендігіне кепілдік береді. Авторлар ғылыми нәтижелердің сенімділігі мен маңыздылығына, сондай-ақ ғылыми этика қағидаттарын сақтауға, атап айтқанда, ғылыми этиканы бұзу фактілеріне жол бермеуге (ғылыми деректерді тұжырымдау, зерттеу деректерін бұрмалауға әкелетін бұрмалау, плагиат және жалған тең авторлық, қайталау, басқа адамдардың нәтижелерін иемдену және т. б.) жауапты болады.

Мақаланы редакцияға жіберу авторлардың мақаланы (түпнұсқада немесе басқа тілдерге немесе басқа тілдерге аударылған) басқа журналға (журналдарға) бермегенін және бұл материал бұрын жарияланбағанын білдіреді. Әйтпесе, мақала авторларға авторлық құқықты бұзғаны үшін мақаланы қабылдамау туралы ұсыныспен дереу қайтарылады. Басқа автор жұмысының 10 пайызынан астамын оның авторлығын және дереккөзге сілтемесіз сөзбе-сөз көшіруге жол берілмейді. Алынған көріністер немесе мәлімдемелер автор мен бастапқы көзді міндетті түрде көрсете отырып жасалуы керек. Шамадан тыс көшіру, сондай-ақ кез-келген нысандағы плагиат, оның ішінде рәсімделмеген дәйексөздер, өзгерту немесе басқа адамдардың зерттеулерінің нәтижелеріне құқықтар иемдену этикалық емес және қолайсыз. Зерттеу барысына қандай да бір түрде әсер еткен барлық адамдардың үлесін мойындау қажет, атап айтқанда, мақалада зерттеу жүргізу кезінде маңызды болған жұмыстарға сілтемелер ұсынылуы керек. Қосалқы авторлардың арасында зерттеу-ге қатыспаған адамдарды көрсету болмайды.

Егер жұмыста қате табылса, редакторға тез арада хабарлау керек және бірге түзету туралы шешім қабылдау керек.

Қолжазбаны жариялаудан бас тарту туралы шешім рецензенттердің ұсынымдарына сәйкес редакциялық алқа отырысында қабылданады. Редакциялық алқаның шешімімен жариялауға ұсынылмаған мақала қайта қарауға қабылданбайды. Жариялаудан бас тарту туралы хабарлама авторға электрондық пошта арқылы жіберіледі.

Редакциялық алқа мақаланы жариялауға жіберу туралы шешім қабылдағаннан кейін редакция бұл туралы авторға хабарлайды және жариялау мерзімін көрсетеді.

Этика научных публикаций

Редакционная коллегия журнала «География и водные ресурсы» придерживается принятых международным сообществом принципов публикационной этики, а также учитывает ценный опыт авторитетных международных журналов и издательств.

Во избежание недобросовестной практики в публикационной деятельности (плагиат, изложение недостоверных сведений и др.) и в целях обеспечения высокого качества научных публикаций, признания общественностью полученных автором научных результатов каждый член редакционного совета, автор, рецензент, а также учреждения, участвующие в издательском процессе, обязаны соблюдать этические стандарты, нормы и правила и принимать все меры для предотвращения их нарушений. Соблюдение правил этики научных публикаций всеми участниками этого процесса способствует обеспечению прав авторов на интеллектуальную собственность, повышению качества издания и исключению возможности неправомерного использования авторских материалов в интересах отдельных лиц.

Все научные статьи, поступающие в редакцию, подлежат обязательному двойному слепому рецензированию. Редакция Журнала (ответственный секретарь Журнала) устанавливает соответствие статьи профилю Журнала, требованиям к оформлению и направляет ее на первое рассмотрение, определяет научную ценность рукописи и назначает двух независимых рецензентов – специалистов, имеющих наиболее близкие к теме статьи научные специализации. Рецензирование статей осуществляется членами редакционной коллегии, а также приглашенными рецензентами из других стран. Решение о выборе того или иного рецензента для проведения экспертизы статьи принимает главный редактор. Срок рецензирования составляет 2-4 недели, но по просьбе рецензента он может быть продлен.

Редакция и рецензент гарантируют сохранение конфиденциальности не опубликованных материалов. Решение о публикации принимается редакционной коллегией Журнала после рецензирования. В случае необходимости рукопись направляется авторам на доработку по замечаниям рецензентов и редакторов, затем она повторно рецензируется. Редакция оставляет за собой право отклонить публикацию статьи в случае нарушения правил этики. Ответственный редактор не должен допускать к публикации информацию, если имеется достаточно оснований полагать, что она является плагиатом.

Авторы гарантируют, что представленные в редакцию материалы являются новыми, ранее не опубликованными и оригинальными. Они несут ответственность за достоверность и значимость научных результатов, а также соблюдение принципов научной этики, в частности недопущение фактов нарушения научной этики (фабрикация научных данных, фальсификация, ведущая к искажению исследовательских данных, плагиат и ложное соавторство, дублирование, присвоение чужих результатов и др.).

Направляя статью в редакцию, авторы подтверждают, что данная статья не была ранее опубликована и не передавалась в другой журнал(ы) как в оригинале, так и в переводе на другие языки или с других языков. В противном случае статья немедленно возвращается авторам с рекомендацией отклонить статью за нарушение авторских прав. Не допускается дословное цитирование работы другого автора без указания его авторства и ссылок на источник. Заимствованные фрагменты или утверждения должны быть оформлены с обязательным указанием автора и первоисточника. Чрезмерные заимствования, а также плагиат в любых формах, включая неоформленные цитаты, перефразирование, перевод или присвоение прав на результаты чужих исследований, неэтичны и неприемлемы. Необходимо признавать вклад всех лиц, так или иначе повлиявших на ход исследования. В частности, в статье должны быть представлены ссылки на работы, которые имели значение при проведении исследования. Среди соавторов недопустимо указывать лиц, не участвовавших в исследовании. Если обнаружена ошибка в работе после подачи статьи, необходимо срочно уведомить редактора и вместе принять решение об исправлении.

Решение об отказе в публикации рукописи принимается редакционной коллегией в соответствии с рекомендациями рецензентов. Статья, не рекомендованная решением редакционной коллегии к публикации, к повторному рассмотрению не принимается. Сообщение об отказе в публикации направляется автору по электронной почте.

После принятия редколлегией Журнала решения о допуске статьи к публикации редакция информирует об этом автора и указывает сроки публикации.

Ethics of scientific publications

In order to avoid unfair practices in publishing activities (plagiarism, presentation of false information, etc.) and in order to ensure the high quality of scientific publications, public recognition of the scientific results obtained by the author, each member of the editorial board, author, reviewer, as well as institutions involved in the publishing process, must comply with ethical standards, rules and regulations and take all measures to prevent their violations. Compliance with the rules of ethics of scientific publications by all participants in this process contributes to ensuring the rights of authors to intellectual property, improving the quality of the publication, and excluding the possibility of illegal use of copyright materials in the interests of individuals.

All scientific articles submitted to the editorial office are subject to mandatory double-blind review. The editorial board of the Journal (Responsible secretary) establishes the correspondence of the article to the profile of the Journal, the requirements for registration and sends it for the first consideration, determines the scientific value of the manuscript and appoints two independent reviewers - specialists who have scientific specializations closest to the topic of the article. Reviewing of articles is carried out by members of the editorial board, as well as invited reviewers from other countries. The decision on choosing a reviewer for the examination of the article is made by the editor-in-chief. The review period is 2-4 weeks, but it can be extended at the request of the reviewer.

The editorial board and the reviewer guarantee the confidentiality of unpublished materials. The decision on publication is made by the editorial board of the Journal after reviewing. The manuscript is sent to the authors for revision based on the comments of reviewers and editors if necessary. After which, it is re-reviewed. The editors reserve the right to reject the publication of an article in case of a violation of the rules of ethics. The executive editor should not allow information to be published if there are sufficient grounds to believe that it is plagiarism.

The authors guarantee that the submitted materials to the editorial office are new, previously unpublished, and original. Authors are responsible for the reliability and significance of scientific results, as well as adherence to the principles of scientific ethics, in particular, the prevention of violations of scientific ethics (fabrication of scientific data, falsification leading to distortion of research data, plagiarism, and false co-authorship, duplication, appropriation of other people's results, etc.).

The submission of an article to the Editorial Board means that the authors did not transmit the article (in original or translation into other languages or from other languages) to another journal (s), and this material has not been previously published. Otherwise, the article is immediately returned to the authors with a recommendation to reject the article for copyright infringement. Verbatim quoting of the work of another author is not allowed without indicating his authorship and references to the source. Borrowed fragments or statements must be made with the obligatory indication of the author and the source. Excessive borrowing as well as plagiarism in any form, including unofficial quotations, paraphrasing, or appropriation of rights to the results of other people's research, is unethical and unacceptable. It is necessary to recognize the contribution of all persons, who in one way or another influenced the course of the research. In particular, the article, should contain references to works that were of importance in the conduct of the research. Among the co-authors, it is inadmissible to indicate persons who did not participate in the study.

If an error is found in work, it is necessary to notify the editor and together make a decision on the correction.

The decision to refuse publication of the manuscript is made at a meeting of the editorial board by the recommendations of the reviewers. An article not recommended for publication by the decision of the editorial board is not accepted for reconsideration. The refusal to publish is sent to the author by e-mail.

After the editorial board of the Journal decides on the admission of the article for publication, the editorial board informs the author about it and indicates the terms of publication.

Журналдың жауапты хатшысы –
PhD, аға ғылыми қызметкер
Ж. К. Наурызбаева

Ответственный секретарь журнала –
PhD, старший научный сотрудник
Ж. К. Наурызбаева

Responsible Secretary of the Journal –
PhD, Senior Researcher
Zh. K. Naurozbayeva

Редакторы *Т. Н. Кривобокова*
Компьютерлік беттеген
Д. Н. Қалқабекова

Редактор *Т. Н. Кривобокова*
Верстка на компьютере
Д. Н. Калкабековой

Editor *T. N. Krivobokova*
Makeup on the computer of
D. N. Kalkabekova

Басуға 18.03.2026 қол қойылды.
Пішіні 60x88¹/₈. Офсеттік басылым.
Баспа – ризограф. 10,75 п.л.
Таралымы 300 дана.

Подписано в печать 18.03.2026.
Формат 60x88¹/₈. Бумага офсетная.
Печать – ризограф. 10,75 п.л.
Тираж 300.

Passed for printing on 18.03.2026.
Format 60x88¹/₈. Offset paper.
Printing – risograph. 10€75 p/p.
Number of printed copies 300.

«Нурай Принт Сервис» ЖШС
баспаханасында басылып шықты.
050026, Алматы қ.,
Муратбаев көшесі 75, оф. 3.
Тел.: +7(727)234-17-02

Отпечатано в типографии
ТОО «Нурай Принт Сервис».
050026, г. Алматы,
ул. Муратбаева, 75, оф. 3.
Тел.: +7(727)234-17-02

Printed in the publishing house
of the LLP «Nurai Print Service».
050026, Almaty,
Muratbaev str., 75, off. 3.
Tel.: +7(727)234-17-02