

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 2025 ж.
ЯНВАРЬ – МАРТ 2025 г.
JANUARY – MARCH 2025

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** (Кыргызстан); 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>

Гидрология и водное хозяйство

Гидрология және су шаруашылығы

Hydrology and water management

<https://doi.org/10.55764/2957-9856/2025-1-3-13.1>

МРНТИ 39.23.15
УДК 556

А. Р. Медеу¹, А. А. Турсунова², Л. К. Махмудова³, К. М. Кулебаев*⁴,
А. А. Нурбаcina⁵, Л. М. Биримбаева⁶

¹ Д. г. н., профессор, академик НАН РК, председатель правления
(АО «Институт географии и водной безопасности», Алматы, Казахстан; ingeo_2009@mail.ru)

² К. г. н., ведущий научный сотрудник (АО «Институт географии и водной безопасности»,
Алматы, Казахстан; ais.tursun@bk.ru)

³ К. г. н., ведущий научный сотрудник (АО «Институт географии и водной безопасности»,
Алматы, Казахстан; mlk2002@mail.ru)

^{4*} Научный сотрудник (АО «Институт географии и водной безопасности»,
Алматы, Казахстан; kairat.kulebayev@mail.ru)

⁵ Научный сотрудник (АО «Институт географии и водной безопасности»,
Алматы, Казахстан; aliya.nurbatsina@gmail.com)

⁶ Научный сотрудник (АО «Институт географии и водной безопасности»,
Алматы, Казахстан; birimbayeva_l@mail.ru)

ПРОГНОЗ ВОДНОСТИ ОЗЕР ГОСУДАРСТВЕННОГО НАЦИОНАЛЬНОГО ПРИРОДНОГО ПАРКА «БУРАБАЙ» ДО 2050 ГОДА С УЧЕТОМ КЛИМАТИЧЕСКИХ ИЗМЕНЕНИЙ

Аннотация. Работа посвящена оценке современного состояния и долгосрочному прогнозу внутривековых колебаний воды озер Государственного национального природного парка «Бурабай» (ГНПП «Бурабай»). На основе данных реанализа и результатов численного моделирования изучено влияние климатических изменений в бассейнах озер Шортанды, Бурабай, Улкен Шабакты, Киши Шабакты, Катарколь, Жукей. Оценены связи ряда индексов атмосферной и океанической циркуляции, описывающих климатическую изменчивость в регионе, с водным режимом озер. Исследованы причинно-следственные связи между климатическими характеристиками и гидрологическим режимом водосборов и водным балансом озер: динамики осадков, температуры, стока и испарения на водосборе в ретроспективе и перспективе. Результаты расчетов показывают возможное сокращение транспорта влаги и уменьшение атмосферных осадков в исследуемом районе в ближайшие 15–25 лет, в результате которого с задержкой в несколько лет будет продолжаться падение уровня воды озер. Приблизительно с 2030 до 2050 г. ожидается увеличение испарения, что должно привести к понижению уровня этих водоемов.

Ключевые слова: прогноз, объем воды, озера, климат, изменчивость.

Введение. Долгосрочный прогноз уровня воды озер остается важной, но до сих пор одной из не решенных фундаментальных и практических проблем не только в Казахстане, но и в мире. Знание закономерностей внутривековой изменчивости уровня воды озер важно для обеспечения экономической деятельности на водосборе озер: безопасной работы водного транспорта, проведения берегозащитных работ, разработки мероприятий по адаптации экономики региона к дальнейшим изменениям уровня, которые прогнозируются в этой работе до середины XXI века.

В ходе исследований предприняты первые попытки по расчету транспорта влаги с Атлантики и ее влияния на формирование климатической изменчивости озер ШБКЗ (Шучинско-Боровская курортная зона). Выполнены расчеты в рамках совместного анализа уравнения водного баланса озер и уравнения баланса влаги региона, включающего водоем и его бассейн, а также проведены эксперименты по воспроизведению циркуляции Мирового океана и ее климатической изменчивости с помощью МОЦАО (Модели общей циркуляции атмосферы и океана), разработанной АО «Институт географии и водной безопасности». Этот подход позволяет дать физическое объяснение изменению водности озер и, следовательно, сформировать прогноз уровня и объемов воды.

Материалы и методы. *Методика оценки водности озер.* Изменения климата оказывают значительное влияние на водные ресурсы озер, которые играют ключевую роль в экологических системах. В условиях потепления климата и изменения режима атмосферных осадков необходима разработка методик оценки водного баланса озер на основе современных гидрологических моделей и сценарных прогнозов климатических изменений. Оценка водности озер является важным инструментом для анализа изменений гидрологического режима и управления водными ресурсами. Методика оценки водности озер позволяет определить текущий и прогнозируемый уровни водности, выявить тенденции многолетних изменений и оценить влияние климатических и антропогенных факторов на водохозяйственный баланс озер [1-13].

Цель методики – предложить комплексный подход к оценке водности озер, включающий анализ климатических параметров, стока, испарения, антропогенных нагрузок и прогнозирование изменений в будущем.

Этапы оценки водности озер. Первый этап – сбор и анализ исходных данных (метеорологические данные – температура воздуха, атмосферные осадки, испарение, скорость ветра и т.д.; гидрологические данные – уровни воды, приток; морфометрические характеристики озер – площадь водного зеркала, глубина, объем; антропогенные факторы – водозаборы, сбросы и т.д.). Источники данных – база данных РГП «Казгидромет», архивные материалы, спутниковые снимки и картографические материалы.

Второй этап – определение основных гидрологических характеристик озер – на основе собранных исторических данных рассчитываются среднегодовой уровень воды, коэффициент вариации уровня воды, коэффициент асимметрии распределения уровня воды. По формуле водного баланса озера определяются изменение уровня воды, атмосферные осадки, приток воды, отток воды, испарение.

Третий этап – моделирование многолетних изменений водности (для прогнозирования изменений водности озера используются климатические и гидрологические модели). Основные этапы моделирования: анализ многолетних трендов климатических параметров; расчет изменения уровня воды при различных сценариях климатических изменений; определение вероятности наступления маловодных и многоводных периодов; оценка рисков маловодных и многоводных периодов. Используемые модели: SWIM (Soil and Water Integrated Model) [14, 15], SWAT (Soil and Water Assessment Tool) [16], HBV (Hydrologiska Byrans Vattenbalansavdelning) [17].

Четвертый этап – построение батиграфических кривых уровней воды для определения вероятности достижения определённых уровней воды в озере. Расчет проводится с применением данных батиметрии.

Пятый этап – прогнозирование водности озер в условиях изменения климата на основе долгосрочного сценарного прогнозирования водных ресурсов с применением климатических моделей CMIP6.

Шестой этап – практические рекомендации по управлению водными ресурсами озер.

Методология оценки водного баланса озер на перспективу. Основные этапы:

1. Сбор и анализ данных (метеорологические данные – температура воздуха, атмосферные осадки, испарение; гидрологические данные – уровни воды в озерах, сток воды, инфильтрация; морфометрические характеристики озер – площадь водного зеркала, глубина, объем, площадь водосбора).

2. Выбор подходящей модели (SWIM, VIC – Variable Infiltration Capacity, MIKE SHE – Modelling system for Integrated water resources management System Hydrology and Environment, HYPE – Hydrological Predictions for the Environment) в зависимости от задач исследований и доступности исходных данных. Модель SWIM предназначена для анализа водного баланса и стока

в бассейнах рек и озер с учетом климатических изменений и изменений землепользования. SWIM позволяет моделировать процессы испарения, инфильтрации и стока воды, а также прогнозировать влияние различных сценариев изменений климата на водные ресурсы. Применение: оценка водного баланса озер и прогнозирование изменений уровня воды, анализ воздействия климатических сценариев на водные ресурсы, выявление факторов, влияющих на колебания уровня озер. Модель VIC предназначена для анализа изменений водного баланса на больших территориях с учетом различных климатических сценариев. Она позволяет моделировать процессы испарения, инфильтрации и стока воды на основе климатических данных. Модель MIKE SHE используется для детального моделирования всех компонентов гидрологического цикла, включая поверхностный и подземный сток, испарение и инфильтрацию. Она позволяет моделировать процессы, влияющие на уровень воды в озерах. Модель HYPE применяется для прогнозирования уровня воды и оценки водных ресурсов на региональном уровне, позволяет анализировать изменения уровня воды в озерах и водоемах в зависимости от климатических условий.

3. Калибровка и верификация модели (калибровка модели на основе исторических данных, верификация точности модели путем сравнения с фактическими данными уровня воды в озере).

4. Прогнозирование (проведение сценарного моделирования изменений уровня воды в озере на основе климатических сценариев до 2050 г.).

5. Анализ результатов и рекомендации (анализ полученных результатов и разработка рекомендаций по управлению водными ресурсами).

Методика оценки водности озер на основе современных гидрологических моделей позволяет прогнозировать долгосрочные изменения уровня воды под воздействием климатических факторов. Применение моделей SWIM, VIC, MIKE SHE, HYPE обеспечивает всесторонний анализ и поддержку принятия решений в управлении водными ресурсами [14-19].

Математическим выражением водного баланса на перспективу является уравнение баланса. В общем виде это уравнение для многолетнего периода, представленного в объемных единицах, имеет вид

$$V_{\text{пр.прог.2030,2040,2050}} + V_{\text{упр}} + V_{\text{ос. прог. 2030,2040,2050}} - V_{\text{ст}} - V_{\text{уст}} - V_{\text{ис.прог.2030,2040,2050}} = \pm\Delta V, \quad (1)$$

где $V_{\text{пр.прог.2030,2040,2050}}$ – прогнозный поверхностный приток в озеро; $V_{\text{упр}}$ – подземный приток в озеро; $V_{\text{ос.прог.2030,2040,2050}}$ – прогнозные атмосферные осадки на водную поверхность; $V_{\text{ст}}$ – сток воды из озера по реке; $V_{\text{уст}}$ – подземный отток из озера; $V_{\text{ис.прог. 2030,2040,2050}}$ – прогнозируемое испарение с поверхности водоема; $\pm\Delta V$ – изменение запасов (накопление или расходование) воды в озерной котловине.

Для бессточных озер, которых на территории исследуемого региона много, $V_{\text{ст}} = 0$. Очень часто при увеличении числа лет, за которые составляется баланс, сумма приходных составляющих равна сумме расходных, тогда $\Delta V = 0$ и баланс становится равновесным. Для бессточного озера уравнение, характеризующее его водный баланс за многолетний период, состоит всего из трех членов:

$$V_{\text{пр. прог. 2030,2040,2050}} + V_{\text{ос. прог. 2030,2040,2050}} = V_{\text{ис. прог. 2030,2040,2050}} \cdot \quad (2)$$

Величина $V_{\text{ис.прог.2030,2040,2050}}$ получается из уравнения баланса как его остаточный член и включает в себя погрешности, вызванные любой разницей $V_{\text{упр}}$ и $V_{\text{уст}}$.

Результаты и их обсуждение. Прогнозы СМIP6 по обоим сценариям показывают рост температуры, но по сценарию SSP2 (4.5) ожидается повышение средней температуры на 1,5-2 °С к 2050 г., тогда как для SSP5 (8.5) этот показатель может достигать 3,5-4 °С. Это подтверждается трендом на глобальное потепление, усиливающимся с увеличением выбросов.

Изменение глобального распределения осадков. За период 2015-2030 гг. для сценария SSP5 (8.5) количество осадков возрастает на 11 % по сравнению с показателями сценария SSP2 (4.5). Это связано с повышением температур, что приводит к увеличению испарения и конденсации влаги в атмосфере, а также большей вероятности интенсивных осадков в отдельных регионах. За период 2031-2050 гг. ожидается противоположная тенденция: количество осадков по сценарию SSP5 (8.5) уменьшается на 8 % по сравнению с SSP2 (4.5). Такое поведение может быть связано с перераспределением влаги в атмосфере, усилением засушливых условий в ряде регионов и изменением глобальных атмосферных циркуляционных процессов [20, 21].

Увеличение испарения (данные испарения с поверхностей, полученные из модели ERA5) коррелирует с повышением температуры воздуха, что подтверждает усиление испарительных процессов при глобальном потеплении (рисунок 1).

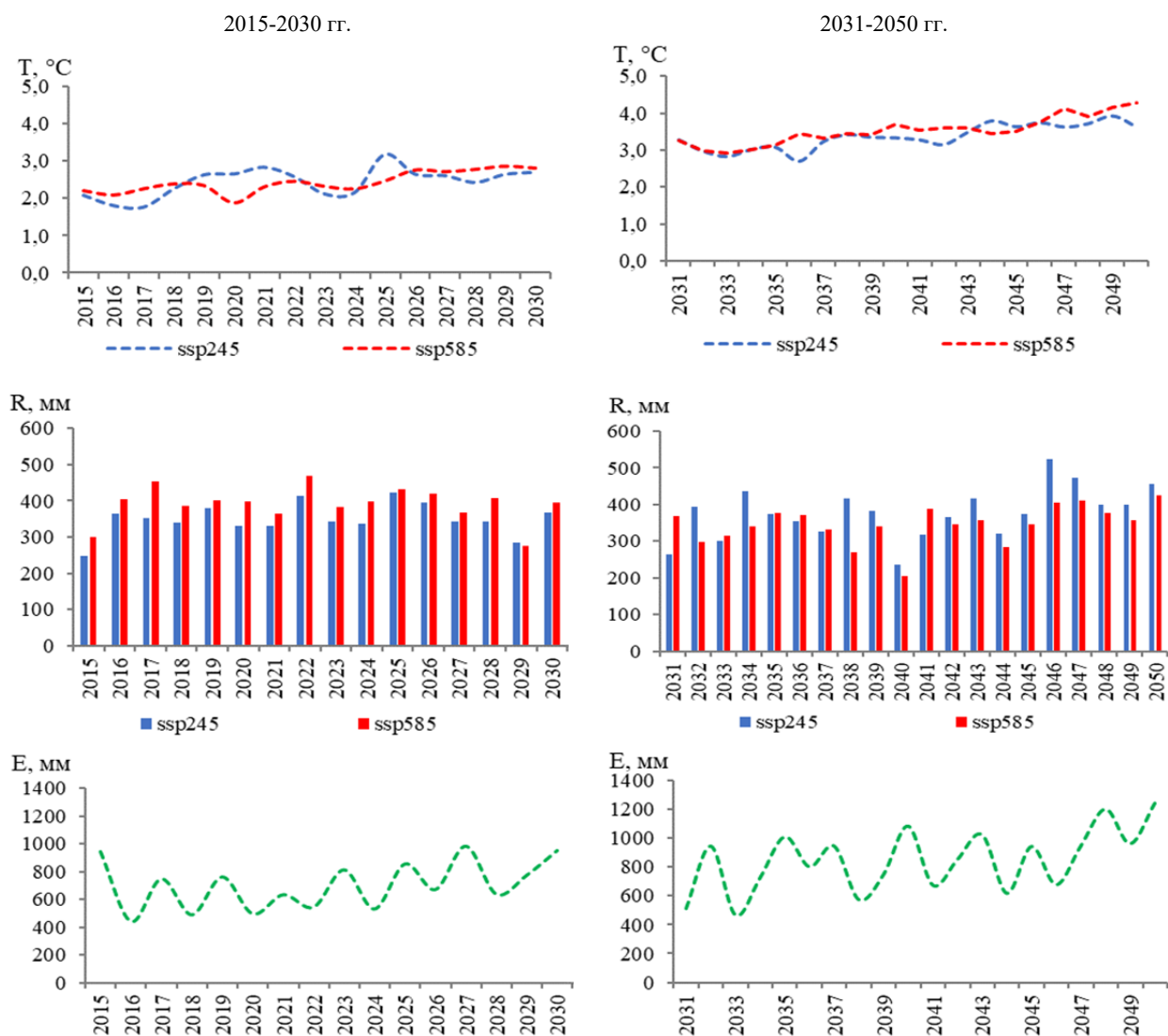


Рисунок 1 – Прогноз изменения метеорологических характеристик (Т – температура воздуха, R – атмосферные осадки, E – испарение) для некоторых озер региона согласно сценариям SSP2 (4.5), SSP5 (8.5) по CMIP6 до 2050 г.

Figure 1 – Forecast of changes in meteorological characteristics (T – air temperature, R – precipitation, E – evaporation) for some lakes in the region, according to scenarios SSP2 (4.5), SSP5 (8.5) by CMIP6 until 2050

Графики демонстрируют связанный процесс изменения осадков и испарения в зависимости от значений температуры воздуха. Рост температуры особенно в сценарии SSP5 (8.5) приводит к увеличению интенсивности испарительных процессов, что оказывает влияние на водный баланс озер исследуемой территории. Рост осадков в ряде регионов в сценарии SSP5 (8.5) может сопровождаться усилением их вариативности [22], что создает условия для частых экстремальных гидрометеорологических явлений. Эти данные согласуются с предыдущими исследованиями, подтверждающими, что глобальное потепление усиливает гидрологический цикл [23].

Озера Шортан, Бурабай, Улкен Шабакты, Киши Шабакты, Катарколь, Жукей, Текеколь расположены на севере Акмолинской области Республики Казахстан, они входят в систему озер Щучинско-Боровской курортной зоны. Кроме указанных водоемов в эту систему входят Майбалык,

Карасье и Сулуколь. В 1956 году семь из десяти озер, включая Шортан, Бурабай и Улкен Шабакты, были обследованы экспедицией во время работы освоения целинных и залежных земель Кокшетауской области Казахстана [24]. По данным этих обследований впервые проведена оценка элементов их водного баланса в естественных условиях.

В результате исследований и расчетов получены суммарные характеристики элементов водного баланса озера Бурабай в естественных условиях: расчетная площадь озера составляла 9,4 км², приток в озеро – 1,54 млн м³ в год, осадки, выпадающие на поверхность озера, – 4,02 млн м³, подземный приток в озеро – 2,31 млн м³ в год. Таким образом, суммарная приходная составляющая водного баланса озер равна 7,87 млн м³, эта величина соответствует расходной составляющей водного баланса – испарению с водной поверхности озера – 7,87 млн м³.

Из озера, в его северо-восточной части, в многоводные годы вытекает р. Громотуха длиной 1,5 км, сбрасывающая излишние воды в соседнее озеро Улкен Шабакты. Эти величины водного баланса будут приниматься нами для дальнейшей оценки и анализа на перспективу.

Систематические наблюдения за уровнем озер ШБКЗ в начале XXI века проводились только на озерах Шортан, Бурабай и Улкен Шабакты. Для определения изменения элементов водного баланса этих озер была проведена их оценка за 2020 г. и на перспективу на 2030, 2040, 2050 гг. Расчеты основных характеристик водного баланса с середины XX века до середины XXI века приведены в таблице 1.

Таблица 1– Основные характеристики водного баланса главных озер ШБКЗ в условно-естественный 1956 г., на 2020 г. и в перспективе на 2030, 2040 и 2050 гг.

Table 1– Main characteristics of the water balance of the main lakes of the ShBRA in the conditionally natural year of 1956, for 2020 and in the future for 2030, 2040 and 2050

Год	Приход, млн м ³				Расход, млн м ³			
	Поверхностный приток	Атмосферные осадки	Подземный приток	Всего	Поверхностный отток	Испарение	Подземный отток	Всего
1	2	3	4	5	6	7	8	9
Озеро Бурабай								
1956	1,54	4,02	2,31	7,87	0	7,87	0	7,87
2020	1,29	3,37	2,31	6,97	0	6,94	0	6,94
2030	1,26	3,31	2,31	6,88	0	6,97	0	6,97
2040	1,17	3,06	2,31	6,54	0	7,96	0	7,96
2050	1,26	3,28	2,31	6,85	0	8,96	0	8,96
Озеро Улкен Шабакты								
1956	1,94	7,68	6,1	14,7	0	15,7	0	15,7
2020	1,68	7,56	6,1	15,3	0	15,4	0	15,4
2030	1,29	7,01	6,1	14,4	0	14,4	0	14,4
2040	1,42	6,49	6,1	14,0	0	16,9	0	16,9
2050	1,29	6,89	6,1	14,3	0	17,4	0	17,4
Озеро Киши Шабакты								
1956	1,80	6,04	5,46	13,3	0	13,3	0	13,3
2020	1,68	6,29	5,46	13,4	0	15,4	0	15,4
2030	1,56	7,41	5,46	14,4	0	13,1	0	13,1
2040	1,44	7,56	5,46	14,5	0	14,7	0	14,7
2050	1,32	7,47	5,46	14,3	0	16,4	0	16,4
Озеро Катарколь								
1956	2,03	1,70	0	3,73	0	3,21	0,52	3,73
2020	1,89	1,46	0	3,35	0	2,95	0,52	2,95
2030	1,74	1,65	0	3,39	0	3,75	0,52	3,75
2040	1,60	1,57	0	3,17	0	3,87	0,52	3,87
2050	1,45	1,89	0	3,34	0	4,57	0,52	4,57

Окончание таблицы 1

1	2	3	4	5	6	7	8	9
Озеро Жукей								
1956	2,18	6,04	2,61	10,8	0	10,8	0	10,8
2020	2,03	5,79	2,61	10,4	0	10,4	0	10,4
2030	1,89	5,91	2,61	10,4	0	11,2	0	11,2
2040	1,74	5,48	2,61	9,8	0	11,1	0	11,1
2050	1,60	5,25	2,61	9,5	0	11,4	0	11,4
Озеро Щучье								
1956	0,69	7,27	5,99	14,0	0	14,0	0	14,0
2020	0,64	7,07	5,99	13,7	0	14,4	0	14,1
2030	0,71	7,37	5,99	14,1	0	14,0	0	14,0
2040	0,60	6,84	5,99	13,4	0	16,9	0	16,9
2050	0,55	6,57	5,99	13,1	0	16,5	0	16,5

В таблице 1 показано, что осадки, выпадающие на поверхность озер, будут уменьшаться в перспективе.

По прогнозным оценкам, в перспективе ожидается повышение температуры приземного слоя атмосферы в среднем на 1,0-2,3 °С. Это указывает на то, что в будущем произойдет рост испарения с поверхности озер с 690 до 904 мм. Например, испарение с поверхности оз. Бурабай увеличится с 695 до 904 мм, с поверхности оз. Киши Шабакты – с 690 до 864 мм, а с поверхности оз. Улкен Шабакты – с 706 до 826 мм.

Для определения взаимосвязи между изменениями уровня, объема и площади озера рассчитаны площади поверхности озер при различных уровнях и оценены объемы озер (таблица 2). По данным расчетов построены батиграфическая и объемная кривые (рисунки 2-6). Эти кривые наглядно показывают зависимость площади зеркала и объема озера от глубины.

Таблица 2 – Объемы основных озер ШБКЗ в ретроспективе и перспективе
Table 2 – Volumes of the main lakes of the SHBRA in retrospect and prospectively

Объем озер, млн м ³						
Годы	Бурабай	Жукей	Катарколь	Киши Шабакты	Улкен Шабакты	Щучье
1956	36,2	91,0	11,8	141	250	265
Прогнозные объемы озер, млн м ³						
2030	36,1	90,2	11,4	141	249	265
2040	34,8	89,7	10,7	140	247,1	262
2050	34,1	89,0	9,51	138	246,9	262

Размеры озера Бурабай при различном наполнении

Глубина, м	Площадь водной поверхности, км ²	Объем водной массы, млн м ³	h _{ср}
6,7	10,9	46,9	4,30
5,7	10,5	36,2	
5,0	9,90	29,0	
4	9,00	19,6	
3	7,50	11,3	
2	6,60	4,30	
1	1,00	0,50	
0	0	0	

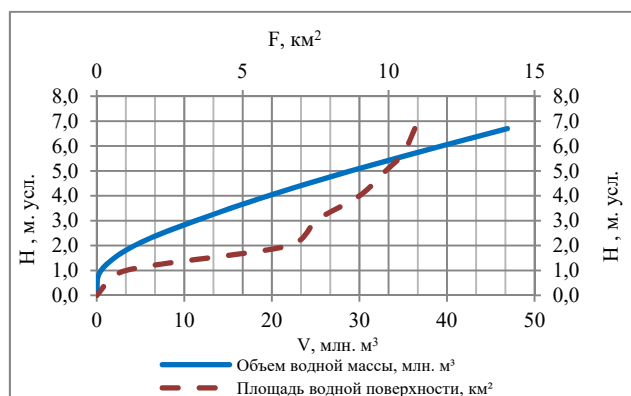


Рисунок 2 – Батиграфическая и объемная кривые оз. Бурабай
Figure 2 – Bathymetric and volumetric curves of the lake Burabay

Размеры озера Жукей при различном наполнении

Глубина, м	Площадь водной поверхности, км ²	Объем водной массы, млн м ³	h _{ср}
9,6	19,6	153	7,81
6,4	19,1	91,0	
5,0	18,6	64,6	
4	17,7	46,4	
3	16,2	29,4	
2	14,1	14,2	
1	7,20	3,60	
0	0	0	

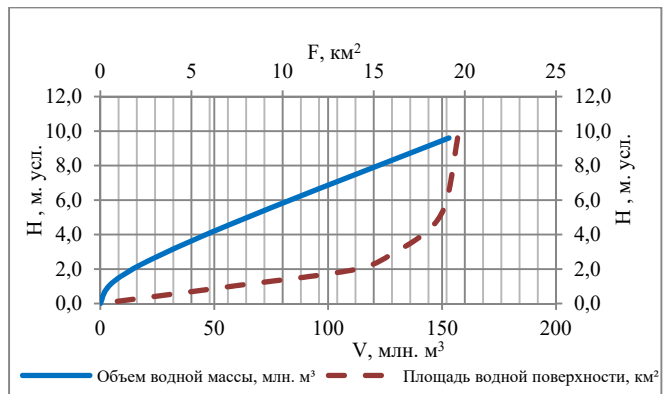


Рисунок 3 – Батиграфическая и объемная кривые оз. Жукей
Figure 3 – Bathographic and volumetric curves of the lake Zhukey

Размеры озера Улкен Шабакты при различном наполнении

Глубина, м	Площадь водной поверхности, км ²	Объем водной массы, млн м ³	h _{ср}
37,7	25,1	356	14,18
33,3	22,5	250	
32,9	22,2	240	
28	17,9	144	
24,0	13,1	81,5	
20,0	8,30	38,7	
16	4,00	14,1	
12	1,10	3,8	
8	0,30	0,80	
4	0,10	0,20	
0	0	0	

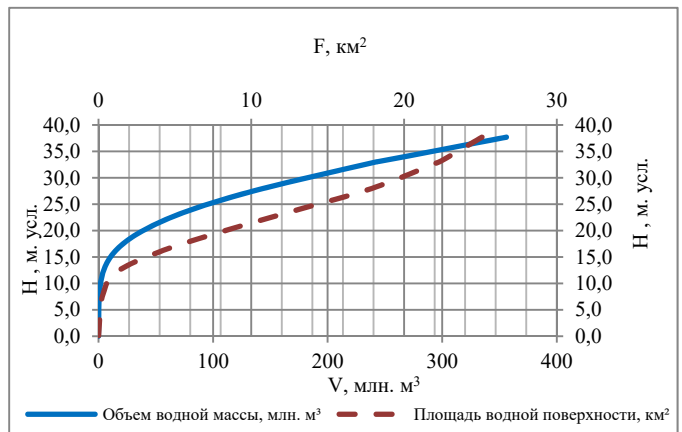


Рисунок 4 – Батиграфическая и объемная кривые оз. Улькен Шабакты
Figure 4 – Bathographic and volumetric curves of the lake Ulken Shabakty

Размеры озера Киши Шабакты при различном наполнении

Глубина, м	Площадь водной поверхности, км ²	Объем водной массы, млн м ³	h _{ср}
15,6	21,8	184	8,44
12	21,4	141	
11,5	20,8	131	
10,0	17,8	102	
8	15,8	68,5	
6	13,9	38,9	
4	10,8	14,2	
2	1,7	1,7	
0	0	0	

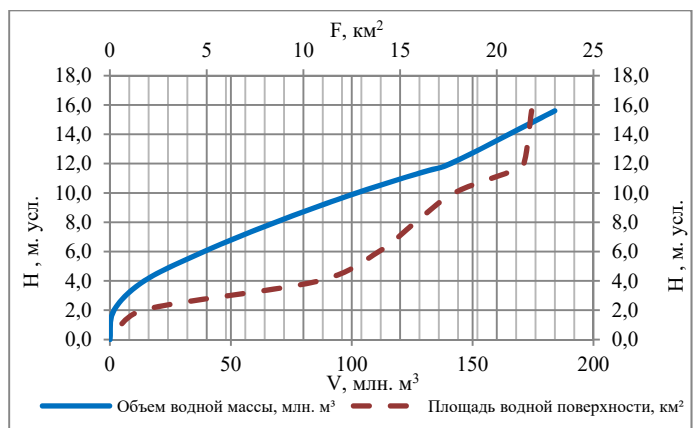


Рисунок 5 – Батиграфическая и объемная кривые оз. Киши Шабакты
Figure 5 – Bathographic and volumetric curves of the lake Kishi Shabakty

Размеры озера Щучье
при различном наполнении

Глубина, м	Площадь водной поверхности, км ²	Объем водной массы, млн м ³	h _{ср}
33	21,2	357	16,8
30	19,9	295	
28,4	18,6	265	
27,9	18,1	255	
25	15,5	207	
20	13,1	135	
15	10,2	76,9	
10	7,70	32,1	
8	6,40	17,9	
6	3,50	8,0	
4	1,80	2,70	
2	0,50	0,50	
0	0	0	

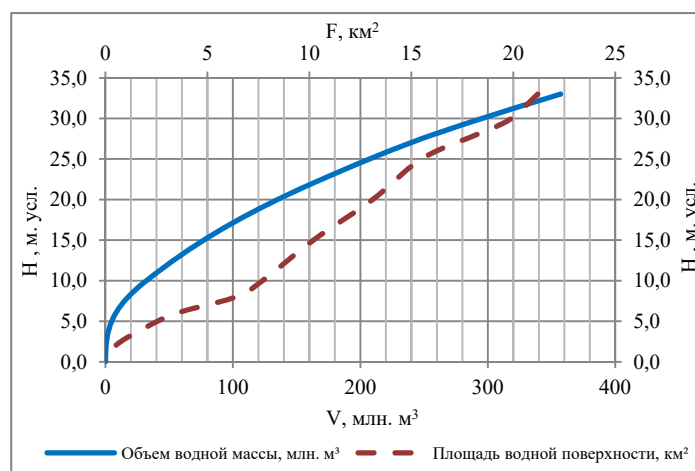


Рисунок 6 – Батиграфическая и объемная кривые оз. Щучье
Figure 6 – Bathymetric and volumetric curves of the lake Shchuchye

Полученные результаты могут служить надежной основой углубленного исследования водного режима озер.

Заключение. Исследования озер показали, что к середине XXI века в их водном балансе произойдут существенные изменения, а именно увеличится испарение с поверхности озер, уменьшится количество выпадающих осадков и соответственно приток в озера с водосборов. Для восстановления озер в размерах, наблюдавшихся в середине XX века, необходима подача в Щучинско-Боровскую курортную зону более 10 млн м³ и до середины XXI века до 20 млн м³ воды из внешних источников для компенсации увеличивающихся расходных и уменьшающихся приходных статей водного баланса и роста водопотребления на хозяйственные нужды в рассматриваемом регионе.

Практические мероприятия по управлению водными ресурсами системы озер:

1. Организация регулярного мониторинга гидрологических и климатических параметров (установка дополнительных гидрологических постов для постоянного мониторинга уровня воды в озерах; внедрение автоматизированных станций сбора данных для измерения режимных характеристик температуры, осадков, испарения и уровня подземных вод; разработка системы раннего предупреждения об экстремальных гидрологических явлениях, таких, как засухи или подтопления).

2. Прогнозирование и моделирование изменений водного баланса (использование гидрологических моделей для построения долгосрочных прогнозов изменения уровня воды и водного баланса озер; составление сценарных прогнозов при различных климатических изменениях до 2050 г. с учетом экстремальных явлений; обновление прогнозов каждые 5 лет с учетом новых климатических и гидрологических данных).

3. Управление водным режимом озер (создание системы регулирования уровня воды, включая использование гидротехнических сооружений для поддержания оптимального уровня воды; регулирование поступления воды в озера в периоды засухи; проведение очистки русел притоков для обеспечения максимального притока воды в озера).

4. Адаптация к изменению климата (разработка мер по адаптации к засухам и повышению температуры, включая проекты по снижению испарения, такие, как создание растительных зон и укрепление берегов; создание системы накопления и перераспределения воды в засушливые периоды; стимулирование использования экологически чистых технологий для минимизации воздействия на водные ресурсы).

5. Интегрированное управление водными ресурсами (создание интегрированной системы управления водными ресурсами, включающую государственные органы, местные сообщества и

научные учреждения; внедрение системы принятия управленческих решений на основе данных прогнозов и моделей, включая разработку планов действий в чрезвычайных ситуациях).

6. Экологические мероприятия (создание водоохраных зон и полос вокруг озер, ограничивающих хозяйственную деятельность вблизи водоемов; проведение мероприятий по восстановлению прибрежной растительности, что будет способствовать снижению испарения и защите берегов от эрозии; ликвидирование стихийных свалок и предотвращение попадания бытовых загрязнений в озеро).

7. Разработка нормативных и законодательных мер (внесение изменений в законодательство, регулирующее использование и охрану водных ресурсов; установление квот на водопользование в зависимости от текущих гидрологических условий и прогнозов; разработка планов действий на случай чрезвычайных ситуаций, связанных с изменением уровня воды).

8. Создание базы данных и информационной платформы (разработка открытой цифровой платформы для хранения и анализа данных мониторинга; внедрение системы визуализации данных, таких, как интерактивные карты, показывающие изменения уровня воды и прогнозы).

Реализация практических мероприятий поможет поддерживать устойчивое состояние системы озер в условиях изменения климата для обеспечения долгосрочного эффективного управления водными ресурсами исследуемого региона.

Финансирование. Исследование выполнено в рамках проекта с ГУ «ГНПП “Бурабай”» Управления делами Президента Республики Казахстан. Разработать мероприятия по проекту «Восстановление и сохранение экосистемы ГНПП “Бурабай”». Договор №83 от 29 февраля 2024 года.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Болгов М. В., Коробкина Е. А. О моделировании колебаний уровня озера Чаны для управления его гидрологическим режимом // *Водные ресурсы*. – 2012. – № 39. – С. 555-564.
- [2] Фролов А. В., Выручалкина Т. Ю. Моделирование многолетних колебаний уровня озера Байкал и его водного баланса // *Гидрология и экология: исследования и практика*. – 2021. – № 3. – С. 45-58.
- [3] Фролов А. В., Выручалкина Т. Ю. О прогнозе многолетних изменений уровня воды крупных озер // *Водные ресурсы*. – 2021. – № 48(6). – С. 789-798.
- [4] Kalbus E., Binley A., Krause S. (2006). Estimating water balance dynamics for lakes: A comprehensive review of hydrological and hydrogeological methods // *Journal of Hydrology*, 329 (3-4), 368-385.
- [5] Stepanek P., Zahradníček P., Huth R. (2016). Projected changes in lake water levels in Central Europe based on climate change scenarios // *Climatic Change*, 137(1-2), 343-357.
- [6] Magnuson J. J., Benson B. J., Kratz T. K. (2000). Historical trends in lake and river ice cover in the Northern Hemisphere // *Science*, 289(5485), 1743-1746.
- [7] Gao H., Tang Q., Dai S. (2012). Understanding lake dynamics in response to climate change: A case study in the Tibetan Plateau // *Nature Climate Change*, 2(6), 456-460.
- [8] Zhang G., Yao T., Shum C. K., Ye Q. (2013). Lake volume and water level changes on the Tibetan Plateau during 1976-2010 // *Geophysical Research Letters*, 40 (3), 482-486.
- [9] Lehner B., Döll P. (2004). Development and validation of a global database of lakes, reservoirs, and wetlands // *Journal of Hydrology*, 296(1-4), 1-22.
- [10] Cohen S., Miller K. A. (2001). Climate change and sustainable water management in transboundary river basins // *International Journal of Water Resources Development*, 17 (4), 441-451.
- [11] Peeters F., Straile D., Lorke A., Livingstone D. M. (2007). Modeling the impact of climate change on the thermal structure of lakes // *Limnology and Oceanography*, 52 (2), 487-498.
- [12] Crétau J. F., Birkett C. (2006). Lake studies from satellite altimetry // *Comptes Rendus Geoscience*, 338 (14-15), 1098-1112.
- [13] Klein I., Dietz A. J., Gessner U. (2014). Monitoring lake level fluctuations using satellite imagery // *Remote Sensing of Environment*, 152, 1-9.
- [14] Krysanova V., Hattermann F. F. (2009). Integrating climate change impacts into water resources management: SWIM model applications // *Water Resources Management*, 23 (3), 467-490.
- [15] Huang S., Krysanova V., Hattermann F. (2010). Projections of climate change impacts on river flood conditions in Germany using a regional climate model and the SWIM model // *Hydrological Sciences Journal*, 55 (5), 916-931.
- [16] Abbaspour K. C., Vejdani M., Haghight S. (2007). SWAT-CUP calibration and uncertainty programs for SWAT // *Hydrological Processes*, 21 (3), 327-346.
- [17] Lindström G., Johansson B., Persson M., Gardelin M., Bergström S. Development and Test of the Distributed HBV-96 Hydrological Model // *Journal of Hydrology* 1997, 201 (1-4), 272-288.
- [18] Thompson J. R., et al. (2004). Application of the MIKE SHE models to flood simulation in a small lowland catchment // *Water and Environment Journal*, 18 (1), 16-24.

- [19] Lindström G., Pers C., Rosberg J., Arheimer B. (2010). Development and test of the HYPE (Hydrological Predictions for the Environment) model – A water quality model for different spatial scales // *Hydrology Research*, 41 (3-4), 295-319.
- [20] Современные особенности распределения потоков влаги на территории Евразии // *Киберленинка*. – Режим доступа: <https://cyberleninka.ru/article/n/sovremennye-osobennosti-raspredeleniya-potokov-vlagi-na-territorii-evrazii>, свободный.
- [21] Элементы общей циркуляции и распределение влагозапаса атмосферы Земли // Институт космических исследований Российской академии наук. – Режим доступа: <https://www.iki.rssi.ru/books/2008astafieva.pdf>, свободный.
- [22] Trenberth K. E., Dai A., Rasmussen R. M., Parsons D. B. (2003). The changing character of precipitation // *Bulletin of the American Meteorological Society*, 84 (9), 1205-1218.
- [23] Allen M. R., Ingram W. J. (2002). Constraints on future changes in climate and the hydrologic cycle // *Nature*, 419 (6903), 224-232.
- [24] Ресурсы поверхностных вод районов освоения целинных и залежных земель. Вып. 3. Кокчетавская область Казахской ССР / Под общей редакцией В. А. Урываева. – Л.: Гидрометеиздат, 1959. – 563 с.

REFERENCES

- [1] Bolgov M. V., Korobkina E. A. (2012). On modeling fluctuations in the level of Lake Chany to control its hydrological regime // *Water Resources*, 39 (5), 555-564 (in Russ.).
- [2] Frolov A.V., Vygachalkina T. Y. (2021). Modeling of long-term fluctuations in the level of Lake Baikal and its water balance // *Hydrology and Ecology: Research and Practice*, 3 (1), 45-58 (in Russ.).
- [3] Frolov A.V., Byvachalkina T. Y. (2021). About the forecast of long-term changes in the water level of large lakes. *Water Resources*, 48 (6), 789-798 (in Russ.).
- [4] Kalbus E., Binley A., Krause S. (2006). Estimating water balance dynamics for lakes: A comprehensive review of hydrological and hydrogeological methods // *Journal of Hydrology*, 329 (3-4), 368-385.
- [5] Stepanek P., Zahradníček P., Huth R. (2016). Projected changes in lake water levels in Central Europe based on climate change scenarios // *Climatic Change*, 137(1-2), 343-357.
- [6] Magnuson J. J., Benson B. J., Kratz T. K. (2000). Historical trends in lake and river ice cover in the Northern Hemisphere // *Science*, 289(5485), 1743-1746.
- [7] Gao H., Tang Q., Dai S. (2012). Understanding lake dynamics in response to climate change: A case study in the Tibetan Plateau // *Nature Climate Change*, 2(6), 456-460.
- [8] Zhang G., Yao T., Shum C. K., Ye Q. (2013). Lake volume and water level changes on the Tibetan Plateau during 1976-2010 // *Geophysical Research Letters*, 40 (3), 482-486.
- [9] Lehner B., Döll P. (2004). Development and validation of a global database of lakes, reservoirs, and wetlands // *Journal of Hydrology*, 296(1-4), 1-22.
- [10] Cohen S., Miller K. A. (2001). Climate change and sustainable water management in transboundary river basins // *International Journal of Water Resources Development*, 17 (4), 441-451.
- [11] Peeters F., Straile D., Lorke A., Livingstone D. M. (2007). Modeling the impact of climate change on the thermal structure of lakes // *Limnology and Oceanography*, 52 (2), 487-498.
- [12] Crétaux J. F., Birkett C. (2006). Lake studies from satellite altimetry // *Comptes Rendus Geoscience*, 338 (14-15), 1098-1112.
- [13] Klein I., Dietz A. J., Gessner U. (2014). Monitoring lake level fluctuations using satellite imagery // *Remote Sensing of Environment*, 152, 1-9.
- [14] Krysanova V., Hattermann F. F. (2009). Integrating climate change impacts into water resources management: SWIM model applications // *Water Resources Management*, 23 (3), 467-490.
- [15] Huang S., Krysanova V., Hattermann F. (2010). Projections of climate change impacts on river flood conditions in Germany using a regional climate model and the SWIM model // *Hydrological Sciences Journal*, 55 (5), 916-931.
- [16] Abbaspour K. C., Vejdani M., Haghightat S. (2007). SWAT-CUP calibration and uncertainty programs for SWAT // *Hydrological Processes*, 21 (3), 327-346.
- [17] Lindström, G. Johansson, B. Persson, M. Gardelin, M. Bergström, S. Development and Test of the Distributed HBV-96 Hydrological Model // *Journal of Hydrology* 1997, 201 (1-4), 272-288.
- [18] Thompson J. R., et al. (2004). Application of the MIKE SHE models to flood simulation in a small lowland catchment // *Water and Environment Journal*, 18 (1), 16-24.
- [19] Lindström G., Pers C., Rosberg J., Arheimer B. (2010). Development and test of the HYPE (Hydrological Predictions for the Environment) model – A water quality model for different spatial scales // *Hydrology Research*, 41 (3-4), 295-319.
- [20] Modern peculiarities of moisture fluxes distribution on the territory of Eurasia // *Cyberlenninka*. – Access mode: <https://cyberleninka.ru/article/n/sovremennye-osobennosti-raspredeleniya-potokov-vlagi-na-territorii-evrazii>, free. (Date of circulation: 15.01.2025.) (in Russ.).
- [21] Elements of general circulation and distribution of the Earth's atmospheric moisture reserve // Institute of Space Research of the Russian Academy of Sciences. – Access mode: <https://www.iki.rssi.ru/books/2008astafieva.pdf>, free. (Date of circulation: 20.01.2025.) (in Russ.).
- [22] Trenberth K. E., Dai A., Rasmussen R. M., Parsons D. B. (2003). The changing character of precipitation // *Bulletin of the American Meteorological Society*, 84 (9), 1205-1218.
- [23] Allen M. R., Ingram W. J. (2002). Constraints on future changes in climate and the hydrologic cycle // *Nature*, 419 (6903), 224-232.
- [24] Surface water resources of virgin and fallow lands development areas. Issue 3. Kokchetav region of the Kazakh SSR / Under the general editorship of V. A. Uryvaev. L.: Gidrometeoizdat, 1959. 563 p. (in Russ.).

A. P. Medeu¹, A. A. Tursunova², L. K. Makhmudova³, K. M. Kulebayev*⁴,
A. A. Nurbatsina⁵, L. M. Birimbayeva⁶

¹ Г. ғ. д., профессор, ҚР ҰҒА академигі, басқарма төрағасы

(«География және су қауіпсіздігі институты» АҚ, Алматы, Қазақстан; ingeo_2009@mail.ru)

² Г. ғ. к., ЖҒК («География және су қауіпсіздігі институты» АҚ, Алматы, Қазақстан; ais.tursun@bk.ru)

³ Г. ғ. к., ЖҒК («География және су қауіпсіздігі институты» АҚ, Алматы, Қазақстан; mlk2002@mail.ru)

⁴ *ҒК («География және су қауіпсіздігі институты» АҚ, Алматы, Қазақстан; kairat.kulebayev@mail.ru)

⁵ ҒК («География және су қауіпсіздігі институты» АҚ, Алматы, Қазақстан; aliya.nurbatsina@gmail.com)

⁶ ҒК («География және су қауіпсіздігі институты» АҚ, Алматы, Қазақстан; birimbayeva_l@mail.ru)

КЛИМАТТЫҚ ӨЗГЕРІСТЕРДІ ЕСКЕРЕ ОТЫРЫП, "БУРАБАЙ" МЕМЛЕКЕТТІК ҰЛТТЫҚ ТАБИҒИ ПАРКІНІҢ 2050 ЖЫЛҒА ДЕЙІНГІ КӨЛДЕР СУЫНЫҢ БОЛЖАМЫ

Аннотация. Жұмыс "Бурабай" мемлекеттік ұлттық табиғи паркінің ("Бурабай"МҰТП) көлдерінің суының қазіргі жай-күйін бағалауға және ғасыр ішіндегі ауытқуларының ұзақ мерзімді болжамына арналған. Реализ деректері мен сандық модельдеу нәтижелері негізінде Шортанды, Бурабай, Үлкен Шабакты, Кіші Шабакты, Катаркөл, Жукей көлдерінің бассейндеріндегі климаттық өзгерістердің әсеріне талдау жасалды. Аймақтағы климаттық өзгерістің сипаттайтын бірқатар атмосфералық және мұхиттық айналым индекстерінің көлдердің су режимімен байланысын бағалау жүргізілді. Климаттық сипаттамалар мен су жинаудың гидрологиялық режимі мен көлдердің су балансы арасындағы себеп-салдарлық байланыстар зерттелді. Жауын-шашын, температура, ағынды сулар және су жинау алабындағы булану динамикасы ретроспективада және перспективадағы жағдайы. Есептеу нәтижелері алдағы 15-25 жылда зерттелетін ауданда ылғал тасымалының ықтимал төмендеуін және жауын-шашынның азаюын көрсетеді, бұл көлдердің су деңгейінің бірнеше жыл кешігуімен төмендеуіне әкеледі. Шамамен 2030 жылдан 2050 жылға дейін буланудың жоғарылауы күтілуде, бұл осы су объектілерінің деңгейінің төмендеуіне әкеледі деп болжамдылады.

Түйін сөздер: болжам, су көлемі, көлдер, климат, өзгерістік.

A. R. Medeu¹, A. A. Tursunova², L. K. Makhmudova³, K. M. Kulebayev*⁴,
A. A. Nurbatsina⁵, L. M. Birimbayeva⁶

¹ Doctor of Geographical Sciences, Professor, Academician of the National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan, Chairman of the Board

(JSC «Institute of Geography and Water Security», Almaty, Kazakhstan; ingeo_2009@mail.ru)

² Candidate of Geographical Sciences, Leading Researcher (JSC «Institute of Geography and Water Security», Almaty, Kazakhstan; ais.tursun@bk.ru)

³ Candidate of Geographical Sciences, Leading Researcher (JSC «Institute of Geography and Water Security», Almaty, Kazakhstan; mlk2002@mail.ru)

⁴ *Researcher (JSC «Institute of Geography and Water Security», Almaty, Kazakhstan; kairat.kulebayev@mail.ru)

⁵ Researcher (JSC «Institute of Geography and Water Security», Almaty, Kazakhstan; aliya.nurbatsina@gmail.com)

⁶ Researcher (JSC «Institute of Geography and Water Security», Almaty, Kazakhstan; birimbayeva_l@mail.ru)

FORECAST OF LAKE WATER AVAILABILITY IN THE STATE NATIONAL NATURAL PARK "BURABAI" UP TO 2050. TAKING INTO ACCOUNT CLIMATIC CHANGES

Abstract. The work is devoted to the assessment of the current state and long-term forecast of intra-century water fluctuations in the lakes of the State National Natural Park "Burabai" hereinafter (SNNP "Burabai"). On the basis of reanalysis data and results of numerical modeling, the analysis of the influence of climatic changes in the basins of lakes Shortandy, Burabai, Ulken Shabakty, Kishi Shabakty, Katarkol, Zhukey has been carried out. The linkage of a number of atmospheric and oceanic circulation indices describing climatic variability in the region with the water regime of lakes was assessed. Causal relationships between climatic characteristics and hydrological regime of catchments and water balance of lakes were investigated. Dynamics of precipitation, temperature, runoff and evaporation in the watershed in retrospect and prospect. The results of calculations show a possible reduction in moisture transport and precipitation reduction in the study area in the next 15-25 years, resulting in a delayed decline in lake water levels. Approximately from 2030 to 2050, an increase in evaporation is expected, which should lead to a lowering of the level of these water bodies.

Keywords: forecast, volume of water, lakes, climate, variability.

<https://doi.org/10.55764/2957-9856/2025-1-14-21.2>

МРНТИ 37.27.21

УДК 551.466.31

А. Г. Елтай¹, Л. Б. Базарбай*², Н. Н. Жағпарова³

¹ PhD, начальник управления гидрометеорологических исследований Каспийского моря (Научно-исследовательский центр РГП «Казгидромет», Астана, Казахстан; yeltay.aiz@gmail.com)

²* Магистр естественных наук, ведущий научный сотрудник (РГП «Казгидромет», Астана, Казахстан; bazarbay_l@meteo.kz)

³ Магистр естественных наук, ведущий инженер (РГП «Казгидромет», Астана, Казахстан; zhagparova_n@meteo.kz)

ВОЛНОВОЙ РЕЖИМ В КАЗАХСТАНСКОМ СЕКТОРЕ КАСПИЙСКОГО МОРЯ НА ОСНОВЕ ЧИСЛЕННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ

Аннотация. Каспийское море является внутренним водоемом, подверженным различным стихийным гидрометеорологическим явлениям, а также важным стратегическим районом Казахстана в экономическом плане. Расположение крупных нефтяных месторождений и портов требует своевременного анализа и прогнозирования изменения характеристик волнения в целях обеспечения безопасности плавания на море. В связи с этим проведены ретроспективные расчеты высоты и преобладающего направления волнения за 1959-2021 гг. на основе спектрально-волновой модели SWAN и данных реанализа ERA5. Средние значения высоты волны были около 0,4 м, максимальные высоты волны достигали до 3,2 м, преобладающим направлением волнения было юго-восточное. По полученным результатам за 62-летний период определено количество случаев, превышавших значительную высоту волны 2 м. Так, за 1959–2021 гг. из общего количества рассчитанных ежечасных высот волн на акватории в 104 416 случаях наблюдалась штормовая ситуация. Наибольшие высоты волн отмечаются с января по март. В результате расчетов построены карты пространственно-временных изменений высоты волны по акватории моря.

Ключевые слова: Каспийское море, ветровое волнение, SWAN, ECWAM, реанализ ERA5, высота волны, направление волнения, карта.

Введение. Область интересов прикаспийских стран в экономическом, транспортном, инфраструктурном и туристическом планах неразрывно связана с Каспийским морем.

Расположение на море одного из важных стратегических участков недр Казахстана требует обеспечения проведения безопасных работ в целях предотвращения чрезвычайных ситуаций техногенного характера [1, 2].

Проведение работ на море, в том числе при проектировании гидротехнических сооружений, для обеспечения гражданского и военного флота предусматривает использование достоверной информации об опасных и стихийных гидрометеорологических явлениях (сильные ветра и волнение, сгонно-нагонные колебания уровня моря и др.).

Развивающееся в море ветровое волнение оказывает отрицательное влияние на судоходство, вызывает переформирование берегов. В связи с этим сбор натурных данных о волнении и прогнозирование размеров волн являются важными задачами в целях обеспечения безопасности на море.

Выполнение расчетов, связанных с параметрами волнения, затруднено отсутствием продолжительных рядов наблюдений, которые, в свою очередь, ведутся визуально. Поэтому в большинстве случаев характеристики волнения рассчитывают в результате применения численного моделирования. Развитие методов численного моделирования, увеличение количества данных ДЗЗ позволяют достаточно точно анализировать динамические процессы, происходящие на Каспийском море, в том числе волновые.

Целью данной работы является изучение волнового режима в казахстанском секторе Каспийского моря на основе численного моделирования.

Ряд авторов провели исследования по идентификации основных особенностей волнового режима Каспийского моря по данным реанализа NCEP/NCAR [3-6]. На акватории моря про-

гнозирование ветрового волнения проводится посредством моделей WaveWatch III [7, 8], SWAN [9, 10], а также статистическими методами.

Для казахстанской части Каспийского моря адаптирована спектрально-волновая модель SWAN, смоделированные результаты достаточно хорошо согласуются с другими волновыми моделями, а также с фактическими значениями волнения на морских станциях и постах, а также данными буев [10].

Методы и материалы. Каспийское море – самый большой по площади замкнутый водоем мира, расположенный на стыке Европы и Азии. Его воды омывают берега Российской Федерации, Республики Казахстан, Туркменистана, Исламской Республики Иран, Республики Азербайджан [11].

Прибрежные наблюдения в казахстанской части Каспийского моря проводятся визуально на 7 морских станциях и постах: Кулалы остров, Форт-Шевченко, Саура, Актау, Фетисово, Курык, Песчаный. Наблюденные высоты волн достигали до 4,5 м (два случая с максимальной высотой волны: Актау – 1985 г., Песчаный – 2009 г.). По прибрежным наблюдениям волнения высотой более 2 м отмечаются во всех пунктах [12], и выделить годы с более активными волновыми процессами достаточно трудно, так как в каждом исследуемом году фиксировалось значительное волнение.

В казахстанском секторе моря за 1980–2021 гг. сильное волнение, равное или выше 2 м, наблюдалось 265 раз. Преобладает волнение западного направления, повторяемость которого за исследуемый период составила 30 %. Из остальных направлений волнения следует отметить северо-западное и юго-восточное, повторяемость которых составила 26 и 25 % соответственно.

Поскольку прибрежные наблюдения на Каспийском море осуществляются визуально, для анализа волнового режима необходимо проведение численных экспериментов для открытой акватории моря. В связи с этим расчеты проводились с использованием спектрально-волновой модели третьего поколения SWAN [13, 14] с применением данных батиметрии и характеристик ветра.

Модель учитывает нелинейные взаимодействия трех волн, характерных для закрытых и мелководных акваторий, а также эффекты обрушения и дифракции волн на малых глубинах.

В ее основе лежит решение уравнения баланса энергии волнового поля в спектральном пространстве:

$$\frac{\delta N}{\delta t} + \frac{\delta c_x N}{\delta x} + \frac{\delta c_y N}{\delta y} + \frac{\delta c_\sigma N}{\delta \sigma} + \frac{\delta c_\theta N}{\delta \theta} = \frac{S_{tot}}{\sigma}, \quad (1)$$

где N – удельная спектральная плотность; x, y – пространственные координаты; t – время; σ – волновая частота; θ – волновой угол; c_σ, c_θ – скорость распространения в спектральном пространстве; S_{tot} – функция источника, которая включает такие физические процессы, как генерация волн за счет энергии ветра, нелинейный перенос энергии волн при взаимодействии гармоник, уменьшение волн из-за образования пены и брызг, трение о дно и обращение волн на критической глубине [14].

В модели значительная высота волны определяется, как

$$H_s = 4\sqrt{\iint E(\omega, \theta) d\omega d\theta}. \quad (2)$$

Среднее направление волнения, вычисляется по формуле

$$DIR = 180/\pi \arctan\left(\frac{\int \sin\theta E(\sigma, \theta) d\sigma d\theta}{\int \cos\theta E(\sigma, \theta) d\sigma d\theta}\right), \quad (3)$$

где $E(\omega, \theta, \sigma)$ – спектр плотности дисперсии; ω – абсолютная частота в радианах; k – число волн.

Расчеты были проведены для казахстанской части моря на основе ежечасных данных метеорологических условий (в виде меридионального U и зонального V компонентов на высоте 10 м над уровнем моря), полученных из реанализа ERA5 с пространственным разрешением $0,25^0 \cdot 0,25^0$ за ретроспективный период 1959–2021 гг. Для численного моделирования использовалась батиметрия GEBCO, впервые выпущенная в 1994 году Международной программой картирования морского дна [15]. Данные, выпущенные в мае 2020 года, охватывают весь земной шар с разрешением 15 угловых секунд. Для акватории Каспийского моря выполнено 2648 промеров глубин.

В результате расчетов получены характеристики ветрового волнения для Каспийского моря за каждый час с 1959 по 2021 г. по 2648 точкам на акватории, такие, как значительная высота волны и среднее направление распространения волн.

Для верификации результатов моделирования использованы данные модели ECWAM. Модель океанских волн (ECWAM) описывает развитие и эволюцию поверхностных волн, создаваемых ветром, а также их высоту, направление и период. Модель связана с прогнозом атмосферы во всех конфигурациях (HRES, ENS, Extended Range, Seasonal), выпускаемых Европейским центром среднесрочных прогнозов погоды, и динамической моделью океана NEMO [18, 19].

Результаты и их обсуждение. Расчетные высоты волны за ретроспективный период удовлетворительно согласуются с наблюдаемыми данными на прибрежной акватории. Однако недостаточное количество наблюдений на открытой акватории моря требует сравнения полученных расчетов с альтернативными данными. В связи с этим был проведен анализ сравнения результатов двух моделей (ECWAM и SWAN).

График сравнения (рисунок 1) изменения средней высоты волны по акватории моря за 1959–2021 гг. по данным модели ECWAM [16] и смоделированным с применением модели SWAN показал, что разница между ними колеблется от 0,05 до 0,55 м. Наибольшая разница наблюдается в марте, октябре и декабре.

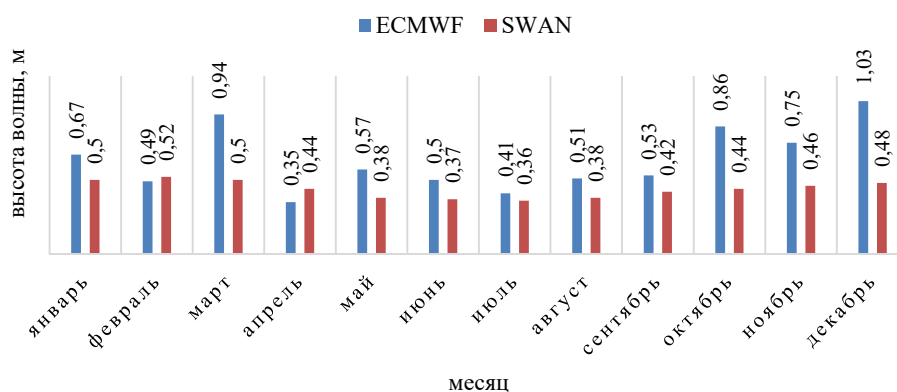


Рисунок 1 – График средней высоты волны на акватории Каспийского моря за 1959–2021 гг. по данным моделей ECWAM, SWAN

Figure 1 – Graph of average wave height in the Caspian Sea water area for 1959–2021 according to ECWAM, SWAN models

Сравнение высоты волны по пунктам наблюдений показало, что для среднего волнения разница между данными составляла от 0,01 до 0,39 м, а для максимального значения – от 0,21 до 1,86 м. Наибольшая разница отмечается у МГ Кулалы (остров). Во внутригодовом разрезе разница для МГ Кулалы (остров) составила до 0,3 м (ноябрь), МГ Форт-Шевченко – 0,4 м (ноябрь), МГП Саура – 0,4 м (август, март), в МГ Актау – до 0,6 м (март), до 0,9 м в марте у МГП Курык и МГП Песчаный. В целом данные показывают удовлетворительную связь между собой.

Применение численного моделирования и данных дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ) дало возможность описать режим волнения на открытой акватории Каспийского моря.

Результаты численного моделирования показали, что за период 1959–2021 гг. для акватории Каспийского моря средние высоты волны были около 0,4 м с колебаниями от 0,3 до 0,5 м, максимальные значения высоты волны изменялись от 1,6 до 3,2 м, в среднем 2,0 м (рисунок 2).

Анализ карты пространственного распределения (см. рисунок 2) показал, что высоты максимальных волн более 3 м наблюдались на стыке северо-восточной и восточной части Каспийского моря и охватили район острова Кулалы, Форт-Шевченко.

Высоты волн за 1959–2021 гг. для пунктов наблюдений казахстанского сектора моря представлены на рисунке 3, где видно, что средние значения составляют от 0,42 до 0,47 м, максимальные – от 2,28 до 3,19 м.

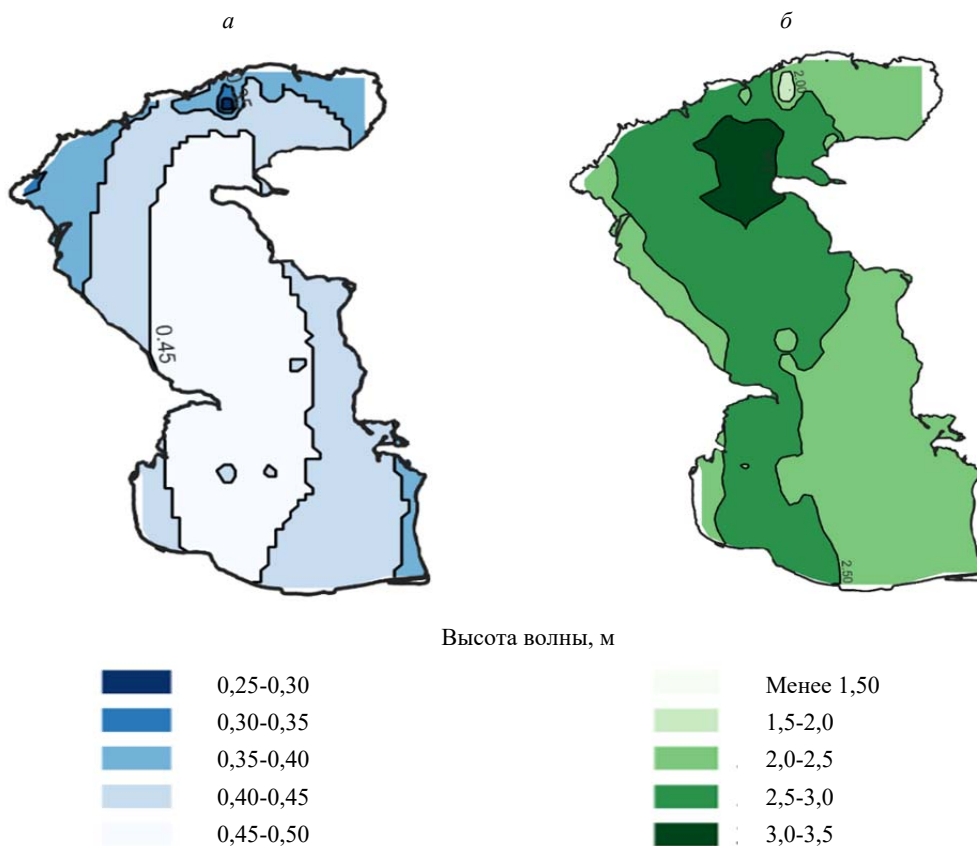


Рисунок 2 – Карта распределения средней (а), максимальной (б) высоты волны в пространстве

Figure 2 – Map of distribution of Spatial (a) average, (b) maximum wave height

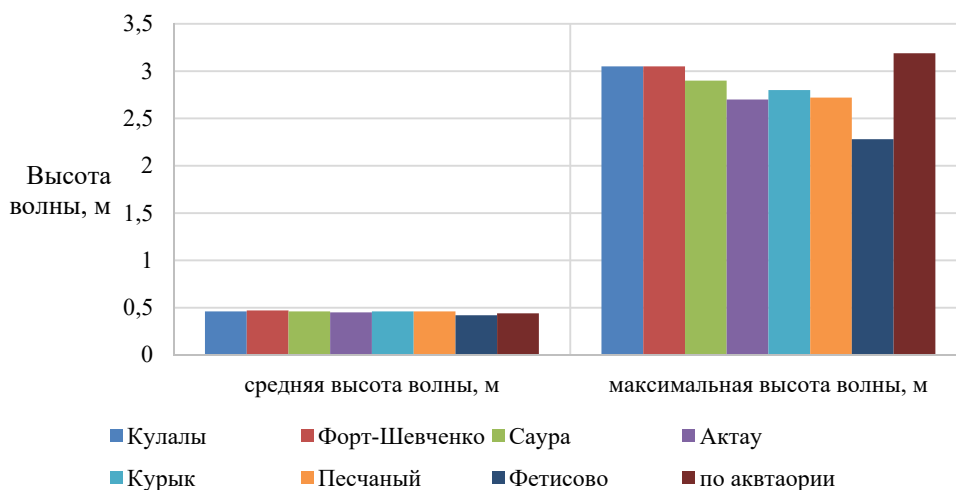


Рисунок 3 – График диапазона изменения высоты волны в отдельных пунктах казахстанского сектора Каспийского моря за 1959–2021 гг.

Figure 3 – Graph of the range of wave height variation in some points of the Kazakhstan sector of the Caspian Sea for 1959–2021

Средние годовые высоты волн за 1959-2021 гг. как по акватории, так и по пунктам наблюдений составляют 0,3-0,5 м, с наибольшими подъемами в 1985 г. от 0,8 м (Фетисово) до 1,1 м (Форт-Шевченко), в 1991 г. от 0,4 м (Фетисово) до 0,7 м (Кулалы), в 2016 г. от 0,7 м (Фетисово) до 1,1 м (Курык). На рисунке 4 представлены графики высоты волн в пунктах моря за отдельные годы (через каждые 10 лет), также, когда отмечались наибольшие высоты волн.

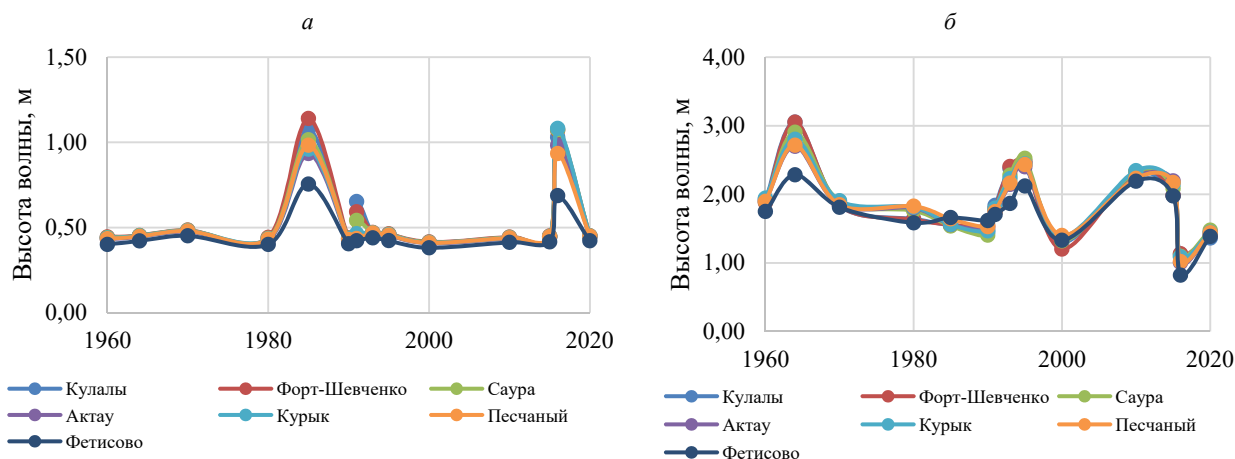


Рисунок 4 –Графики хода значений средней (а) максимальной (б) высоты волны за отдельные годы

Figure 4 – Graphs of the progress of (a) average (b) maximum wave height values for individual years

Следует отметить схожесть полученных результатов с фактическими данными. Так, в декабре 1985 г. на прибрежной станции Актау наблюдалось волнение северо-западного направления высотой 4,5 м, а в январе 1991 г. – волнение западного направления с высотой 3,5 м.

Максимальные высоты по акватории моря были выше, чем в отдельных пунктах казахстанского сектора Каспийского моря.

Распределение средней и максимальной высоты волн по месяцам показало (см. таблицу), что наибольшие высоты волн были в холодный период года (январь-март), средние были около 0,32, а максимальные – более 1 м.

Значения высоты волны внутри года для Каспийского моря

Wave height values within a year for the Caspian Sea

Месяц	Средняя высота волны, м		Максимальная высота волны, м	
	наименьшая	наибольшая	наименьшая	наибольшая
Январь	0,32	0,56	1,50	3,19
Февраль	0,33	0,58	1,14	2,74
Март	0,31	0,55	1,11	2,68
Апрель	0,27	0,49	1,06	2,33
Май	0,24	0,42	0,93	1,80
Июнь	0,23	0,41	0,76	1,74
Июль	0,22	0,41	0,80	1,67
Август	0,23	0,43	0,73	1,67
Сентябрь	0,25	0,48	0,80	1,98
Октябрь	0,27	0,49	1,02	2,04
Ноябрь	0,29	0,52	1,08	2,55
Декабрь	0,30	0,54	0,95	1,94

В январе максимальная высота волны более 3 м отмечалась в казахстанской части моря в районе Форт-Шевченко и острова Кулалы, а в остальной части моря, примыкающей к Казахстану, высоты волн достигали 2,5 м. В феврале и марте на рассматриваемой территории наибольшие высоты волн колебались от 2–2,5 м.

В целом в казахстанском секторе Каспийского моря наблюдается сильное волнение. Однако за период 1959–2021 гг. из общего количества рассчитанных ежечасных высот волн на акватории в 104 416 случаях высота волны превышала 2 м. На период 1959–1989 гг. приходится 25% случаев

превышения высоты волны 2 м, а на период 1990–2021 гг. – 76%. В 1995, 2010, 1964 и 1993 гг. отмечалось наибольшее количество волнений с высотой волны больше 2 м – 27 906, 19 284, 18 557, 11 538 случаев соответственно.

В отдельных пунктах казахстанской части Каспийского моря случаи с превышением высоты волны 2 м отмечались не часто. Так, в 1961 г. – 3-4 случая, в 1964 г. 11-15 случаев, в 1993 г. – 4-10 случаев, в 1995 г. – 9-16 случаев, в 2010 г. – 8-11 случаев, в 2012 г. – 1 случай, в 2015 г. – по 4 случая в среднем.

Для уточнения характеристик волнения рассчитаны высоты волн различной обеспеченности с использованием результатов моделирования за период 1959–2021 гг. Среднеквадратические ошибки расчетов коэффициента вариации σC_v и коэффициента асимметрии σC_s находятся в допустимых пределах, поэтому вычисленные значения приняты для дальнейших определений эмпирических кривых обеспеченности. Так σC_v был от 9,08 до 9,41 %, а σC_s – около 3,09 %. Средняя высота волны редкой повторяемости 0,1 % для всех рассматриваемых пунктов наблюдений составила от 1,56 м (Форт-Шевченко) до 0,94 м (Фетисово). В свою очередь, высота волны 1 % обеспеченности составила от 1,01 м (Форт-Шевченко) до 0,68 (Фетисово).

Параметры биномиальных асимметричных кривых обеспеченности максимальной высоты волны по результатам моделирования за 1959–2021 гг. показали, что максимальные высоты волн при 0,1 % обеспеченности составили 3,45 м, 1 % обеспеченности – 2,77 м у Форт-Шевченко.

Расчетные значения за период 1959–2021 гг. показали, что преобладающим в этот период направлением волнения было юго-восточное. Если рассматривать по месяцам, то в январе преобладали северо-восточное, юго-восточное и юго-западное направления; в феврале, марте, июле, августе, ноябре и декабре – юго-восточное, южное, юго-западное; в апреле – юго-восточное, южное, юго-западное, западное; в мае, июне, сентябре – юго-восточное, южное; в октябре – юго-западное, южное.

Заключение. На основе адаптированной для казахстанского сектора Каспийского моря спектрально-волновой модели SWAN [10] выполнены непрерывные расчеты ежечасных изменений характеристик волнения Каспийского моря – значительная высота волны, направление волнения с 1959 по 2021 г. Полученные результаты хорошо согласуются с волновым режимом, описанным в ряде литературных источников [3, 11, 17], однако расчетные значения средней высоты волны занижены по сравнению с наблюдаемыми данными, что может быть связано с погрешностью результатов реанализа ветрового режима.

Данные численного моделирования показали, что за рассматриваемый период для акватории Каспийского моря средние значения высоты волн были около 0,4 м, максимальные значения высоты волны колебались от 1,6 до 3,2 м, преобладающим направлением волнения было юго-восточное. Во внутригодовом распределении наибольшие высоты волн были в холодный период года (январь-март).

На открытой казахстанской части моря в холодный период года, в который образуются наибольшие высоты волн, необходимо вводить особый режим работ в целях безопасности, а также уменьшения случаев чрезвычайных ситуаций.

ЛИТЕРАТУРА

[1] Экологический кодекс Республики Казахстан от 2 января 2021 года, № 400-VI ЗРК. [Электронный ресурс]. – URL: <https://adilet.zan.kz/rus/docs/K2100000400> (дата обращения: 01.05.2022).

[2] Кодекс о недрах и недропользовании Республики Казахстан от 27 декабря 2017 года, № 125-VI ЗРК. [Электронный ресурс]. – URL: <https://adilet.zan.kz/rus/docs/K1700000125> (дата обращения: 01.05.2022).

[3] Яйцкая Н. А. Ретроспективный анализ ветрового волнения в Каспийском море во второй половине XX – начале XXI в. и связь с региональными проявлениями изменения климата // Географический вестник. – 2017. – № 2(41). – С. 57-70. doi 10.17072/2079-7877-2017-2-57-70

[4] Лопатухин Л. И., Яйцкая Н. А. Волновой климат Каспийского моря. Входные данные по ветру для гидродинамического моделирования и некоторые результаты расчетов // Океанология. – 2019. – Т. 59, № 1. – С. 12-21.

[5] Лопатухин Л. И., Яйцкая Н. А. Данные реанализа полей ветра над Каспийским морем для расчета режима ветрового волнения // Водные ресурсы. – 2019. – Т. 46, № 6. – С. 598-604.

[6] Мысленков С. А., Архипкин В. С., Павлова А. В., Добролюбов С. А. Волновой климат Каспийского моря по данным моделирования // Метеорология и гидрология. – 2018. – № 10. – С. 60-70.

- [7] Strukov B. S., Zelenko A. A., Resnyansky Yu. D., Martynov S. L. Verification of the Wind Wave Forecasting System for the Black, Azov and Caspian Seas // Research Activities in Atmospheric and Oceanic Modelling. WCRP Informal Report No. 5. CAS/JSC WGNE. – Geneva: WMO, 2012. – P. 8.5-8.6.
- [8] Струков Б. С., Зеленько А. А., Реснянский Ю. Д., Мартынов С. Л. Система прогнозирования характеристик ветрового волнения и результаты ее испытания для акваторий Азовского, Черного и Каспийского морей // Информационный сборник № 40. Новые технологии, модели и методы гидрометеорологических прогнозов и результаты их оперативных испытаний. – 2013. – С. 64-79.
- [9] Мысленков С. А. Диагноз и прогноз ветрового волнения в прибрежной зоне Черного моря: Дис. ... к. ф. н. – Москва, 2017. – 161 с.
- [10] Ивкина Н. И., Галаева А. В. Прогнозирование ветрового волнения на Каспийском море с помощью модели SWAN // Гидрометеорология и экология. – 2017. – №2 (85). – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/prognozirovanie-vetrovogo-volneniya-na-kaspiyskom-more-s-pomoschyu-modeli-swan> (дата обращения: 16.12.2022).
- [11] Проект «моря». Гидрометеорология и гидрохимия морей. Т. VI. Каспийское море. Вып. 1. Гидрометеорологические условия. – СПб.: Гидрометеоздат, 1992. – 358 с.
- [12] Елтай А., Ивкина Н., Клёва Б. Влияние ветра на высоту волн в казахстанской части Каспийского моря // Центрально-Азиатский журнал исследований водных ресурсов. – № 5(1). – С. 82-94. <https://doi.org/10.29258/CAJWR/2019-R1.v5-1/82-94.rus>
- [13] SWAN user manual. Delft University of Technology. – 2015. – 135 p.
- [14] SWAN. Scientific and technical documentation. Delft University of Technology. – 2020. – 149 p.
- [15] GEBCO. [Электронный ресурс]. – URL: <https://download.gebco.net/> (дата обращения: 15.09.2021).
- [16] Ocean Wave Model – ECWAM. [Электронный ресурс]. – URL: <https://confluence.ecmwf.int/display/FUG/2.2+Ocean+Wave+Model+-+ECWAM> (дата обращения: 15.07.2020).
- [17] Mammadov R. M. Hydrometeorological atlas of the Caspian Sea. – Baku, 2014.
- [18] Scharroo R., Leuliette E. W., Lillibridge J. L., Byrne D., Naeije M. C., Mitchum G. T. RADS: Consistent multi-mission products // Proc. of the Symposium on 20 Years of Progress in Radar Altimetry, Venice. Eur. Space Agency Spec. Publ., ESA SP-710, 2013. – P. 4.
- [19] Ocean Wave Model – ECWAM. URL: <https://confluence.ecmwf.int/display/FUG/2.2+Ocean+Wave+Model+-+ECWAM>. 15.07.2020.

REFERENCES

- [1] Ecological Code of the Republic of Kazakhstan from January 2, 2021, No. 400-VI ZRC. [Electronic resource]. URL: <https://adilet.zan.kz/rus/docs/K2100000400> (date of reference: 01.05.2022) (in Russ.).
- [2] Code on Subsoil and Subsoil Use of the Republic of Kazakhstan from December 27, 2017. No. 125-VI ZRC. [Electronic resource]. URL: <https://adilet.zan.kz/rus/docs/K1700000125> (date of reference: 01.05.2022) (in Russ.).
- [3] Yaitskaya N.A. Retrospective analysis of wind waves in the Caspian Sea in the second half of XX – early XXI centuries and the relationship with regional manifestations of climate change // Geographical Bulletin. 2017. No. 2(41). P. 57-70. doi:10.17072/2079-7877-2017-2-57-70 (in Russ.).
- [4] Lopatukhin L.I., Yaitskaya N.A. Wave climate of the Caspian Sea. Wind input data for hydrodynamic modeling and some calculation results // Oceanology. 2019. Vol. 59, No.1. P. 12-21 (in Russ.).
- [5] Lopatukhin L.I., Yaitskaya N.A. Data of wind field reanalysis over the Caspian Sea to calculate the wind wave regime // Water Resources. 2019. Vol. 46, No. 6. P. 598-604 (in Russ.).
- [6] Myslenkov S.A., Arkhipkin V.S., Pavlova A.V., Dobrolyubov S.A. Wave climate of the Caspian Sea based on modeling data // Meteorology and Hydrology. 2018. No. 10. P. 60-70 (in Russ.).
- [7] Strukov B.S., Zelenko A.A., Resnyansky Yu.D., Martynov S.L. Verification of the Wind Wave Forecasting System for the Black, Azov and Caspian Seas // Research Activities in Atmospheric and Oceanic Modelling. WCRP Informal Report № 5. CAS/JSC WGNE. Geneva: WMO, 2012. P. 8.5-8.6.
- [8] Strukov B.S., Zelenko A.A., Resnyansky Y.D., Martynov S.L. The system of forecasting wind wave characteristics and the results of its testing for the Azov, Black and Caspian Seas // Information Collection No. 40. New technologies, models and methods of hydrometeorological forecasts and the results of their operational tests. 2013. P. 64-79 (in Russ.).
- [9] Myslenkov S.A. Diagnosis and forecast of wind waves in the coastal zone of the Black Sea: Dis. ... Candidate of Physical and Mathematical Sciences. Moscow 2017. 161 p. (in Russ.).
- [10] Ivkina N.I., Galaeva A.V. Forecasting of wind waves in the Caspian Sea using the SWAN model // Hydrometeorology and Ecology. 2017. No. 2(85). URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/prognozirovanie-vetrovogo-volneniya-na-kaspiyskom-more-s-pomoschyu-modeli-swan> (date of reference: 16.12.2022) (in Russ.).
- [11] The Seas Project. Hydrometeorology and Hydrochemistry of the Seas. Vol. VI. Caspian Sea. Issue 1. Hydrometeorological conditions. SPb.: Hydrometeoizdat, 1992. 358 p. (in Russ.).
- [12] Yeltay, A., Ivkina, N., Kljove, B. Wind influence on wave height in the Kazakhstan part of the Caspian Sea // Central Asian Journal of Water Resources Research. No. 5(1). C. 82-94. <https://doi.org/10.29258/CAJWR/2019-R1.v5-1/82-94.rus> (in Russ.).
- [13] SWAN user manual. Delft University of Technology. 2015. 135 p.
- [14] SWAN. Scientific and technical documentation. Delft University of Technology, 2020. 149 p.
- [15] GEBCO. [Electronic resource]. URL: <https://download.gebco.net/> (date of reference: 15.09.2021).
- [16] Ocean Wave Model – ECWAM. [Electronic resource]. URL: <https://confluence.ecmwf.int/display/FUG/2.2+Ocean+Wave+Model+-+ECWAM> (date of reference: 15.07.2020).
- [17] Mammadov R.M. Hydrometeorological atlas of the Caspian Sea. Baku, 2014.

[18] Scharroo R., Leuliette E.W., Lillibridge J.L., Byrne D., Naeije M.C., Mitchum G.T. RADS: Consistent multi-mission products // Proc. of the Symposium on 20 Years of Progress in Radar Altimetry, Venice. Eur. Space Agency Spec. Publ., ESA SP-710, 2013. P. 4.

[19] Ocean Wave Model – ECWAM. URL: <https://confluence.ecmwf.int/display/FUG/2.2+Ocean+Wave+Model+-+ECWAM>. 15.07.2020.

А. Ф. Елтай¹, Л. Б. Базарбай*², Н. Н. Жағпарова³

¹ PhD («Қазгидромет» РМК Ғылыми-зерттеу орталығы Каспий теңізін гидрометеорологиялық зерттеулер басқармасының бастығы, Астана, Қазақстан; yeltay.aiz@gmail.com)

^{2*} Жаратылыстану ғылымдарының магистрі, жетекші ғылыми қызметкер («Қазгидромет» РМК, Астана, Қазақстан; bazarbay_l@meteo.kz)

³ Жаратылыстану ғылымдарының магистрі, Ғылыми-зерттеу орталығы Каспий теңізін гидрометеорологиялық зерттеулер басқармасының жетекші инженері («Қазгидромет» РМК, Астана, Қазақстан; zhagparova_n@meteo.kz)

САНДЫҚ МОДЕЛЬДЕУ НЕГІЗІНДЕ КАСПИЙ ТЕҢІЗІНІҢ ҚАЗАҚСТАНДЫҚ СЕКТОРЫНДАҒЫ ТОЛҚЫНДЫҚ РЕЖИМІ

Аннотация. Каспий теңізі әртүрлі стихиялық гидрометеорологиялық құбылыстарға ұшырайтын, сондай-ақ экономикалық тұрғыда Қазақстанның маңызды стратегиялық ауданы болып табылатын ішкі су айдыны. Ірі мұнай кен орындары мен порттардың орналасуы теңізде жүзу қауіпсіздігін қамтамасыз ету мақсатында толқу сипаттамаларының өзгеруін уақтылы талдауды және болжауды талап етеді. Осыған байланысты, бұл жұмыста 1959-2021 жылдардағы толқудың биіктігі мен басым бағытының ретроспективті есептеулері SWAN спектрлік-толқындық моделі мен ERA5 реанализ деректері негізінде жүргізілді. Толқын биіктігінің орташа мәндері шамамен 0,4 м, максималды мәндері 3,2 м-ге дейін ауытқиды, толқынның басым бағыты оңтүстік-шығыс болды. Алынған нәтижелер бойынша 62 жылдық кезеңде толқынның елеулі биіктігі 2 м-ден асқан жағдайлардың саны анықталды. Мәселен, 1959-2021 жылдар кезеңінде акватория бойынша есептелген сағат сайынғы толқын биіктіктерінің жалпы санынан 104 416 дауылды жағдай байқалды. Толқындардың ең жоғары биіктігі қаңтардан наурызға дейін байқалады. Есептеулер нәтижесінде теңіз акваториялары бойынша толқын биіктігінің кеңістіктік-уақыттық өзгерістерінің карталары салынды.

Түйін сөздер: Каспий теңізі, жел толқыны, SWAN, ECWAM, ERA5 реанализі, толқын биіктігі, толқын бағыты, карта

A. G. Yeltay¹, L. B. Bazarbay*², N. N. Zhagparova³

¹ PhD, Head of the Caspian Sea hydrometeorological research department of the Scientific-research center (RSE «Kazhydromet»), Astana, Kazakhstan; yeltay.aiz@gmail.com)

^{2*} Master of Natural Sciences, Leading Researcher (RSE «Kazhydromet»), Astana, Kazakhstan; bazarbay_l@meteo.kz)

³ Master of Natural Sciences, Leading engineer of the Caspian Sea hydrometeorological research department of the Scientific-research center (RSE «Kazhydromet»), Astana, Kazakhstan; zhagparova_n@meteo.kz)

WAVE REGIME IN THE KAZAKHSTAN SECTOR OF THE CASPIAN SEA BASED ON NUMERICAL MODELING

Abstract. The Caspian Sea is an inland body of water subject to various natural hydrometeorological phenomena, as well as an important strategic area of Kazakhstan in economic terms. The location of large oil fields and ports requires timely analysis and forecasting of changes in the characteristics of waves in order to ensure the safety of navigation at sea. In this regard, in this paper, retrospective calculations of the height and prevailing direction of the wave for 1959-2021 were carried out, based on the SWAN spectral wave model and ERA5 reanalysis data. The average values of the wave height were about 0.4 m, the maximum values of the wave height ranged up to 3.2 m, and the prevailing direction of the wave was southeast. According to the results obtained over a 62-year period, the number of cases exceeding the significant wave height of 2 m was determined. So, for the period 1959-2021, out of the total number of calculated hourly wave heights in the water area, a storm situation was observed in 104,416 cases. The highest wave heights are observed in the period from January to March. As a result of calculations, maps of spatiotemporal changes in wave height across the sea areas were constructed.

Keywords: Caspian Sea, wind wave, SWAN, ECWAM, ERA 5 reanalysis, wave height, wave direction, map.

<https://doi.org/10.55764/2957-9856/2025-1-22-30.3>

IRSTI 89.57.25
UDC 502.35

D. V. Malakhov^{*1}, O. V. Dolbnya², R. A. Kurbanova³

¹ Head of GIS and RS Department (Institute of Zoology, Almaty, Kazakhstan; dmitry.malakhov@zool.kz)

² Researcher (GIS and RS Department, Institute of Zoology, Almaty, Kazakhstan; olga.dolbnya@zool.kz)

³ Junior Researcher (GIS and RS Department, Institute of Zoology, Almaty, Kazakhstan;
rekhangul.kurbanova@zool.kz)

FLOODING OF 2024 IN TURGAY-IRGYZ INTERFLOW: THE IMPACT ON THE BIODIVERSITY ASSESSED BY SATELLITE DATA

Abstract. The impact of extreme flooding in 2024 on the environment and biodiversity was assessed by remote sensing data for the region of Aktobe Oblast. The climatic conditions were compared for dry, wet and moderately wet years along with those during the flooding year 2024. It was demonstrated for remote and sparsely populated areas that using satellite data and cloud calculations represents a reliable method of flood impact assessment. Different possible impacts of flooding events on several components of biodiversity (vegetation, terrestrial vertebrates) are discussed using case studies from other countries.

Keywords: flooding, environmental damage, biodiversity, remote sensing, assessment.

Introduction. Flooding is one of the global natural disasters that usually causes significant damage to ecosystems and the environment. Their magnitude mainly determines the content and extent of the consequences of floods. Depending on the scale, floods are categorised into low, high, outstanding and catastrophic floods [1]:

– Low (small) floods are mainly observed on flat rivers and have a recurrence rate of about once every 5-10 years. These floods cause insignificant material damage and almost no disruption to the rhythm of life of the population.

– High (large) floods, accompanied by significant inundation, cover relatively large river valleys and sometimes significantly disrupt the population's daily life. In densely populated areas, high floods often lead to the need for partial evacuation of people and cause tangible material and moral damage. They occur once every 20-25 years.

– Outstanding floods cover entire river basins. They paralyse the population's economic activity and sharply disrupt people's everyday lives, causing great material and moral damage. In this case, there is a need for mass evacuation of the population and material values from the flood zone and protection of the most critical economic facilities. Such floods occur once every 50-100 years.

– Catastrophic floods cause inundation of territories within one or more river systems. Production and economic activity can be completely paralysed in the flood zone. Such floods cause huge losses and loss of life. They do not occur more often than once every 100-200 years.

In Kazakhstan, the damage from floods in 2024 amounted to almost 400 billion tenge [2,3]. However, this assessment concerns the socio-economic sphere, while the flood impact on the environment and biodiversity has never been attempted. This paper outlines a reliable method to assess the impact of floods on the environment using remote sensing data.

Study area. The study area comprises the territories of Turgay State Reserve and adjacent Irgiz-Turgay Nature Reserve, where fieldwork was conducted in August 2025 (figure 1).

The Turgay State Reserve of republican significance was established in 1967 on the territory of Irgiz district. Currently, the Reserve area is 296,000 ha. The flora is represented by 430 species from 64 families and 216 genera. There are plant species listed in the Red Book of Kazakhstan: Fisher's bird's-foot (*Ornithogalum fischerianum*); two-flowered tulip (*Tulipa biflora*); drooping tulip (*Tulipa patens*); Shrenka's tulip (*Tulipa schrenkii*); pinnate wattle (*Stipa pennata*). The animal world of the Reserve is represented by 29 species of mammals, 14 species of reptiles, 4 species of amphibians and 11 species of

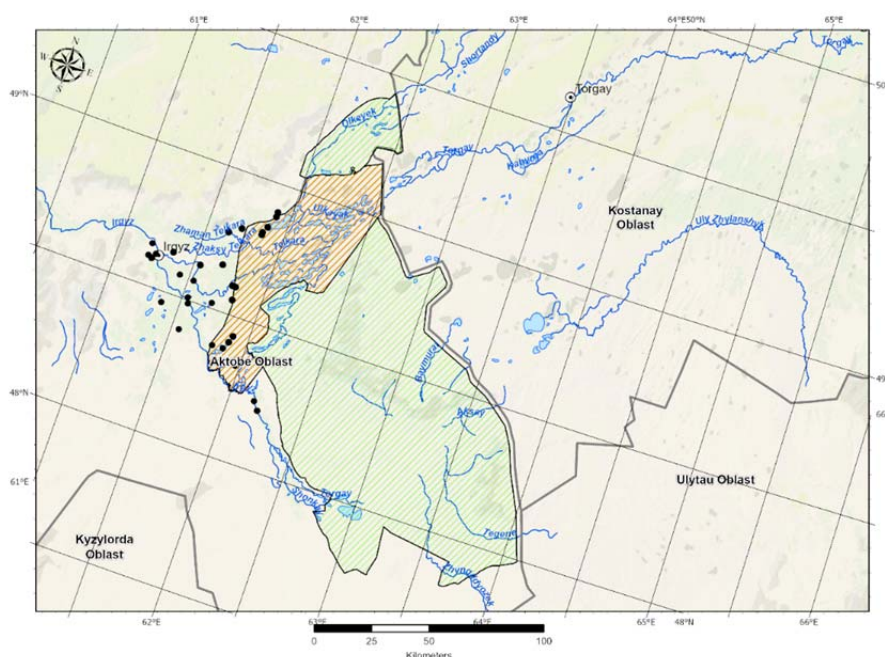


Figure 1 – Study area. Black dots – fieldwork locations, red hatching – Turgay State Nature Sanctuary area; green hatching – Irgiz-Turgay State Nature Reserve area

fish, 170 species of birds, of which 34 are listed in the Red Book of the Republic of Kazakhstan [4]: pink pelican (*Pelecanus onocrotalus*); curlew pelican (*Pelecanus crispus*); spoonbill (*Platalea leucorodia*); grackle (*Plegadis falcinallus*); little white heron (*Egretta garzetta*); flamingo (*Phoenicopterus roseus*); lesser swan (*Cygnus bewickii*); Whooper Swan (*Cygnus cygnus*); Red-breasted Goose (*Branta ruficollis*); Merlin (*Oxyura leucocephala*); Siberian Crane (*Grus leucogeranus*); Grey Crane (*Grus grus*); Whooper Crane (*Anthropoides virgo*); Bustard (*Otis tarda*); Strepset (*Tetrax tetrax*); Jack (*Chlamydotis macqueenii*); Gyrfalcon (*Chettusia gregaria*); Thin-billed Curlew (*Numenius tenuirostris*); Black-billed Crested Grouse (*Larus ichthyæetus*); Black-bellied Grouse (*Pterocles orientalis*); White-bellied Grouse (*Pterocles alchata*); Sedge (*Syrhaptus paradoxus*); Saker Falcon (*Falco cherrug*); peregrine falcon (*Falco peregrinus*); long-tailed eagle (*Haliaeetus leucoryphus*); white-tailed eagle (*Haliaeetus albicilla*); Imperial Eagle (*Aquila heliaca*); golden eagle (*Aquila chrysaetos*); steppe eagle (*Aquila nipaleisis*); osprey (*Pandion haliaetus*); kite (*Circaetus gallicus*); owl (*Bubo bubo*). Due to the extensive reed beds, high numbers of wild boar (*Sus scrofa*) are preserved in the Reserve.

The Irgiz-Turgay Nature Reserve was established to preserve and restore natural complexes to protect habitats (wintering grounds, summering grounds, calving grounds) and migration routes of the saiga antelope, a member of the Betpakdala population. The purpose of the Reserve is also to preserve the unique wetlands of the Irgiz-Turgay lake system, as one of the places of most significant concentration of wetland birds during seasonal migrations and moulting; nesting grounds for flamingos, waterfowl and waterfowl, and fish spawning grounds. The area of the Reserve is 711,549 hectares.

The study area is a part of the Aktobe region. The Aktobe region is comprised of three climatic zones that have latitudinal extents. The northern part of the region lies in the steppe climatic zone, below latitude 50° - semi-desert zone, passing in the south to the shores of the Aral Sea – in the desert zone. The climate is sharply continental. The average annual temperature is positive: in the steppe zone, the average temperature for the year is 3-4 °C; in the more southern semi-desert and desert areas, the temperature rises to 7.5° C. The absolute maximum air temperature in the region varies from 41 to 45 °C in some years. In some years, the absolute minimum air temperature ranges from -40 to -49 °C.

The annual precipitation in the steppe zone averages 240-400 mm; in the semi-desert and desert zones, it equals 150-250 mm. Throughout the territory, a large percentage of precipitation falls during the warm period of the year (from April to October, 58-70%) [5].

Analyzing meteorological data, we found that 2010 was the driest year [6]; summarized precipitation during the vegetation season did not exceed 1.3 mm. 2020 is moderated by a moistening regime [7], and the total precipitation of the vegetation season was about 2.2 mm. During the wettest year (2016), the yearly precipitation was 148 per cent of the norm [8].

Data from the Irgyz meteorological station [9] confirmed the classification of wet, moderate and dry years within the study area.

According to Irgyz station, total rainfall varies from 70.3 mm in the dry 2010 year to 72 mm in moderate 2020 and 122 mm in the wettest 2016 year (figure 2). It should be noted that in 2024, when the flooding occurred, the precipitation was just slightly higher 87.1 mm) if considered the moderately wet year 2020.

Monthly precipitation through several years

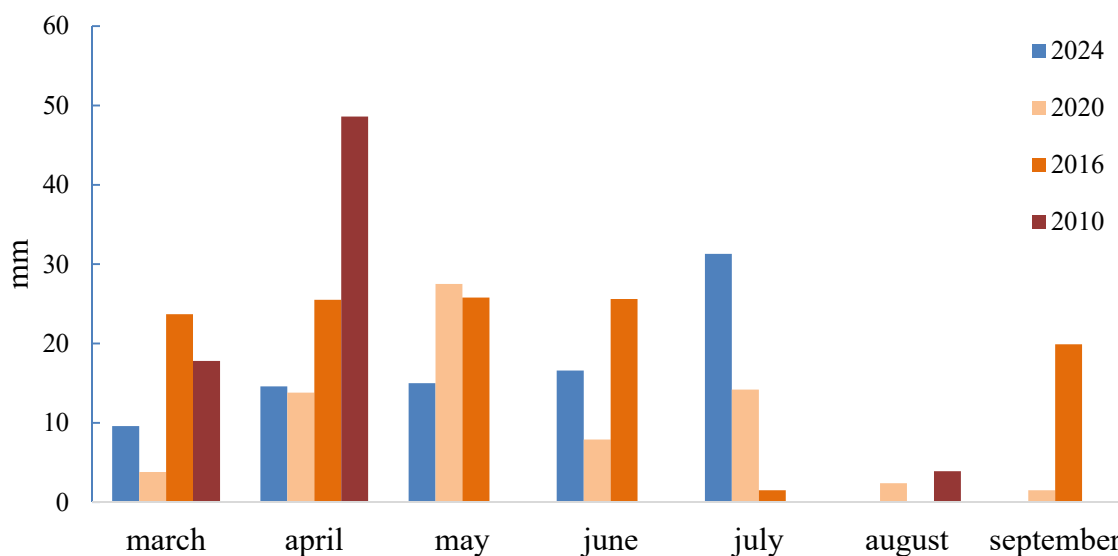


Figure 2 – Monthly precipitation of compared years

Average air temperature (°C) Irgiz weather station

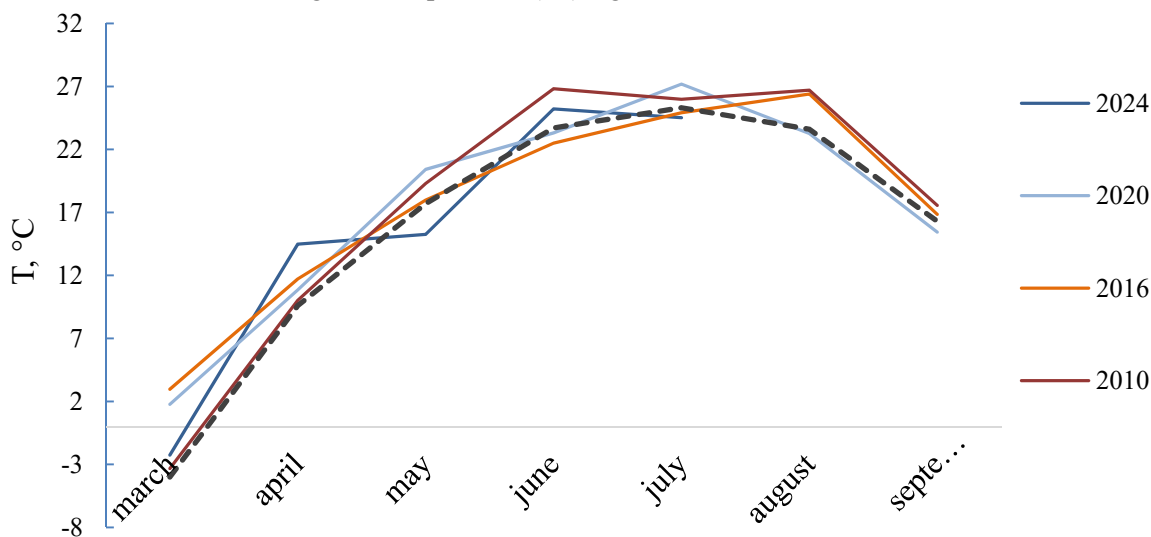


Figure 3 – Average air temperature per month

Temperature dynamics by Irgyz station data demonstrated almost equal values within dry and wet years (figure 3). In the year 2024, the average temperature was even lower compared to other years (2024 (flooding year) – 15.4 Celsius degree; 2020 (moderately wet year) – 17.5 Celsius degree; 2016 (wet year)

– 17.6 Celsius degree; 2010 (dry year) – 17.6 Celsius degree). Figure 3 illustrates the monthly temperature dynamics by Irgyz Station data [9].

Materials and methods. Data on the biodiversity were taken from our field observations and partially provided by colleagues from ACBK.

To calculate the area of waterbodies, we used NDWI (Normalised Difference Water Index) [10]. The index based on the interaction of green and near infrared bands was developed to: a) enhance the spectral response of open water bodies by using the green channel, b) minimize the low NIR-signal of water, and c) enhance the high NIR-signal of vegetation and soil.

NDWI formula is:

$$NDWI = \frac{Green - NIR}{Green + NIR},$$

where Green and NIR are the respective bands of a satellite image. NDWI values greater than zero resemble open water surfaces.

The water bodies area was calculated for May of 2010, 2016, 2020 and 2024, as May was a period of high-standing water in 2024. The average monthly area from cloud-free Sentinel 2 or Landsat 8-9 scenes was calculated using Google Earth Engine.

The EVI index assessed the vegetation condition for moderate 2020 and post-flood 2024 years [11]. August was a reference month since the water level returned to normal in 2024. Change Detection calculations were performed between EVI readings in 2020 and 2024 to assess the possible loss in biomass after the flooding of 2024. EVI and EVI change detection were calculated using Sentinel-2 data by Google Earth Engine.

Results. Fieldwork in the Aktobe region conducted during June and August 2024 revealed a series of deviant phenomena. For exitances, an almost complete absence of waterfowl in June may result from flooded nesting areas. The absence of certain amphibians and reptiles (toads and Grass snakes: our data), is obviously due to shelter inundation. The reduction in the number of birds of prey noted by specialists of the Association for the Conservation of Biodiversity of Kazakhstan (S.Sklyarenko, pers.comm.) may be caused by the lack of rodents, representing the major food base for birds of prey. All listed animals were likely affected by high water levels in spring and summer (figure 4, 5), which resulted in long-term flooding of terrestrial amphibians and reptiles' refuges and their deaths, as well as in flooding of waterbird nesting sites.



Figure 4 – Kargala Reservoir, June 12, 2024. Submerged woody and shrub vegetation



Figure 5 – Territory of the Turgay Nature Sanctuary, August 16, 2024. Dried algae on bushes show the water level during the flood period. The absence of pronounced herbaceous vegetation cover is noticeable

The absence of herbaceous cover and suppression of woody shrub vegetation due to flooding is reflected by EVI calculations (figure 6). The vegetation cover is the fundamental food resource for the number of herbivorous animals. The food deficit caused by prolonged and high flooding should not be underestimated, especially for territories like Nature Reserves, where wild animals are expected to be abundant.

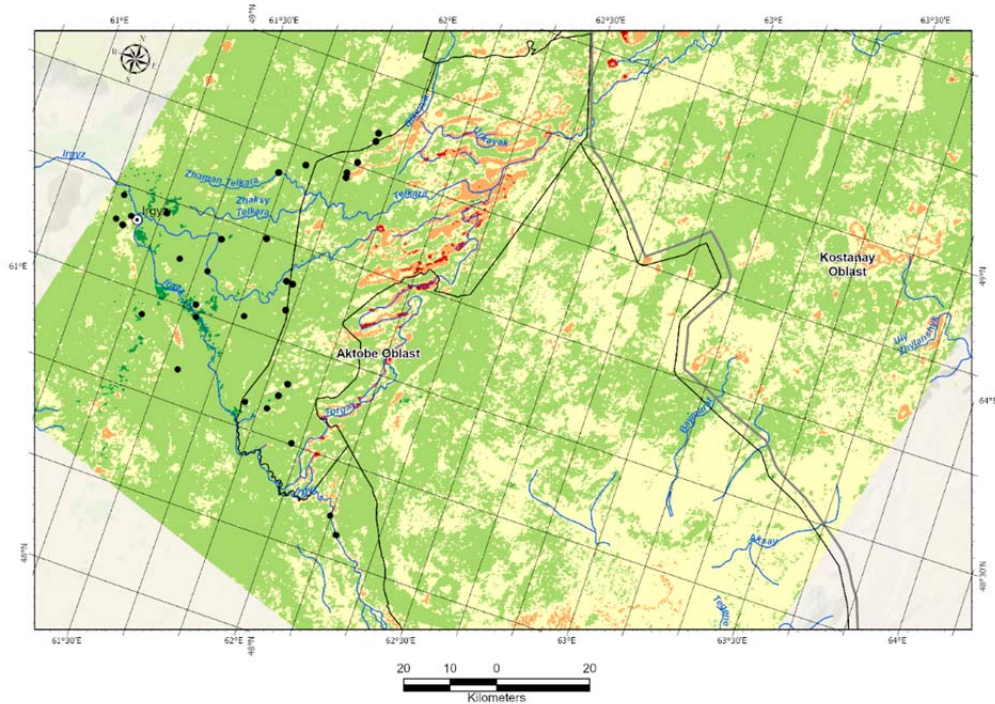


Figure 6 – Change in EVI in 2024 compared to the year of moderate humidification. Red and orange indicated the fall in the level of green biomass

The EVI comparison showed a sharp drop in green biomass in the most productive, near-water environments. Within areas not subject to flooding, the EVI of August 2024 remained at the level of August 2020.

Calculation of water body areas (figure 7) showed that twice as much area was under water in May 2024 compared to a wet year of 2016.

Water area dynamics within dry, moderate, wet and flooded years

	Dry year 2010	Wet year 2016	Moderate year 2020	Flooding year 2024
Waterbodies area, hectares	119 648	273 314	109 820	492 638

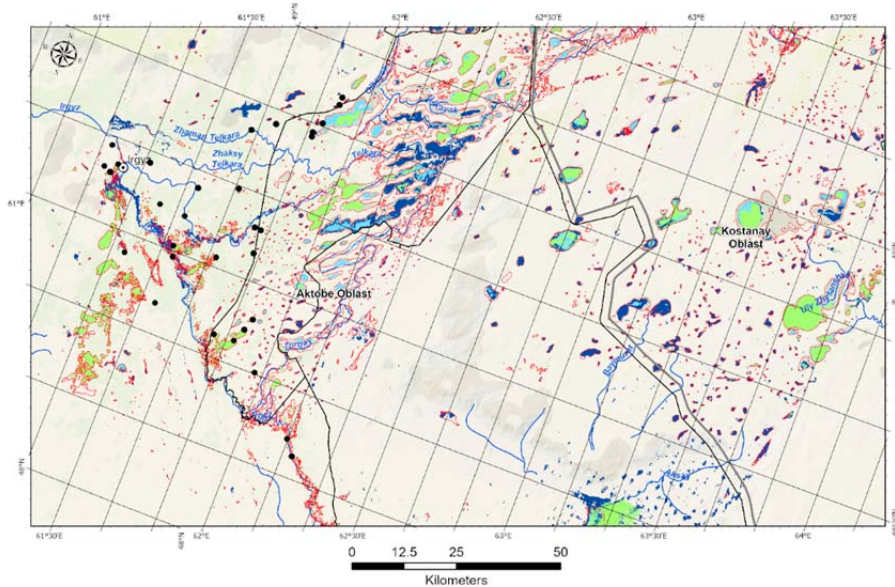


Figure 7 – Water bodies area dynamics. Dark blue – the wet year 2016, blue – the moderate year 2020, green – the dry year 2010, red contour – the flooding year 2024

Discussion. Flood of 2024 can be considered catastrophic for several regions of Kazakhstan [12]. The inundated area of 2024, as shown by our calculation, may provide additional support to this statement.

Floods can significantly impact biodiversity, from individuals and species to communities and ecosystems. Flooding can alter ecosystems' structure and composition, reduce resource availability, increase exposure to pathogens and pollutants, and cause mortality and displacement of species [13]. There is no single point of view, as the impact of prolonged flooding on animals may vary from one climate to another. Regarding ecosystem impacts, as accepted here and below, we are not referring to the immediate effect of killing animals directly affected by flooding but to the larger-scale effects, such as biodiversity loss, change of dominant species, extinction or appearance of species in the flooded area, etc.

Floods seriously affect all terrestrial animals in the submerged area and may lead to their extinction. The degree of impact primarily depends on four main factors: the ratio of flood duration to survival time of animals in floods (D), the ratio of flood depth to plant height (S), the migration ability of animals (M), and temperature (T) [14].

The magnitude of absolute and relative maximum precipitation also influences these four factors. Real et al. [15] suggested that high values of absolute maximum precipitation allow the coexistence of more species in each basin. On the other hand, relative maximum precipitation, which represents the importance of the absolute maximum precipitation about the mean annual precipitation, is an expression of the severity of the disturbance and measures the definitive damage caused by the floods to the communities, whose effects exceed the tolerances of the species.

In particular, flooding of nesting territories is one of the threats to European pond turtles [16]. Our data on the lack of fossorial amphibians, snakes, and lizards provides evidence of the serious disturbance caused by high flooding of herps. The conditions of an extraordinary flood in 1946 in the Volga River, when the entire delta land was under water for a month, are described [17]. During the flood, amphibians and reptiles persist only in so-called "experience stations", e.g., in reed beds, in emerged haystacks and reed beds. Cannibalism - feeding on their own juveniles - is widespread in frogs during high-standing water, when the usual food objects - terrestrial insects - are inaccessible. Common Grass snakes swallow prey on land, and the snakes' feeding conditions worsen under flood conditions. In addition, the absence of frogs, concentrated in "survival stations", leads to further deterioration of feeding conditions for snakes.

High floods lead to later breeding dates for reptiles due to a lack of suitable staging areas or, as in the case of the leaping lizard, high soil moisture [18]. Late oviposition and, consequently, late hatching lead to the mortality of juveniles who have not had time to gain weight before winter.

Herps, in general, are less able than other terrestrial vertebrates to avoid drowning and slower to recolonise after floods subside – they are susceptible to flooding [18].

Regarding birds, a diving predator, like the kingfisher, did not suffer from starvation, whereas chasing predators like the great cormorant face certain food limitations [19].

Duration and intensity of flood determine the effect on the small mammal community, but this effect lasts less than one year. Even in the years of the highest flood, the number of small mammal species and their abundance was already high by summer to autumn. Thus, restoration occurred in just a few months in the territory of our study [20]. However, severe flash floods have a heavier toll on terrestrial fauna, and a single such flood has been shown to have catastrophic effects on populations and disrupt gene flow in aquatic and terrestrial animals [18].

Vegetation cover is less vulnerable to short-term high floods; however, [21] floods may have elevated the growth and spread of **invasive species** with enough potential to deplete the species density and abundance of the native population.

The intermediate disturbance hypothesis is the most prominent theory relating disturbance to species diversity, which predicts maximum diversity in environments that experience moderate disturbance [22].

According to this theory, intermediate-magnitude disturbance removes only a subset of the preexisting vegetation, thus making only a portion of the affected area available for colonisation. Diversity is enhanced by the combination of disturbance survivors and newly arrived disturbance exploiters [22]. In riparian settings, flooding is a significant form of disturbance. A flood's destructive impact may be felt in several ways: through the imposition of anaerobic conditions by inundation, the mechanical breakage of plants by floodwaters and/or the sediment they carry, or through erosion of the substrate in which the plants are rooted. Apart from the direct impact on vegetation, alteration of site conditions is particularly significant at flood-affected sites where the deposition of fresh alluvial substrate further facilitates colonization by new species.

However, inter-annual severe floods and droughts can impact the biome ecosystem and, consequently, affect the local ecological communities, causing damage to regional wildlife and livestock. These extreme inter-annual events of floods and droughts are the result of regional climate changes, but their effects have exacerbated the risks of hydrological extremes due to human intervention and land use changes, such as deforestation, with consequences even more pronounced because of human environmental disruptions [23]. Seasonal flood pulses drive important seasonal ecosystem changes, trigger ecological processes that control organisms' spatial and temporal distribution and life-history strategies, and are considered a key ecological process that shapes floodplain diversity [19].

Conclusion. Despite the lack of a unified point of view on how floods affect the state of biodiversity, it should be recognised that high and catastrophic floods have a profound negative effect, which is expressed in the disappearance of certain species of animals and plants and the replacement of native species by invasive species. A separate factor of disturbance of the natural state of ecosystems, which may have long-term consequences, is the decline in ecosystem productivity. We are unaware of any special studies devoted to this issue. However, we can assume a decrease in the number of ungulates (in our case, wild boar and saiga) due to a lack of fodder supply or migration of ungulates outside their natural range. For vast areas, like the area of Nature Reserves mentioned here, objective control and damage estimation methods strongly depend on the infrastructure and logistics of a given area. In the case of this study, we did not meet any staff of the Reserves during our fieldwork, and we were unable to find comprehensive information on the flooding effect on biodiversity provided by the local administration. In such a situation, when the localities are remote and hard to access during the flooding event, the remotely sensed approach appears as the reliable method of quick and objective assessment, allowing objective assess changes in ecosystem productivity caused by floods and, in case of significant negative changes, to take specific steps to conserve biodiversity in areas affected by catastrophic floods.

Acknowledgements. Fieldwork and satellite data analysis were funded by the Committee of Science of the Ministry of Science and Higher Education of the Republic of Kazakhstan (Grant No. BR21882122). Our thanks are due to the two anonymous reviewers for providing useful comments that helped us to improve the manuscript.

REFERENCES

- [1] Nigmatov G. M., Filatov Y. A., Pchelkin V. I., Yuzbekov N. S. Tendency of growth of catastrophic floods on the territory of the Russian Federation // *Civil Security Technologies*. 2003. No. 1-2. P.37-44 (in Russ.).
- [2] [Electronic resource]. URL: <https://newtimes.kz/obshchestvo/199717-navodnenie-v-kazahstane-2024-goda-itogi> (accessed 04.10.2024) (in Russ.).
- [3] [Electronic resource]. URL: <https://24.kz/ru/tv-projects/aktsenty/item/672991-ushcherb-ot-pavodkov-v-kazahstane-prevysil-300-mlrd-aktsenty> (accessed 04.10.2024) (in Russ.).
- [4] Red Book of the Republic of Kazakhstan. Volume 1. Animals. Edited by Dr. R.V. Yashchenko. Edition 5th, revised and supplemented. Almaty: Institute of Zoology CS MSHE RK, 2024. 532 p.
- [5] [Electronic resource]. URL: <https://www.kazhydromet.kz/ru/klimat/klimat-kazahstana-po-oblastyam> (accessed 01.12.2024) (in Russ.).
- [6] Annual bulletin of monitoring of the state and climate change of Kazakhstan: 2010 - Astana: Republican State Enterprise 'Kazgidromet', Ministry of Environmental Protection of the Republic of Kazakhstan, 2011. 32 p. [Electronic resource]. URL: <https://www.kazhydromet.kz/ru/klimat/ezhegodny-byulleten-monitoringa-sostoyaniya-i-izmeneniya-klimata-kazahstana> (accessed 04.10.2024) (in Russ.).
- [7] Annual bulletin of monitoring of the state and climate change of Kazakhstan: 2020 - Nur-Sultan: Research Centre. Republican State Enterprise 'Kazgidromet'. Ministry of Ecology, Geology and Natural Resources, 2021. 67 p. [Electronic resource]. URL: <https://www.kazhydromet.kz/ru/klimat/ezhegodny-byulleten-monitoringa-sostoyaniya-i-izmeneniya-klimata-kazahstana> (accessed 04.10.2024) (in Russ.).
- [8] Annual bulletin of monitoring of the state and climate change of Kazakhstan: 2016 - Astana: Research Centre. Kazgidromet Republican State Enterprise. Ministry of Energy, 2017. 58 p. [Electronic resource]. URL: <https://www.kazhydromet.kz/ru/klimat/ezhegodny-byulleten-monitoringa-sostoyaniya-i-izmeneniya-klimata-kazahstana> (accessed 04.10.2024) (in Russ.).
- [9] [Electronic resource]. URL: http://ecodata.kz:3838/dm_climat_ru/ (accessed 01.12.2024) (in Russ.).
- [10] McFeeters S. K. (1996) The use of the Normalized Difference Water Index (NDWI) in the delineation of open water features // *International Journal of Remote Sensing*, 17:7. P. 1425-1432. DOI:10.1080/01431169608948714
- [11] Huete A., Didan K., Miura T., Rodriguez E. P., Gao X., Ferreira L. G. Overview of the radiometric and biophysical performance of the MODIS vegetation indices. *Remote Sensing of Environment* 83 (2002) P. 195-213. DOI:10.1016/S0034-4257(02)00096-2
- [12] Medeu A.R., Makhmudova L.K., Myrzakhmetov A.B., Zagidullina A.R. Kanai M. (2024). Flood situation on the river Zhayk (Ural) in 2024. *Geography and water resources*. No. 4. P. 14-23 (in Russ.).
- [13] Ebrahimi E., Araújo M. B., Naimi B. Flood susceptibility mapping to improve models of species distributions // *Ecological Indicators* 157 (2023). <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2023.111250>
- [14] Yadong Zhang, Zongkun Li, Wei Ge, Xudong Chen, Hongyin Xu, Hongyan Guan. Evaluation of the impact of extreme floods on the biodiversity of terrestrial animals // *Science of the Total Environment* 790 (2021). 12 p. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2021.148227
- [15] Real R., Vargas J. M., Antiunez A. Environmental influences on local amphibian diversity: the role of floods on river basins // *Biodiversity and Conservation* 2. P. 376-399 (1993).
- [16] Mieza-Paez E., Martínez-Martínez D., Tarragó A., Such Sanz A., Nogués Vera J. (2016). Current situation and environmental factors affecting the distribution of *Emys orbicularis* in Sèquia Major (NE Iberian Peninsula) in syntopy with *Mauremys leprosa*. *Basic and Applied Herpetology* 30 P. 47-59.
- [17] Dinesman L. G. 1950. The role of floods in the ecology of amphibians and reptiles of the Volga delta (To the question of the influence of floods on the forage base of vertebrates) // *Bulletin of MOIP, Department of Biology*. Vol. LV (5). P. 53-58 (in Russ.).
- [18] Crowley G. M., Preece N. D. (2019) Does extreme flooding drive vegetation and faunal composition across the Gulf Plains of north-eastern Australia? // *Austral Ecology* 44. P. 1256-1270.
- [19] Čech M., Čech P. The role of floods in the lives of fish-eating birds: predator loss or benefit? // *Hydrobiologia* (2013) 717:203-211. DOI 10.1007/s10750-013-1625-3
- [20] Balčiauskas L., Balčiauskienė L., Janonytė A. The influence of spring floods on small mammal communities in the Nemunas River Delta // *Lithuania. Biologia* 67/6: 1220-1229, 2012. Section Zoology. DOI: 10.2478/s11756-012-0116-8
- [21] Aleem Yoosuf N., Unaisudheen T.P. Impact of flood on biodiversity of Kerala: A case study from Malappuram district of Kerala, India // *International Research Journal of Environmental Sciences*. Vol. 10(4), 8-19, October (2021).
- [22] Bendix J. Flood disturbance and the distribution of Riparian species diversity. *The Geographical Review*, 87 (4): 48-43. October (1997).
- [23] Cleber J. R. Alho, João S. V. Silva. (2012). Effects of Severe Floods and Droughts on Wildlife of the Pantanal Wetland (Brazil) A Review. *Animals*, 2, 591-610; DOI:10.3390/ani2040591.

Д. В. Малахов*¹, О. В. Долбня², Р. А. Құрбанова³

¹*ЖҚЗ және ГАЖ бөлімінің меңгерушісі

(Зоология институты, Алматы, Қазақстан; dmitry.malakhov@zool.kz)

² Ғылыми қызметкер

(Зоология институты, ЖҚЗ және ГАЖ бөлімі, Алматы, Қазақстан; olga.dolbnya@zool.kz)

³ Кіші ғылыми қызметкер

(Зоология институты, ЖҚЗ және ГАЖ бөлімі, Алматы, Қазақстан; rekhangul.kurbanova@zool.kz)

ТОРҒАЙ-ЫРҒЫЗ ӨЗЕНДЕРІ АРАЛЫҒЫНДАҒЫ 2024 ЖЫЛҒЫ СУ ТАСҚЫНЫ: ЖАСАНДЫ ЖЕР СЕРІКТЕР ДЕРЕКТЕРІ БОЙЫНША БИОӘРТҮРЛІЛІККЕ ӘСЕРІ

Аннотация. Қашықтан зондтау деректеріне сүйене отырып, Ақтөбе облысы аумағында 2024 жылы орын алған төтенше су тасқынының қоршаған орта мен биоәртүрлілікке әсері бағаланды. Нәтижесінде құрғақ, ылғалды және орташа ылғалды жылдардағы климаттық жағдайлары мен 2024 жылғы су тасқыны кезіндегі жағдайлар салыстырылды. Шалғай және сирек қоныстанған аудандар үшін жасанды жер серіктер деректерін пайдаланумен, бұлттылықты есептеу негізінде аймақтағы су тасқынының әсерін бағалаудағы сенімді әдіс екені анықталды. Басқа елдердің мысалында су тасқынының биоәртүрліліктің кейбір құрамдас бөліктеріне (өсімдік жамылғысына, құрлықтағы омыртқалыларға) ықтимал салдарлары талқыланды.

Түйін сөздер: су тасқыны, экологиялық залал, биоәртүрлілік, қашықтықтан зондтау, бағалау.

Д. В. Малахов*¹, О. В. Долбня², Р. А. Курбанова³

¹*Заведующий отделом ГИС и ДЗЗ (Институт зоологии, Алматы, Казахстан; dmitry.malakhov@zool.kz)

² Научный сотрудник (Отдел ГИС и ДЗЗ, Институт зоологии, Алматы, Казахстан; olga.dolbnya@zool.kz)

³ Младший научный сотрудник (Отдел ГИС и ДЗЗ, Институт зоологии, Алматы, Казахстан;
rekhangul.kurbanova@zool.kz)

НАВОДНЕНИЕ 2024 ГОДА В ТОРГАЙ-ИРГИЗСКОМ МЕЖДУРЕЧЬЕ: ВЛИЯНИЕ НА БИОРАЗНООБРАЗИЕ ПО СПУТНИКОВЫМ ДАННЫМ

Аннотация. По данным дистанционного зондирования для Актюбинской области проведена оценка воздействия экстремального паводка 2024 г. на окружающую среду и биоразнообразие. Сравнивались климатические условия для сухого, влажного и умеренно влажного годов, а также условия в год наводнения 2024 года. Для отдаленных и малонаселенных районов было показано, что использование спутниковых данных и облачных расчетов является надежным методом оценки воздействия наводнений. Обсуждаются различные возможные последствия наводнений для некоторых компонентов биоразнообразия (растительности, наземных позвоночных) на примере других стран.

Ключевые слова: наводнение, экологический ущерб, биоразнообразие, дистанционное зондирование, оценка.

<https://doi.org/10.55764/2957-9856/2025-1-31-40.4>

МРНТИ 52.01.11

УДК 551.579

Н. Т. Кемербаев¹, К. Б. Самарханов^{*2}, Г. А. Мусина³, М. Х. Шкиева⁴

¹ К. т. н., генеральный директор (ТОО «GeoID», Астана, Казахстан; n.kemberbaeyev@geo-id.kz)

^{2*} К. г. н., заместитель директора по R&D, главный научный сотрудник (ТОО «GeoID», Международный научный комплекс «Астана», Астана, Казахстан; kanat.baurzhanuly@gmail.com)

³ Начальник отдела камеральной обработки (ТОО «GeoID», Астана, Казахстан; g.mussina@geo-id.kz)

⁴ Заместитель руководителя отдела обработки пространственных данных и ДЗЗ (ТОО «GeoID», Астана, Казахстан; maral.shkiyeva@gmail.com)

ОПЫТ УЛУЧШЕНИЯ ПРОСТРАНСТВЕННОГО РАЗРЕШЕНИЯ ДАННЫХ СПУТНИКОВОЙ ГРАВИМЕТРИИ GRACE ДЛЯ БАССЕЙНА РЕКИ ЖАЙЫК (УРАЛ) С ПРИМЕНЕНИЕМ МАШИННОГО ОБУЧЕНИЯ

Аннотация. Представлено исследование по использованию машинного обучения для улучшения пространственного разрешения спутниковых гравиметрических данных GRACE для бассейна реки Жайык (Урал). Работа направлена на решение проблемы низкого пространственного разрешения данных GRACE, что затрудняет детальный анализ водных ресурсов на региональном уровне. Методология исследования использует статистический метод уменьшения масштаба с использованием модели Random Forest. Для улучшения пространственного разрешения использовались дополнительные наборы данных, включающие цифровую модель рельефа, индексы растительности (NDVI) и индексы водной поверхности (NDWI). Результаты исследования продемонстрировали эффективность предлагаемой методологии: улучшенные данные обеспечивают более точное распределение эквивалентной толщины водного слоя при сохранении общих статистических свойств. Коэффициент корреляции Пирсона составил 0,9424, что означает существенную степень надежности результатов. Практическая значимость этого исследования заключается в перспективном применении разработанного подхода для улучшения оценки водных ресурсов, прогнозирования гидрологических событий и разработки планов по адаптации к изменению климата в бассейне реки Жайык.

Ключевые слова: гравиметрия, GRACE, Казахстан, машинное обучение, гидрология, цифровая модель рельефа, пространственное разрешение.

Введение. Спутниковая миссия (GRACE) преобразила дистанционное зондирование гравитационного поля Земли, предложив исключительные возможности для мониторинга изменений в мировых водных ресурсах [1]. Однако ограниченное пространственное разрешение данных GRACE (55-111 км) уменьшает их полезность для региональных и локальных исследований. Это особенно актуально для бассейна реки Жайык (Урал), имеющего важное экологическое и экономическое значения для Республики Казахстан и Российской Федерации [2]. Жайык является жизненно важным источником питьевой воды, поддерживающим сельскохозяйственный и промышленный потенциал и баланс экосистемы на прилегающих территориях. В последние десятилетия наблюдаются изменение климата, увеличение антропогенной нагрузки, недостаток водных ресурсов, что в свою очередь требует развития современных методов мониторинга и управления водными ресурсами. Наблюдаемые колебания климата и неравномерность его изменения затрудняют прогнозирование водности реки и управление водными последствиями [3, 4].

Глобальные климатические изменения вносят коррективы в проведение научно-исследовательской деятельности и постоянного контроля за получением актуальной информации в сфере экологии, состояния водных ресурсов и влияния климата на сельскохозяйственное производство в стране. Эксплуатация водных ресурсов, изменение ландшафтов – все это требует использования современных методов исследований с применением спутниковых данных [5].

В связи с участившимися паводками в Республике Казахстан в весенний период возникает необходимость в проведении исследований в области прогнозирования таких ситуаций [6]. Для них необходима актуальная гидрологическая информация, которую можно получить с помощью

спутниковых платформ GRACE-FO [7]. Данные GRACE показывают результаты измерений гравитации в связи с месячными изменениями массы. В свою очередь, измеряемая масса – это изменения гравитации, вызванные изменениями объема воды в водохранилищах, морях и океанах, атмосферной влаги и ледников, состояние обмена между ними. Это облегчает возможность получения и обработки информации. Вертикальные пределы водной массы измеряются в сантиметрах, которые называют эквивалентной толщиной водного слоя.

Машинное обучение (Machine learning, ML) является перспективным инструментом для повышения пространственного разрешения данных дистанционного зондирования через алгоритмы, которые могут анализировать большие объемы данных и выявлять скрытые связи между различными переменными. Для этого используется метод улучшения пространственного разрешения (downscaling), который преобразует выходную информацию глобальной модели с низким разрешением в модель с высоким пространственным разрешением. К основным методам уменьшения пространственного масштабирования относятся метод динамического уменьшения масштаба и метод статистического уменьшения масштаба [8]. В отличие от метода динамического масштабирования метод статистического масштабирования позволяет гибко строить модели и вводить коэффициенты моделирования с высоким разрешением, что значительно улучшает пространственное разрешение гидрологических переменных [9]. В этой статье применен нелинейный статистический метод уменьшения масштаба – уменьшение масштаба на основе модели Random Forest. Применение машинного обучения для исследований на территории Казахстана описано в работе [10], метода улучшения пространственного разрешения – в [11, 12], модели Random Forest – в [13]. Применение алгоритмов улучшения пространственного разрешения предполагает использование различных независимых переменных, включая топографию [14].

Цель этого исследования – разработка метода масштабирования GRACE с использованием машинного обучения и вспомогательных данных дистанционного зондирования Земли. Основные задачи включают этапы формирования обучающего набора на основе данных Sentinel-2, FABDEM и GRACE, а также обучения модели Random Forest для прогнозирования эквивалентной толщины слоя воды (LWE Thickness). Предлагаемая методика позволит увеличить детализацию данных GRACE для более точного мониторинга изменений водных ресурсов в бассейне р. Жайык. Будущая валидация позволит сравнить результаты с наземными измерениями РГП «Казгидромет» и полевыми исследованиями.

Материалы и методы. Ниже приведены данные, использованные в этом исследовании (таблица 1). Набор включает географические данные о характеристиках поверхности, обзор географии бассейна, гидрологических ресурсов и растительного покрова. Набор данных WWF HydroSHEDS используется для определения границ бассейна.

Таблица 1 – Исходные данные, использованные для улучшения пространственного разрешения эквивалентной толщины водного слоя реки Жайык (Урал)

Table 1 – Input data used to improve the spatial resolution of the equivalent water layer thickness of the Zhaiyk River (Ural)

Тип данных	Источник	Год	Разрешение, м	Параметры	Применение
Границы бассейна	WWF HydroSHEDS v1 [15]	2000	Уровень 4	HYBAS_ID 2040067740	Определение области интереса
Данные космической гравиметрии	NASA GRACE MASS GRIDS V03 [16]	2024 (март)	55 660	Толщина эквивалентного слоя воды (LWE)	Основной параметр для улучшения разрешения
Цифровая модель рельефа	FABDEM [17]	2000	30	Высота над уровнем моря	Входной параметр для модели
Космические снимки	Copernicus Sentinel-2 [18]	2023-2024 (март-октябрь)	10	Мультиспектральные данные	Расчет индексов, входные данные для модели
Уклон местности	Производный от FABDEM	–	30	Градус уклона	Входной параметр для модели
Индекс растительности	NDVI, рассчитанный из Sentinel-2 [19]	2023-2024 (март-октябрь)	10	От -1 до 1	Входной параметр для модели
Водные поверхности	NDWI, рассчитанный из Sentinel-2 [20]	2023-2024 (март-октябрь)	10	От -1 до 1	Создание водной маски

Набор данных WWF HydroSHEDS используется для определения границ бассейна. Данные GRACE служат основным источником для получения результата с высоким пространственным разрешением, тогда как дополнительные наборы данных предлагают дополнительные входные данные для моделирования и анализа. Они обеспечивают эквивалентные измерения толщины воды с пространственным разрешением 55 км за март 2024 года.

Извлечение информации об уклоне проводится с использованием цифровых данных высоты высокого разрешения (30 м) из модели FABDEM. Индексы растительности (NDVI) и воды (NDWI) вычислялись по оптическим спутниковым изображениям Sentinel-2 с марта по октябрь 2023–2024 годов с пространственным разрешением 10 м.

Такая интеграция источников данных позволяет проводить комплексный анализ параметров окружающей среды и водных ресурсов в выбранном речном бассейне.

Алгоритм улучшения пространственного разрешения данных, полученных с GRACE-FO.

Представлен подход, использующий методы машинного обучения для улучшения пространственного разрешения данных GRACE для бассейна реки Жайык (Урал). Он направлен на устранение недостатков текущих продуктов GRACE и на лучшее понимание пространственно-временной динамики водных ресурсов в исследуемой области.

Улучшение географического разрешения данных GRACE имеет три основных преимущества:

- повышение точности оценки водных ресурсов на уровне суббассейна, способность обнаруживать тенденции и региональные аномалии;

- повышение эффективности объединения данных GRACE с другими источниками географических данных;

- использование методов машинного обучения для решения этой проблемы открывает новые возможности для обработки и интерпретации спутниковых гравиметрических данных.

Для улучшения пространственного разрешения данных, полученных с GRACE-FO, построен алгоритм, включивший предварительную обработку и применение модели Random Forest (рисунок 1).

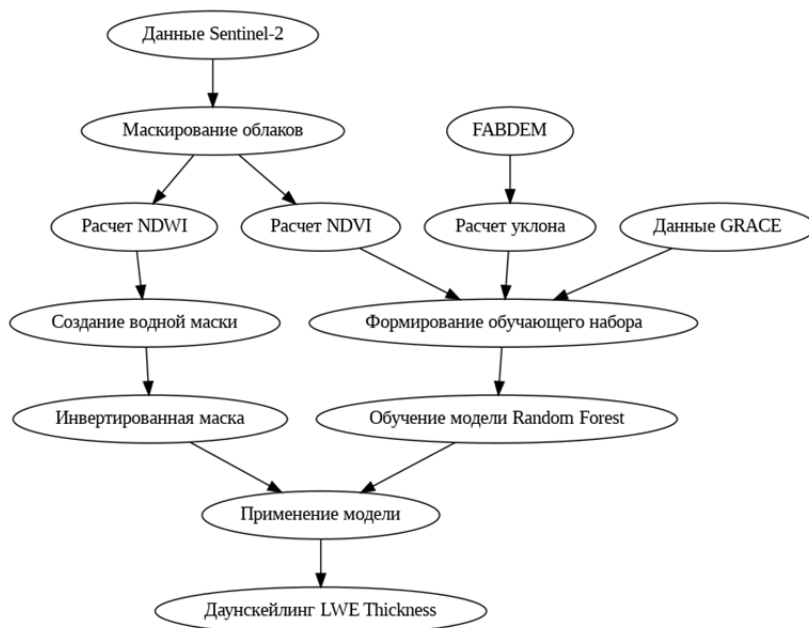


Рисунок 1 – Алгоритм улучшения пространственного разрешения данных, полученных с GRACE-FO

Figure 1 – Algorithm for improving the spatial resolution of GRACE-FO data

Для реализации алгоритма подготовлен и применен код на языке JavaScript на платформе Google Earth Engine [21]. Ниже описано содержание алгоритма.

Предварительная обработка данных. Для уменьшения влияния облаков на изучаемые данные на снимках Sentinel-2 использовалась процедура маскировки облаков. Она выполнялась с применением канала QA (оценки качества) снимков Sentinel-2, который предоставляет данные о качестве пикселей, включая наличие облаков и перистых облаков.

Для построения модели использовались следующие предикторы:

1. Топографические особенности. Топографические характеристики (ЦМР FABDEM) включены для учета влияния рельефа на распределение водных ресурсов. Включена высота над уровнем моря, полученная из данных FABDEM. Затем рассчитывается градиент рельефа для каждого пикселя ЦМР. Используемый алгоритм анализирует четыре соседних пикселя для определения локального градиента поверхности.

2. Индекс растительности. Для оценки состояния растительности рассчитан нормализованный разностный индекс растительности (NDVI). Данные Sentinel-2 с марта по октябрь 2023-2024 годов использовались для оценки сезонных закономерностей фенологических фаз растительности. Нами использованы каналы 8 (842 нм) и 4 (665 нм) спутника Sentinel-2. Значения NDVI варьируются от -1 до +1, причем повышенные значения указывают на большую плотность и активность растительности.

3. Маска воды. Нормализованный разностный индекс воды (NDWI) находится для установления маски поверхности воды. Спутник Sentinel-2 использовал каналы 8 (842 нм) и 3 (560 нм). NDWI позволяет идентифицировать водоемы и оценивать содержание влаги. Значения NDWI варьируются от -1 до +1, причем значения, превышающие 0,5, указывают на наличие водоемов. Пиксели, показывающие значения NDWI выше определенного порога, классифицируются как вода и используются для исключения водоемов из процедуры улучшения пространственных данных GRACE.

Улучшение пространственного разрешения. Показан результат использования алгоритма Random Forest – метода машинного обучения для улучшения пространственного разрешения данных GRACE. Этот подход был выбран из-за его способности умело управлять нелинейными зависимостями и его устойчивости к переобучению [22]. По определению автора метода, Random Forest – это классификатор, состоящий из набора древовидных классификаторов $\{h(x, \theta_k), k = 1, \dots\}$, где $\{\theta_k\}$ являются независимыми одинаково распределенными случайными векторами, и каждое дерево отдает единичный голос за самый популярный класс на входе x .

Эквивалентное значение толщины воды из данных GRACE выступало в качестве зависимой переменной, тогда как абсолютная высота, уклон и NDVI служили независимыми переменными. Обученная модель использовалась на наборе данных высокого разрешения для получения улучшенной оценки толщины LWE. В приложении модели применялась инвертированная водная маска, что облегчало исключение водоемов из процедуры уменьшения масштаба.

Методика оценки надежности полученного результата. При оценке надежности полученного результата применены метод расчета корреляции Пирсона, коэффициент детерминации, коэффициент статистической значимости корреляции и среднеквадратическое отклонение значений. Для этого на район исследований создан векторный полигональный слой с разбиением на прямоугольные сегменты. На каждый сегмент извлечена статистическая информация по исходному и производному (улучшенному) набору данных GRACE.

Результаты и их обсуждение. *Статистическое описание предикторов.* В рамках исследования были проанализированы основные параметры, характеризующие рельеф и растительный покров бассейна реки Жайык. Статистическое описание этих параметров представлено в таблице 2.

Анализ данных цифровой модели рельефа (FABDEM) показывает значительное колебание высотных отметок в исследуемом регионе (рисунок 2, а). Минимальная высота равна -27,9 м, что соответствует прибрежной зоне Каспийского моря. Максимальная высота составляет 1061,2 м в возвышенностях горной цепи Мугалжар (Урал) в верхней части бассейна.

Таблица 2 – Параметры высот, уклона и NDVI

Table 2 – Elevation, slope and NDVI parameters

Параметры	FABDEM, м	Уклон, град.	NDVI
Минимум	-27,982	0,000	-0,129
Максимум	1061,216	18,630	0,580
Среднее	249,850	0,867	0,174
Медиана	243,872	0,561	0,154
Стандартное отклонение	157,187	1,021	0,078

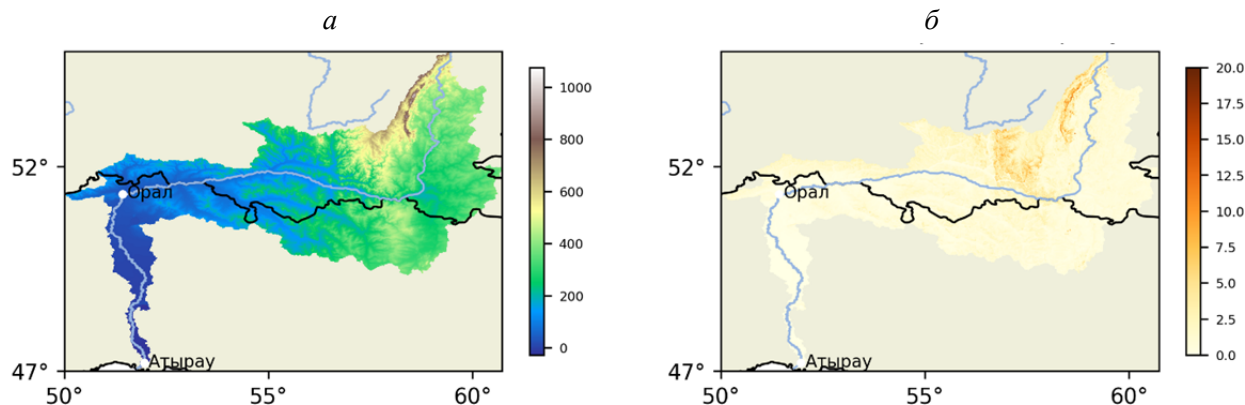


Рисунок 2 – Топографические данные бассейна реки Жайык (Урал):
a – абсолютная высота (FabDEM), м; *б* – уклон поверхности, град.

Figure 2 – Topographic data of the Zhaiyk River basin (Ural):
a – absolute height (FabDEM), m; *b* – surface slope

Средняя высота составляет 249,85 м, хотя медиана равна 243,87 м, что указывает на преобладание ровных и умеренно волнистых ландшафтов. Значительное стандартное отклонение (157,187 м) подразумевает большое разнообразие высот по всему бассейну.

Анализ уклонов рельефа выявляет преимущественно ровный характер рельефа (см. рисунок 2, *б*). Медиана составляет 0,561°, средний уклон – 0,867°. При максимальном уклоне 18,630° ограниченные области с большей высотой показывают свое присутствие либо в верховьях реки, либо на крутых склонах. Стандартное отклонение уклона 1,021° указывает на незначительное изменение этого значения по бассейну.

Нормализованный индекс разности растительности (NDVI) помогает оценить состояние растительного покрова (рисунок 3, *а*).

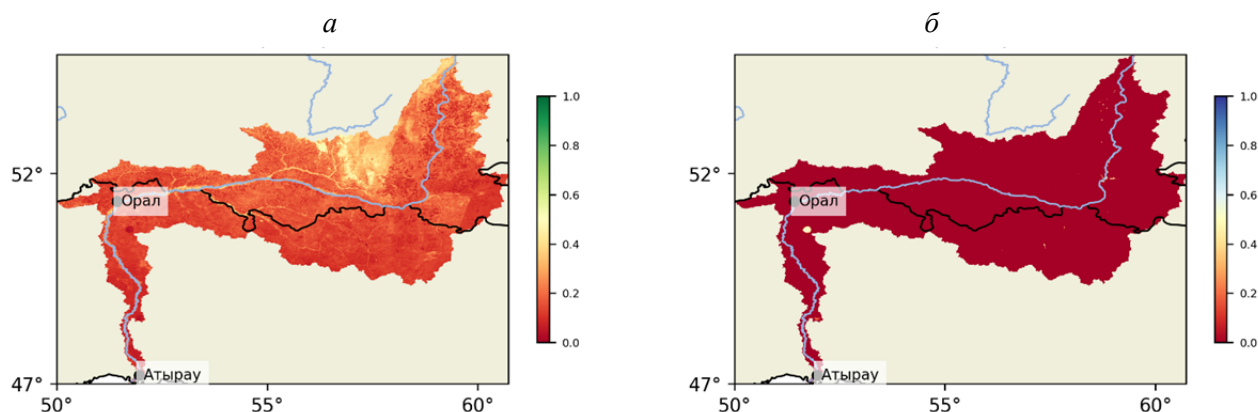


Рисунок 3 – Спектральные индексы на бассейн реки Жайык (Урал): *a* – NDVI; *б* – NDWI

Figure 3 – Spectral indices for the Zhaiyk River basin (Ural): *a* – NDVI; *b* – NDWI

Среднее NDVI составляет 0,174, тогда как медиана – 0,154, что предполагает довольно ограниченный рост растительности, типичный для степных и полупустынных сред. Области с более густой растительностью, вероятно в пойменных или орошаемых зонах, четко видны с максимальным показателем NDVI 0,580.

При минимальном показателе NDVI -0,129 водные поверхности или области, отмеченные редкой растительностью, наверняка себя проявят. Среднеквадратическое отклонение NDVI, составляющее 0,078, указывает на небольшую степень вариации растительного покрова в бассейне. Распределение водных ресурсов зависит от особенностей рельефа и растительности, поэтому они могут существенно влиять на результаты масштабирования данных GRACE. В то время как

изменения высоты и уклона могут влиять на локальные гидрологические процессы, изменения NDVI отражают изменения в эвапотранспирации и потреблении воды растительностью по всему бассейну.

Рассчитан нормализованный индекс водной поверхности NDWI (см. рисунок 3, б) и создана маска водной поверхности для анализа.

Исходные и улучшенные данные GRACE. Представлены результаты улучшения пространственного разрешения данных толщины LWE GRACE в бассейне реки Жайык посредством применения метода уменьшения масштаба. В таблице 3 приведены сравнительные результаты между исходными и улучшенными данными.

Таблица 3 – Сравнение исходных и улучшенных данных толщины эквивалентного слоя воды (LWE, см)

Table 3 – Comparison of original and improved water equivalent layer thickness (LWE, cm) data

Параметры	Исходные данные	Улучшенные данные	Изменение
Среднее значение	9,735	9,660	-0,075
Медиана	11,591	10,374	-1,217
Стандартное отклонение	7,445	5,980	-1,465
Минимальное значение	-16,119	-16,119	0
Максимальное значение	19,657	19,657	0

Визуализация исходных (рисунок 4, а) и улучшенных данных толщины эквивалентного водного слоя (см. рисунок 4, б) наглядно показывает, каким образом распределена вода на выбранную дату по бассейну реки Жайык (Урал).

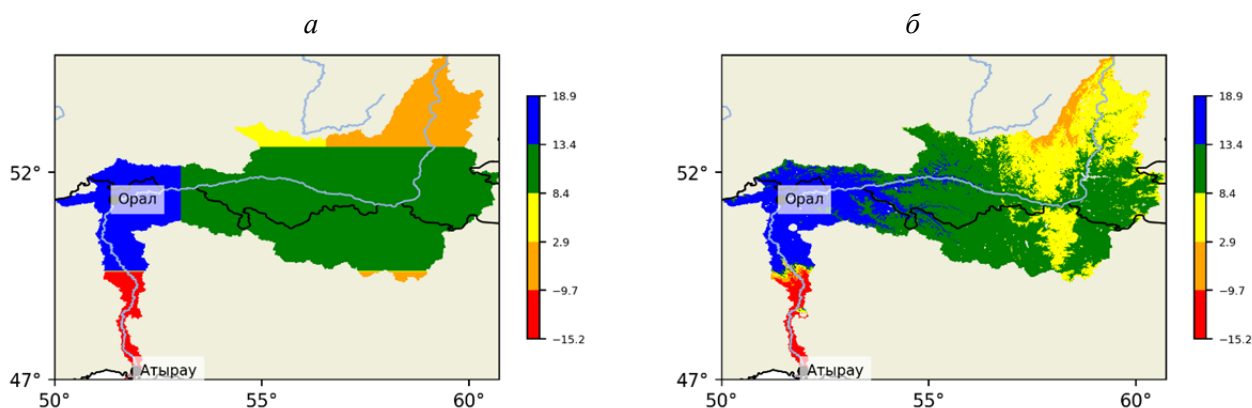


Рисунок 4 – Толщина эквивалентного слоя воды (LWE) в бассейне реки Жайык (Урал):
а – исходные данные; б – данные с улучшенным пространственным разрешением

Figure 4 – LWE thickness in the Zhaiyk River basin (Ural): a – raw data; b – data with improved spatial resolution

Применение метода улучшения масштаба позволило извлечь статистические свойства данных толщины эквивалентного водного слоя (LWE):

- 1) средняя толщина эквивалентного слоя воды (LWE) уменьшилась с 9,735 до 9,665 см, что указывает на снижение на -0,075 см;
- 2) медиана толщины эквивалентного слоя воды (LWE) снизилась на 1,217 см – с 11,591 до 10,374 см;
- 3) стандартное отклонение показывает наиболее четкий сдвиг; оно уменьшилось с 7,445 до 5,0 см, разница составляет -1,465 см;
- 4) минимальные и максимальные значения толщины LWE остаются прежними (-16,119 и 19,656 см соответственно), тем самым сохраняя общий диапазон данных.

Важно, что уменьшение масштаба выполнялось с использованием дополнительных предикторов, включая рельеф (средняя высота 249,85 м, средний уклон 0,87°) и растительность (средний NDVI 0,174). Эти параметры позволили учесть особенности местного ландшафта, одновременно улучшив пространственное разрешение данных GRACE.

Анализ распределения значений GRACE выявил четкую пространственную дифференциацию исследуемой территории. В северо-западной части региона, в Западно-Казахстанской области, наблюдаются максимальные показатели, варьирующиеся от 11,6 до 19,7 см. Эта зона характеризуется наибольшими положительными аномалиями.

Центральная часть исследуемой территории, включая Оренбургскую область РФ и прилегающие районы, демонстрирует умеренно положительные значения – 8-11,6 см. Примечательно, что в направлении с запада на восток наблюдается постепенное снижение показателей, формируя плавный переход к зоне со значениями 2,4-8 см в Башкортостане (РФ).

В южной части карты, в Атырауской области, показатели достигают минимума -16,12 см в прибрежной части Каспийского моря.

Оценка надежности полученного результата. Для оценки полученного результата на район исследований создан векторный полигональный слой с разбиением на прямоугольные сегменты. На каждый сегмент извлечена статистическая информация по исходному и производному (улучшенному) набору данных GRACE. Таким образом, получен ряд данных из 181 значения средней толщины эквивалента водного слоя на оба набора данных, после чего оценены статистическая значимость и коэффициент корреляции (рисунок 5).

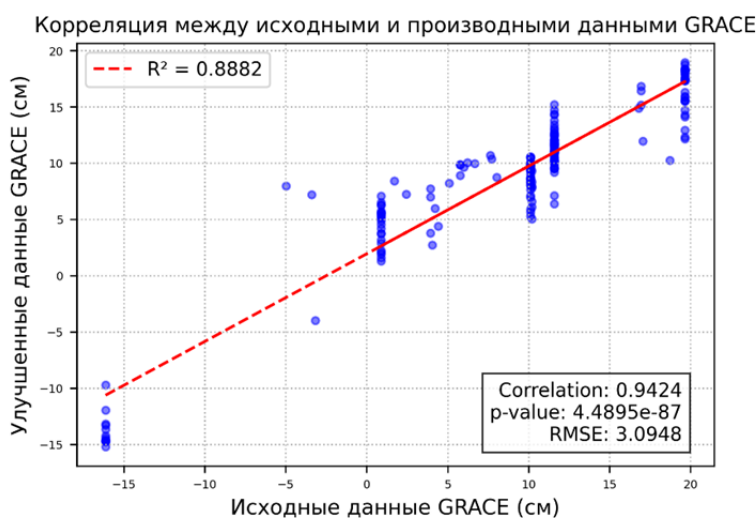


Рисунок 5 – Корреляция между исходными и производными данными GRACE

Figure 5 – Correlation between GRACE raw and derived data

Коэффициент корреляции Пирсона демонстрирует сильную положительную корреляцию и равняется 0,9424, что является высоким показателем. Коэффициент детерминации R^2 указывает, что модель объясняет 88,82% вариации в данных.

Коэффициент статистической значимости p-value указан на графике и равен 4,4895e-87, что является чрезвычайно малым значением (практически нулевым). Это свидетельствует о статистически значимой корреляции между исходными и улучшенными данными GRACE. Такое малое значение p-value говорит о том, что вероятность получить наблюдаемую корреляцию случайно практически равна нулю, что подтверждает достоверность выявленной взаимосвязи между двумя наборами данных,

Заключение. Данные, полученные в результате применения методики исследования, показали:

1. Средняя толщина эквивалентного слоя воды (LWE) уменьшилась незначительно, и это указывает на то, что водные ресурсы исследуемой области в целом сохраняются.
2. Медиана толщины эквивалентного слоя воды (LWE) сократилась на 1,217 см, что указывает на сдвиг в сторону более низких значений.
3. Стандартное отклонение показывает наиболее четкий сдвиг, оно уменьшилось на -1,465 см. Это говорит о том, что после снижения масштаба толщина эквивалентного слоя воды (LWE) распределена более равномерно, а экстремальные значения более сглажены.

Минимальные и максимальные значения толщины LWE схожие, тем самым сохраняется общий диапазон данных. Эти данные показывают, что, несмотря на сохранение общего объема и экстремальных значений, процедура уменьшения масштаба дала более детальное и плавное распределение толщины эквивалентного слоя воды (LWE).

В пространственном распределении значений GRACE наблюдается четкая широтная зональность с тенденцией к снижению показателей в южном направлении. Особый интерес представляет область с крайне низкими значениями в южной части карты, в Атырауской области, где показатели достигают минимума -16,119 см. Эта аномалия пространственно совпадает с Прикаспийской низменностью и может быть обусловлена специфическими геологическими и гидрогеологическими условиями региона.

Результаты демонстрируют потенциал метода улучшения пространственного разрешения с применением машинного обучения для детализации данных о водных ресурсах, что может быть особенно полезно для местного управления водными ресурсами и мониторинга окружающей среды в бассейне реки Жайык (Урал) и других территорий. Результаты представляют практический интерес, но требуют дополнительной проверки на локальных данных.

Валидация результатов по наземным данным гидропостов на р. Жайык от РГП «Казгидромет» или полевых исследований не проводилась, так как изначально целью этой работы было тестирование алгоритма по улучшению пространственного разрешения данных. Однако для дальнейшего практического применения такого метода планируется сравнение полученных данных с измерениями на гидрологических постах.

В дополнение нами получено свидетельство о внесении в государственный реестр прав на объекты, охраняемые авторским правом №54285 от 06.02.2025 г. на программное обеспечение «GDA (Алгоритм улучшения пространственного разрешения данных спутниковой гравиметрии GRACE)».

Финансирование. Исследование выполнено при финансовой поддержке Комитета науки Министерства науки и высшего образования Республики Казахстан (грант № BR21882366).

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Chen J., et al. Global Ocean Mass Change From GRACE and GRACE Follow-On and Altimeter and Argo Measurements // *Geophys Res Lett*, Blackwell Publishing Ltd. – 2020. – Vol. 47, No. 22.
- [2] Плеханов П. А. Гидрологические риски природного характера и их предупреждение в Казахстане // *Центрально-Азиатский журнал исследований водных ресурсов*. – 2017. – Вып. 3, № 1. – С. 19-25.
- [3] Tulemisova G., et al. Ecological state of the river Ural // *Chemical Bulletin of Kazakh National University*. – 2017. – No. 2. – P. 18-24.
- [4] Plekhanov P. A., Medeu N. N., Skufin P. Hydrological risks and their prevention in Kazakhstan // *International Journal of Hydrology*. – 2019. – Vol. 3, No. 1.
- [5] Gyawali B., et al. Filling Temporal Gaps within and between GRACE and GRACE-FO Terrestrial Water Storage Records: An Innovative Approach // *Remote Sens (Basel)*. – 2022. – Vol. 14, No 7. – P. 1565.
- [6] Revilla-Romero B., et al, On the use of global flood forecasts and satellite-derived inundation maps for flood monitoring in data-sparse regions // *Remote Sens (Basel)*, Multidisciplinary Digital Publishing Institute. – 2015. – Vol. 7, No. 11. – P. 15702-15728.
- [7] Chang L., Sun W., Consistency analysis of GRACE and GRACE-FO data in the study of global mean sea level change // *Geod Geodyn, KeAi Communications Co.* – 2022. – Vol. 13, No. 4. – P. 321-326.
- [8] Liu Y., G. W., F. J., Z. K. A Summary of Methods for Statistical Downscaling of Meteorological Data // *Advances in Earth Science*. – 2011. – Vol. 26, No. 8. – P. 837.
- [9] Chen L. et al. Downscaling of GRACE-derived groundwater storage based on the random forest model // *Remote Sens (Basel)*, MDPI AG. – 2019. – Vol. 11, No. 24.
- [10] Hu Z, et al, Temporal and spatial variations in the terrestrial water storage across Central Asia based on multiple satellite datasets and global hydrological models // *J. Hydrol. (Amst)*. – 2021. – Vol. 596. – P. 126013.
- [11] Peng Y. et al. Future challenges of terrestrial water storage over the arid regions of Central Asia // *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*. – 2024. – Vol. 132. – P. 104026.
- [12] Mannig B. et al. Dynamical downscaling of climate change in Central Asia // *Glob Planet Change*. – 2013. – Vol. 110. – P. 26-39.
- [13] Yin W. et al. Improving the resolution of GRACE-based water storage estimates based on machine learning downscaling schemes // *J. Hydrol. (Amst)*. – 2022. – Vol. 613. – P. 128447.
- [14] Jyolsna P.J., Kambhammettu B.V.N.P., Gorugantula S. Application of random forest and multi-linear regression methods in downscaling GRACE derived groundwater storage changes // *Hydrological Sciences Journal*. – 2021. – Vol. 66, No. 5.

- [15] Lehner B., Verdin K., Jarvis A., HydroSHEDS Technical Documentation. World Wildlife Fund US. Washington. HydroSHEDS Technical Documentation. World Wildlife Fund US. – Washington, 2006.
- [16] Jet Propulsion Laboratory (JPL). GRACE/GRACE-FO Monthly Mass Grids – JPL Global Mascons.
- [17] Saberi A. et al. Accuracy assessment and improvement of SRTM, ASTER, FABDEM, and MERIT DEMs by polynomial and optimization algorithm: A case study (Khuzestan Province, Iran) // *Open Geosciences*. – 2023. – Vol. 15, No. 1.
- [18] Davis E., Wang C., Dow K. Comparing Sentinel-2 MSI and Landsat 8 OLI in soil salinity detection: a case study of agricultural lands in coastal North Carolina // *Int J. Remote Sens.* Taylor & Francis. – 2019. – Vol. 40, No 16. – P. 6134-6153.
- [19] Maselli F. et al. Evaluation of Terra/Aqua MODIS and Sentinel-2 MSI NDVI data for predicting actual evapotranspiration in Mediterranean regions // *Int J. Remote Sens.* Taylor & Francis. – 2020. – Vol. 41, No. 14. – P. 5186-5205.
- [20] Yang X. et al. Mapping of urban surface water bodies from sentinel-2 MSI imagery at 10 m resolution via NDWI-based image sharpening // *Remote Sens (Basel)*. – 2017. – Vol. 9, No. 6. – P. 1-19.
- [21] Kumar L., Mutanga O. Google Earth Engine Applications // *Google Earth Engine Applications*. – 2019.
- [22] Breiman L. Random forests // *Mach Learn. Springer*. – 2001. – Vol. 45, No. 1. – P. 5-32.

REFERENCES

- [1] Chen J. et al. Global Ocean Mass Change From GRACE and GRACE Follow-On and Altimeter and Argo Measurements // *Geophys Res Lett.* Blackwell Publishing Ltd. 2020. Vol. 47, No. 22.
- [2] Plekhanov P. A. Hydrological risks of natural character and their prevention in Kazakhstan // *Central Asian Journal of Water Resources Research*. 2017. Vol. 3, No. 1. P. 19-25 (in Russ.).
- [3] Tulemisova G. et al. Ecological state of the river Ural // *Chemical Bulletin of Kazakh National University*. 2017. No. 2. P. 18-24.
- [4] Plekhanov P. A., Medeu N. N., Skufin P. Hydrological risks and their prevention in Kazakhstan // *International Journal of Hydrology*. 2019. Vol. 3, No. 1.
- [5] Gyawali B. et al. Filling Temporal Gaps within and between GRACE and GRACE-FO Terrestrial Water Storage Records: An Innovative Approach // *Remote Sens (Basel)*. 2022. Vol. 14, No. 7. P. 1565.
- [6] Revilla-Romero B. et al. On the use of global flood forecasts and satellite-derived inundation maps for flood monitoring in data-sparse regions // *Remote Sens (Basel)*. Multidisciplinary Digital Publishing Institute. 2015. Vol. 7, No. 11. P. 15702-15728.
- [7] Chang L., Sun W. Consistency analysis of GRACE and GRACE-FO data in the study of global mean sea level change // *Geod Geodyn. KeAi Communications Co*. 2022. Vol. 13, No. 4. P. 321-326.
- [8] Liu Y., G.W., F.J., Z.K. A Summary of Methods for Statistical Downscaling of Meteorological Data // *Advances in Earth Science*. 2011. Vol. 26, No. 8. P. 837.
- [9] Chen L. et al. Downscaling of GRACE-derived groundwater storage based on the random forest model // *Remote Sens (Basel)*. MDPI AG. 2019. Vol. 11, No. 24.
- [10] Hu Z. et al. Temporal and spatial variations in the terrestrial water storage across Central Asia based on multiple satellite datasets and global hydrological models // *J. Hydrol. (Amst)*. 2021. Vol. 596. P. 126013.
- [11] Peng Y. et al. Future challenges of terrestrial water storage over the arid regions of Central Asia // *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*. 2024. Vol. 132. P. 104026.
- [12] Mannig B. et al. Dynamical downscaling of climate change in Central Asia // *Glob Planet Change*. 2013. Vol. 110. P. 26-39.
- [13] Yin W. et al. Improving the resolution of GRACE-based water storage estimates based on machine learning downscaling schemes // *J. Hydrol. (Amst)*. 2022. Vol. 613. P. 128447.
- [14] Jyolsna P.J., Kambhammettu B.V.N.P., Gorugantula S. Application of random forest and multi-linear regression methods in downscaling GRACE derived groundwater storage changes // *Hydrological Sciences Journal*. 2021. Vol. 66, No. 5.
- [15] Lehner B., Verdin K., Jarvis A. HydroSHEDS Technical Documentation. World Wildlife Fund US. Washington. HydroSHEDS Technical Documentation. World Wildlife Fund US. Washington, 2006.
- [16] Jet Propulsion Laboratory (JPL). GRACE/GRACE-FO Monthly Mass Grids – JPL Global Mascons.
- [17] Saberi A. et al. Accuracy assessment and improvement of SRTM, ASTER, FABDEM, and MERIT DEMs by polynomial and optimization algorithm: A case study (Khuzestan Province, Iran) // *Open Geosciences*. 2023. Vol. 15, No. 1.
- [18] Davis E., Wang C., Dow K. Comparing Sentinel-2 MSI and Landsat 8 OLI in soil salinity detection: a case study of agricultural lands in coastal North Carolina // *Int J. Remote Sens.* Taylor & Francis. 2019. Vol. 40, No. 16. P. 6134-6153.
- [19] Maselli F. et al. Evaluation of Terra/Aqua MODIS and Sentinel-2 MSI NDVI data for predicting actual evapotranspiration in Mediterranean regions // *Int J Remote Sens.* Taylor & Francis. 2020. Vol. 41, No. 14. P. 5186-5205.
- [20] Yang X. et al. Mapping of urban surface water bodies from sentinel-2 MSI imagery at 10 m resolution via NDWI-based image sharpening // *Remote Sens (Basel)*. 2017. Vol. 9, No. 6. P. 1-19.
- [21] Kumar L., Mutanga O. Google Earth Engine Applications // *Google Earth Engine Applications*. 2019.
- [22] Breiman L. Random forests // *Mach Learn. Springer*. 2001. Vol. 45, No 1. P. 5-32.

Н. Т. Кемербаев¹, Қ. Б. Самарханов*², Г. А. Мусина³, М. Х. Шкиева⁴

¹ Т. ғ. к., бас директоры («GeoID» LLC, Астана, Қазақстан; n.kemerbaeyev@geo-id.kz)

^{2*} География ғылымдарының кандидаты, директордың ҒЗТҚЖ жөніндегі орынбасары, бас ғылыми қызметкер («GeoID» ЖШС, «Астана» халықаралық ғылыми кешені, Астана, Қазақстан; kanat.baurzhanuly@gmail.com)

³ Кеңселерді өңдеу бөлімінің басшысы («GeoID» ЖШС, Астана, Қазақстан; g.mussina@geo-id.kz)

⁴ Кеңістіктік деректерді өңдеу және қашықтықтан зондтау бөлімі бастығының орынбасары («GeoID» LLC, Астана, Қазақстан; maral.shkiyeva@gmail.com)

МАШИНАЛЫҚ ОҚЫТУДЫ ҚОЛДАНА ОТЫРЫП, ЖАЙЫҚ (ОРАЛ) ӨЗЕНІ БАССЕЙНІ ҮШІН GRACE СПУТНИКТИК ГРАВИМЕТРИЯ ДЕРЕКТЕРІНІҢ КЕҢІСТІКТИК АЖЫРАТЫМДЫЛЫҒЫН ЖАҚСARTУ ТӘЖІРИБЕСІ

Аннотация. Мақалада Жайық (Орал) өзені бассейні үшін grace спутниктік гравиметриялық деректерінің кеңістіктік ажыратымдылығын жақсарту үшін машиналық оқытуды қолдану бойынша зерттеу ұсынылған. Жұмыс аймақтық деңгейде су ресурстарын егжей-тегжейлі талдауды қиындататын grace деректерінің төмен кеңістіктік ажыратымдылығы мәселесін шешуге бағытталған. Зерттеу әдістемесі Random Forest моделін қолдана отырып, масштабты азайтудың статистикалық әдісін қолданады. Кеңістіктік ажыратымдылықты жақсарту үшін сандық рельеф моделін, өсімдік жамылғысының индекстерін (NDVI) және су бетінің индекстерін (ndwi) қамтитын қосымша мәліметтер жиынтығы қолданылды. Зерттеу нәтижелері ұсынылған Әдістеменің тиімділігін көрсетті: жақсартылған деректер жалпы статистикалық қасиеттерді сақтай отырып, су қабатының баламалы қалыңдығының дәл таралуын қамтамасыз етеді. Пирсонның корреляция коэффициенті 0.9424 болды. бұл нәтижелердің сенімділігінің айтарлықтай дәрежесін білдіреді. Бұл зерттеудің практикалық маңыздылығы Су ресурстарын бағалауды жақсарту, гидрологиялық оқиғаларды болжау және Жайық өзені бассейніндегі климаттың өзгеруіне бейімделу жоспарларын әзірлеу үшін әзірленген тәсілді перспективалық қолдану болып табылады.

Түйін сөздер: гравиметрия, GRACE, Қазақстан, машиналық оқыту, гидрология, рельефтің цифрлық моделі, кеңістіктік рұқсат.

N. T. Kemerbayev¹, K. B. Samarkhanov*², G. A. Mussina³, M. Kh. Shkiyeva⁴

¹ Candidate of Technical Sciences, General Director («GeoID» LLP, Astana, Kazakhstan; n.kemerbaeyev@geo-id.kz)

^{2*} Candidate of Geographical Sciences, Deputy Director for R&D, Chief Scientific Associate («GeoID» LLP, International Scientific Complex «Astana», Astana, Kazakhstan; kanat.baurzhanuly@gmail.com)

³ Head of desk processing department («GeoID» LLP, Astana, Kazakhstan; g.mussina@geo-id.kz)

⁴ Deputy Head of Spatial Data Processing and Remote Sensing of the Earth Department («GeoID» LLP, Astana, Kazakhstan; maral.shkiyeva@gmail.com)

EXPERIENCE IN IMPROVING THE SPATIAL RESOLUTION OF GRACE SATELLITE GRAVIMETRY DATA FOR THE ZHAIYK RIVER BASIN (URAL) USING MACHINE LEARNING

Abstract. The article presents a study on using machine learning to improve the spatial resolution of GRACE satellite gravimetric data for the Zhaiyk River basin (Ural). The work aims to solve the problem of low spatial resolution of GRACE data, making it difficult to analyze water resources in detail at the regional level. The research methodology uses a statistical method of scaling down using the Random Forest model. Additional datasets were used to improve spatial resolution, including a digital terrain model, vegetation indices (NDVI), and water surface indices (NDWI). The results demonstrated the effectiveness of the proposed methodology: improved data provides a more accurate distribution of the equivalent thickness of the water layer while maintaining general statistical properties. The Pearson correlation coefficient was 0.9424, which means a significant degree of reliability of the results. The practical significance of this study lies in the prospective application of the developed approach to improve the assessment of water resources, forecasting hydrological events, and developing plans for adaptation to climate change in the Zhaiyk River basin.

Keywords: gravimetry, GRACE, Kazakhstan, machine learning, Hydrology, digital terrain model, spatial resolution.

<https://doi.org/10.55764/2957-9856/2025-1-41-55.5>

FTAMP 37.27.03

37.27.17

37.27.21

ӨОЖ 556.55; 556.51

С. К. Алимкулов¹, А. Б. Мырзахметов², Э. К. Талипова³,
Г. Р. Баспакова^{*4}, М. Ә. Қанай⁵, Д. Ә. Рүстем⁶

¹ Г. ғ. к., қауымдастырылған профессор, басқарма төрағасының орынбасары («География және су қауіпсіздігі институты» АҚ, Алматы, Қазақстан; sayat.alimkulov@mail.ru)

² PhD, аға ғылыми қызметкер («География және су қауіпсіздігі институты» АҚ, Алматы, Қазақстан; ahan.myrzahmetov@mail.ru)

³ PhD, аға ғылыми қызметкер («География және су қауіпсіздігі институты» АҚ, Алматы, Қазақстан; elmira_280386@mail.ru)

^{4*} PhD, аға ғылыми қызметкер («География және су қауіпсіздігі институты» АҚ, Алматы, Қазақстан; sharafedenova@mail.ru)

⁵ Докторант, кіші ғылыми қызметкер (Әл-Фараби атындағы ҚазҰУ, «География және су қауіпсіздігі институты» АҚ, Алматы, Қазақстан; makpal_994@mail.ru)

⁶ Магистрант, жетекші инженер (Әл-Фараби атындағы ҚазҰУ, «География және су қауіпсіздігі институты» АҚ, Алматы, Қазақстан; rustem.darkhan@mail.ru)

ЗАМАНАУИ КЛИМАТ ӨЗГЕРІСТЕРІ МЕН АЛАПТАҒЫ СУШАРУАШЫЛЫҚ ІС-ӘРЕКЕТТЕРДІ ЕСКЕРЕ ОТЫРЫП, БАЛҚАШ КӨЛІНІҢ СУ ТЕНДЕСТІГІН ЗЕРТТЕУ

Аннотация. Мақалада климаттың өзгеруі мен антропогендік факторларды, соның ішінде, Іле өзенінің трансшекаралық сипаты және аймақтағы сушаруашылық іс-әрекеттерді ескере отырып, Балқаш көлінің су теңдестігі зерттелінді. Өзен ағындысы, атмосфералық жауын-шашын және булану бойынша ұзақ мерзімді бақылау деректері келтіріліп, өзен ағындысының реттелуінің су теңдестігі динамикасына әсері бағаланды. Зерттеуде Балқаш көлінің су теңдестігі 1947-2021 жылдар аралығында есептелді, есептеулер нәтижелері бойынша көлге келетін орташа көпжылдық өзен ағындысы - 14,5 км³/жыл, жауын-шашын – 3,42 км³/жыл, булану – 17,5 км³/жыл, жерасты суларының алмасуы – 0,38 км³ құрады. Алынған нәтижелер Балқаш-Алакөл сушаруашылық алабының су ресурстарын тұрақты басқару стратегияларын әзірлеу үшін пайдаланылуы мүмкін.

Түйін сөздер: су теңдестігі, кіріс, шығыс, өзен ағындысы, атмосфералық жауын-шашын, булану.

Кіріспе. Су теңдестігі – өзен алабы, көл, батпақ, басқа да зерттелетін нысан үшін бір уақыт кезеңінде (жыл, ай, онкүндік және т.б.) келетін судың ағып келуінің, тұтынылуының және жинақталуының (су қорының өзгеруі) арақатынасы, басқаша айтқанда, бұл су қорының сақталу заңының көрінісі. Зерттелетін табиғи нысанға және уақыттың есептік аралығында су теңдестігінің теңдеуі әртүрлі элементтерді қамтуы мүмкін, сондықтан оны түбегейлі зерттеуді талап етеді [1, 2].

Табиғат нысандарының (өзен немесе көлдің су жинау алаптары) шекараларында ылғалдың келуі, жинақталуы және шығындалу заңдылықтарын зерттеу судың табиғи факторлары мен үдерістерінің себеп-салдарлық байланыстарын талдаудың генетикалық әдістеріне негізделген су теңдестігі әдісін қолдану арқылы жүзеге асырылады [3]. Қазіргі уақытта су теңдестігі бойынша зерттеулер мен есептеулер аса маңызға ие, себебі судың болуы өнеркәсіптің, ауыл шаруашылығының және көліктің дамуына, халықтың қоныстануы мен шаруашылық іс-әрекетіне әсер ететін негізгі факторлардың бірі болып табылады. Көлдер мен су қоймаларының су теңдестігі су электр станцияларында энергия өндіруді бақылау үшін, сушаруашылық іс-шараларын (суару және сумен қамтамасыз ету үшін су алу, басқа алаптарға өзен ағындысын жіберу) жобалау кезінде, ағаш өңдеу және су көлігін пайдалану кестесін жасау, судың сапасын бағалау және көлдің су деңгейін болжау мен су қоймаларын толтыру кезінде кеңінен қолданылады.

Әрбір көл немесе көл жүйесі өзіне тән гидрологиялық сипаттамаларға ие және су теңдестігін зерттеу әрбір көлдің нақты гидрологиялық факторларға тәуелділігін анықтауға көмектеседі, бұл

басқару әдістерін жетілдіруге мүмкіндік береді. Оларға құрғақшылық кезінде суды пайдалануға шектеулер, су тасқыны болар алдында бөгеттер салу және адамдарды қауіпсіз орынға көшіру, тиімді электр энергиясын өндіруді қамтамасыз ету үшін су деңгейін бақылау, сонымен қатар судың мөлшері мен сапасын басқаруды жақсарту мақсатында су ағындарын бұруға қатысты маңызды шешімдер кіруі мүмкін [1, 2].

Су теңдестігінің кіріс пен шығыс элементтерінің сандық қатынасы су нысанына әсер ететін табиғи жағдайлардың өзгеруіне, сондай-ақ су айдынының шаруашылық игерілу деңгейіне байланысты уақыт бойынша өзгереді, яғни су айдынының су ресурстары сәйкесінше өзгереді. Су ресурстарын тиімді пайдалану мақсатында су теңдестігі негізінде ішкі су нысандарының су ресурстарын бағалау су айдындарының гидрометеорологиялық режимін зерттеудегі маңызды міндеттердің бірі болып табылады [4].

Балқаш көлінің гидрологиялық режимі және су теңдестігі әртүрлі ғылыми-зерттеу және жобалау ұйымдарының есептерінде бірнеше рет сипатталып, бағаланды. Балқаш көлінің су теңдестігінің сандық сипаттамаларын анықтау бойынша алғашқы зерттеулерді А. В. Шнитников жүргізген [5]. Кейінірек бұл су айдынының су теңдестігін есептеуге көптеген зерттеушілер қатысты: Г. Р. Юнусов, Л. К. Блинов пен М. А. Буркальцева, М. Н. Тарасов, А. Н. Жиркевич, Т. Искендіров, Р. Д. Курдин, Н. А. Багров, И. С. Соседов, В. В. Голубцов пен А. Н. Жиркевич, И. И. Скотцелас, Л. П. Остроумова және Д. К. Жүсіпбеков, Ж. Достай, С. Қ. Алимқұлов және т.б. Көлдің су теңдестігінің жеке құрамдас бөліктерін анықтауға көп жұмыстар арналған [6-11]. Жекелеген жылдар бойынша «Қазгидромет» РМК және Балқаш-Алакөл алаптық инспекциясында су теңдестігі есептелінеді және Мемлекеттік су кадастрының «Жер беті суларының режимі мен ресурстары туралы жылдық мәліметтер» сериясында және жыл сайынғы есептерде жарияланады.

Көптеген су көлемі жайылымдар мен атырауларда жоғалады, Іле өзенінің кең атырауымен қамтылған, жартылай екіге окшауланған Балқаш көлінің су теңдестігін зерттеу өте күрделі болып келеді, сонымен бірге Іле-Балқаш сушаруашылық алабының мәселелерін шешу үшін үлкен тәжірибелік маңызға ие. Бұған дейін де бірнеше рет су теңдестігі есептеулері жүргізілгенімен, әлі де шешімін таппаған мәселелер көп. Бұл зерттеулер сушаруашылық алап туралы ғылыми білімді кеңейтіп қана қоймай, жаңа сын-қатерлер жағдайында өңірдегі су ресурстарын тұрақты басқару бойынша тәжірибелік ұсыныстарды әзірлеуге мүмкіндік береді. Осылайша, Балқаш көлін зерттеу мен сақтауға бағытталған ғылыми зерттеулер өте өзекті болып табылады, яғни ол Қазақстанның негізгі экологиялық мәселелерінің бірін шешуге және аймақтың тұрақты дамуын қамтамасыз етуге ықпал етеді.

Материалдар мен зерттеу әдістері. Балқаш көлінің су теңдестігінің теңдеуі былай жазылады:

$$W_{\text{жер беті}} \pm W_{\text{жерасты}} + W_X - W_E = \pm \Delta W, \quad (1)$$

мұндағы $W_{\text{жер беті}}$ – көлге құятын өзен ағындысының көлемі, км^3 ; $W_{\text{жерасты}}$ – көлге келетін және ағып шығатын жерасты суының көлемінің нәтижесі, км^3 ; W_X – көл айнасына түсетін атмосфералық жауын-шашын көлемі, км^3 ; W_E – көлдің су бетінен булану көлемі, км^3 ; ΔW – көлдегі су көлемінің өзгерісінің көлемі, км^3 .

Өзен ағындысы. Көлдің батыс және шығыс бөліктері үшін жер беті ағындысының келуі бөлек анықталады. Көлдің батыс бөлігіне келетін ағынды Іле өзені бойымен жүзеге асырылады. Егер Іле өзені атырауында және оның Ир, Іле, Шұбар-Құнан және Нарын тармақтарында бақылаулар болса, өзен ағындысы жоғарыда аталған тармақтардың орташа жылдық өтімдерінің қосындысына тең. Өзен атырауында бақылаулар болмаған жағдайда, көлдің батыс бөлігіне жер беті ағындысының келуі келесі теңдеу арқылы есептеледі:

$$V_{\text{Бжер беті}} = V - P, \quad (2)$$

мұндағы V – Қапшағай шатқалындағы Іле өзенінің ағынды көлемі, $\text{км}^3/\text{жыл}$; P – Балқаш көлі Қапшағай шатқалында ағындының өзгеруі, $\text{км}^3/\text{жыл}$.

Шығыс Балқашқа жер беті ағындысының келуі Қаратал өзені – Раздольное ауылы, Лепсі өзені – Лепсі ауылы, Ақсу өзені – Қызылтаң ауылы, Аякөз өзені – Қаратас ауылы бекеттеріндегі бақылау деректері бойынша есептелді.

Атмосфералық жауын-шашын. Су нысанының бетіне түсетін атмосфералық жауын-шашын, әдетте, жақын маңдағы метеорологиялық станциялардағы атмосфералық жауын-шашын

өлшегіштерінің көрсеткіштері бойынша есептеледі, яғни Балқаш көлінің жағасында орналасқан: Ақтоғай, Сарышаған, Құйған, Балқаш және Алғазы аралы. Атмосфералық жауын-шашынның қабаты көлдің батыс және шығыс бөліктері үшін ай сайын бөлек есептеледі, содан кейін су бетінің ауданын ескере отырып, бір жыл бойындағы жауын-шашынның көлемі анықталды. Көл бетіне түсетін атмосфералық жауын-шашын қабаттарын есептеу кезінде метеорологиялық бекеттердегі бақылау деректеріне сулану, булану және желдің тұрақсыздығына түзетулер енгізіледі, олар ГГИ әдістемесіне және ҚазҰТЗИ ұсынымдарына сәйкес айқындалады [11, 12].

Су бетінен булану. Бұл шаманы есептеу булануға әсер ететін гидрометеорологиялық факторлар туралы ақпарат негізінде буланған судың көлемін анықтаудың жалпы қабылданған әдісіне негізделген.

Күрделі конфигурацияы бар су айдындарына арналған физикалық тұрғыдан ең дұрыс негізделген әдіс – бұл А. П. Браславский [13] және кейінірек Л. П. Остроумова одан әрі жетілдірген әдіс болып табылады [14]. Булану қабаты барлық көл бойынша ауа температурасы мен ылғалдылығының, жел жылдамдығының, төменгі және жалпы бұлттылықтың орташа мәндерімен анықталады, олар ауа сипаттамаларының өзгеруін ескере отырып, жағалық метеорологиялық бекеттердегі бақылаулар негізінде және ҚазҰТЗИ ұсынған әдістеме қолданылды [13, 14].

Зерттеу аймағы. Балқаш көлі су жинау алабының ауданы шамамен 413 мың км² құрайды, оның аумағының 15%-ы Қытайдың Шыңжаң Ұйғыр автономиялық ауданының (ШҰАА) солтүстік-батысында орналасқан. Балқаш көліне жер беті сулары Іле, Қаратал, Ақсу және Лепсі өзендері (кейде Аякөз өзені) арқылы келеді. Іле өзені Батыс Балқашқа, қалған салалары Шығыс Балқашқа құяды. Су жинау алабының солтүстік бөлігі – Сарыарқа баурайынан ағатын Бақанас, Тоқырауын, Мойынты және Жаманты өзендерінің ағындысы шамалы және уақытша су ағыны сипатына ие, сондықтан жыл сайын Балқаш көліне келіп құймайды. Шу-Іле суайрығынан бастау алатын уақытша су ағындары да осындай сипатқа ие. Олардың жер беті ағындысы өзеннің ысырынды конусында жоғалады [15, 16].

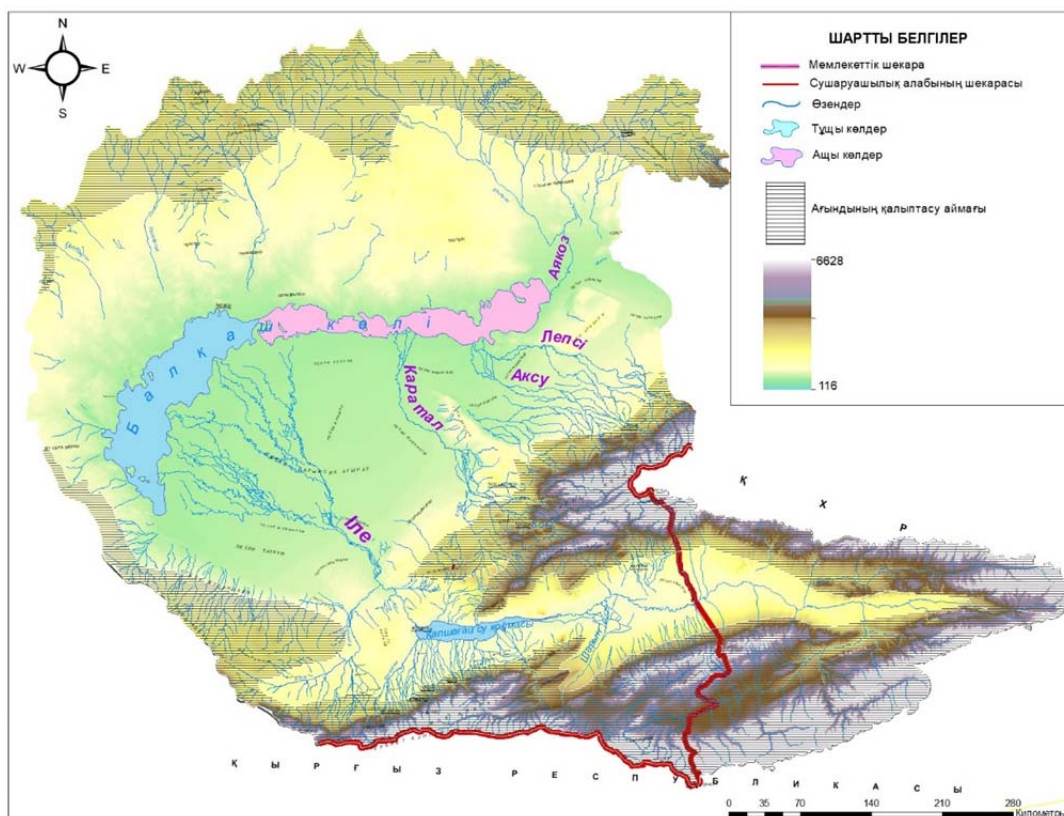
Бұл су артерияларының ең бастысы Іле өзені болып табылады, табиғи жағдайда оның үлесіне жалпы жер беті ағындысының шамамен 80%-ы келеді, өзеннің жалпы ұзындығы 1439 км, Қазақстан аумағында – 815 км. Іле өзенінің жалпы су жинау алабының ауданы – 131 тыс. км² (Балқаш көлі су жинау алабының шамамен 75%-ы), оның 77 400 км² – республика аумағында. Су жинау алабының негізгі ағынды құраушы бөлігі гидрографиялық желісі біршама дамыған (0,6-3 км/км² аралығынды) Қытай аумағында орналасқан. Оның тығыздығы алаптың ортаңғы және төменгі бөліктерінде (0,01 км/км² дейін) төмендейді, бұл жерде тек сол жағалау аймағы белсенді [15].

Гидрологиялық жағдайына сәйкес Балқаш көлі алабы ағынды қалыптасу аймағынан (таулы бөлігі) және ағындының таралу немесе жоғалу аймағынан (жазық бөлігі) тұрады (1-сурет). Балқаш көлі алабының жаңғырмалы су ресурстарының қалыптасу аймағына Іле ойпатымен бөлінген Тәңіртау және Жетісу Алатауы жатады. Су ресурстарының қалыптасу аймағының гидрологиялық ерекшеліктері жұмыстарда жеткілікті түрде егжей-тегжейлі қарастырылған [15, 16]. Су теңдестігін талдау және гидрографтардың генетикалық бөліну нәтижелері бойынша жаңғырмалы су ресурстарының қалыптасу жағдайларына тән үш табиғи аймақ анықталды.

3000 м-ден жоғары аумақты мұздық-қармен қоректенетін биік таулы нивальды-гляциалды аймақ алып жатыр. Гидрологиялық тұрғыдан және атмосфералық ылғалдың конденсациялануы тұрғысынан барлық дерлік маңызды өзендердің көздерін қамтитын ландшафттың ерекше және маңызды элементі мұздану болып табылады. Мұз басқан аймақтың ағыны жауын-шашын мөлшеріне де, абляция кезеңінің жылы балансына да байланысты, сондықтан мұздықтар ағындысының қалыптасуында биіктік және экспозициялық аудандастыру өте айқын көрінеді [15].

Екінші белдеу орташа таулы аймақ – 1500 м биіктікке дейін орналасқан. Өзендер маусымдық қардың еріген суымен қоректенеді. Белгілі бір үлес қар еріген кездегі және одан кейін түскен сұйық атмосфералық жауын-шашынға, сондай-ақ су тасқынын тудыратын нөсерлі жауын-шашынға тиесілі [15].

Төменгі аймақта өзен ағындысы – қардың еріген суынан, су тасқыны кезіндегі жауын-шашынмен қоректенуінен, ал жылдың қалған бөлігінде – жерасты суымен қоректенуінен қалыптасады. Өзеннің ысырынды конусындағы борпылдақ шөгінділермен өтіп жатқан өзендер, төменгі аймақтағы ағындының едәуір бөлігі жерасты сулардан қалыптасуына ықпал етеді [15].



1-сурет – Балқаш көлі аумағындағы өзен ағындысының қалыптасу аймағының сызбалық картасы

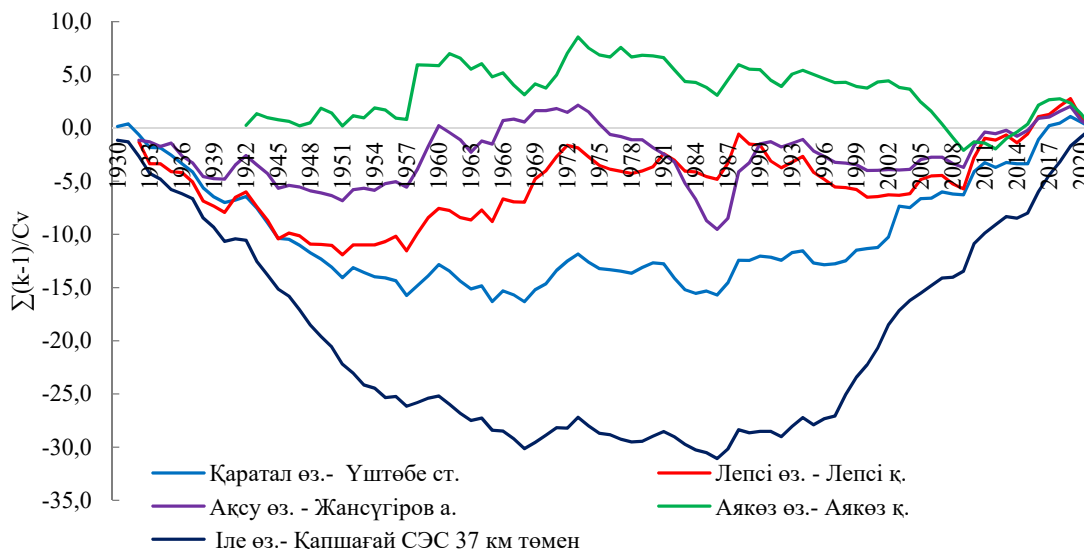
Figure 1 – Schematic map of the zone of formation of river flow on the territory of Lake Balkhash

Нәтижелер мен талқылау. Өзен ағындысы. Балқаш көлі сипаттамаларының ұзақ мерзімді ауытқулары негізінен Балқаш көліне келіп құятын өзен ағындысына байланысты, Балқаш көлінің географиялық нысан ретінде жұмыс істеуі, су ресурстарының сапасы және тұтастай алғанда көлдің бүкіл су экожүйесі келіп түсетін Іле өзені есебінен жүзеге асырылуда, өйткені ол көлдің су теңдестігі кіріс бөлігінің 80% көлемін құрайды [7-11, 15]. Іле өзені алабының негізгі ағындысын құрайтын бөлігі Қытай Халық Республикасының ШҰАА аумағында орналасқан, сондықтан Балқаш көлінің жер беті су ресурстарын қарастыру кезінде Қазақстан Республикасының аумағында қалыптасқан өзен ресурстарының өзгеру динамикасын, сондай-ақ транзиттік ағын ретінде көрші мемлекеттерден келетін кіріс динамикасын талдау қажет. ҚХР Іле өзені алабында көптеген жобаларды жүзеге асыруда, соның ішінде гидротехникалық ғимараттар құрылысы. Сарапшылардың бағалауы бойынша, бұл жобаларды жүзеге асыру 2050 жылға қарай Қазақстандағы Іле өзені ағындысының 40%-ға азаюына, ал өнеркәсіптік (негізінен мұнай өндіру және мұнай өңдеу) кәсіпорындарын іске қосу нәтижесінде Қытайдағы өзен суының ластануына алып келеді [17].

ҚХР аумағында Іле өзені алабындағы су ресурстарын тұтынудың 80%-ы ауыл шаруашылығына арналған, 1970 жылдары Қытайдағы ауылшаруашылық жерлерінің көлемі 572 294 га, 2001 жылы 808 551 га, 2013 жылы 940 276 га болған [18, 19]. Қазіргі уақытта Іле өзені алабының Қытай аумағында 50-ден астам әртүрлі су қоймалары салынды, оның ішінде көлемі 0,5–1,0 км³ ірілері де бар. 1990 жылдың басынан 2015 жылға дейін су қоймаларының құрылысы жоғары қарқынмен жүргізілген, Landsat мұрағаттық суреттері бойынша Іле, Текес және Қаш өзендерінің салаларында 9 су қоймасы салынған [20]. Олардың ішінде көлемі бойынша 2005 жылы салынған екі су қойма, Текес өзеніндегі Қапшағай және Қаш өзеніндегі Жарынтай су қоймалары ерекше көзге түседі [21].

Климат өзгеруінің өзен ағындысына әсері. Өзендердің гидрологиялық режимі негізінен климаттық жағдайлармен, атап айтқанда атмосфералық жауын-шашын мөлшерімен, ауа температурасының таралуымен, буланумен, өзендердің қоректену көздерінің арақатынасымен, жер бедерінің сипатымен, сондай-ақ өзен алаптарының гидрогеологиялық және басқа да ерекшелік-

терімен анықталады. Балқаш көліне құятын негізгі өзендер ағындысының ұзақ мерзімді ауытқуын талдау – су өтімдерінің жылдар бойы тұрақты ауытқуларының болуын көрсетеді. 2-суретте Балқаш көліне құятын негізгі өзендердің біріктірілген интегралдық қисық сызықтарының графигі көрсетілген. Алынған мәліметтердің негізінде аз және көп сулы фазалар, сондай-ақ бақылау кезеңінде сулылықтың өзгеруінің толық циклдері көрсетілген.

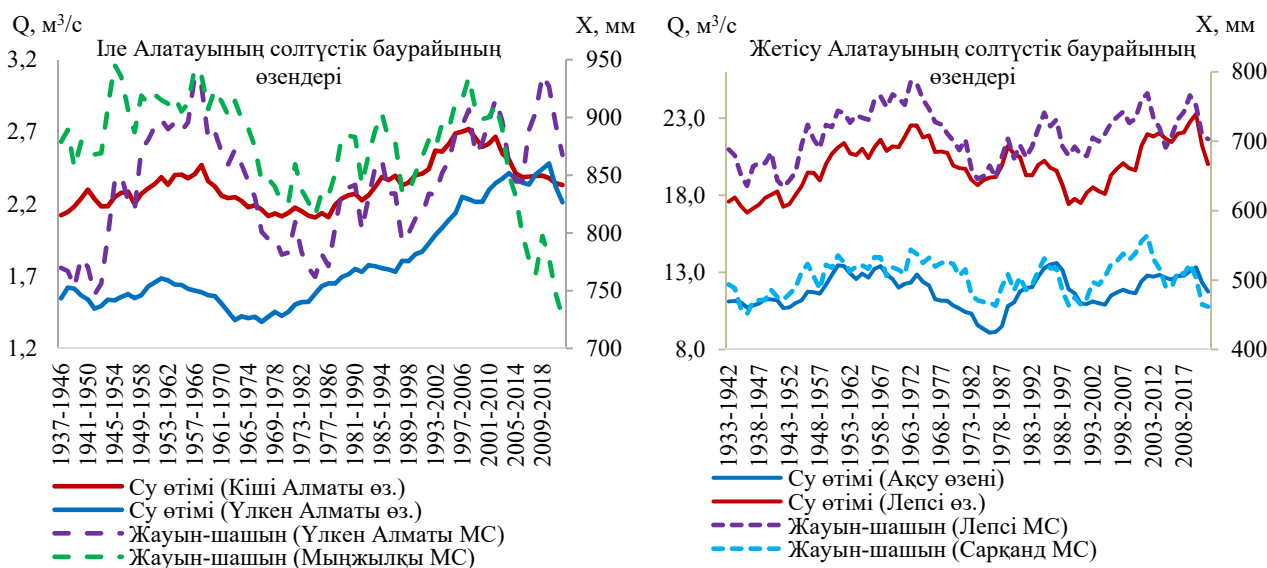


2-сурет – Балқаш көліне құятын негізгі өзендердің модульдік коэффициенттерінің біріктірілген интегралдық қисықтары

Figure 2 – Combined integral curves of the modulus coefficients of the main rivers flowing into Lake Balkhash

Суреттен көрініп тұрғандай, интегралдық қисықтардың көпшілігі сулылықтың 4 негізгі фазасын көрсетеді: 30-дан 50-ші жылдардың ортасына дейін аз сулы және одан әрі 70-ші жылдарға дейін көп сулы фазалар, 70-ші жылдардан бастап 80-жылдардың ортасына дейін ағындының төмендеуі байқалады, содан кейін мол сулы су кезеңін байқауға болады.

Климаттың өзгеруі жағдайында су ресурстарының аумақ бойынша біркелкі таралмауы жағдайды қиындатады. Егер өзен ағындысын әсіресе Іле-Балқаш алабындағы табиғи жағдайда ағынды қалыптасу аймағында қарастыратын болсақ (3-сурет), соңғы жылдары ол аздап өсті.



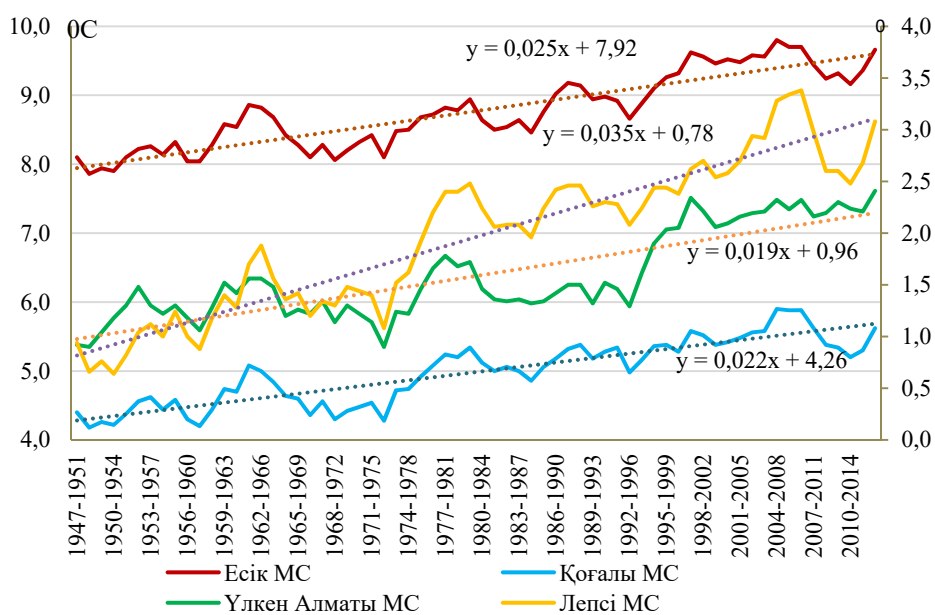
3-сурет – Іле-Балқаш алабындағы өзендердің су өтімі және атмосфералық жауын-шашынның көпжылдық жүрісі (10 жылдық орташа жылжымалы)

Figure 3 – River flow and long-term course of atmospheric precipitation in the Ile-Balkhash basin (10-year moving average)

Ағынды қалыптастырушы факторлардың және өзен ағындысының уақыт бойынша өзгерістігін көрсететін негізгі заңдылық циклдік ауытқулар болып табылады. 3-суретке сәйкес қарастырылып отырған алаптағы өзен ағындысы мен атмосфералық жауын-шашын динамикасы синхронды болып табылады. Бірақ 2000 жылдарға дейінгі ағынды мен жауын-шашынның біріктірілген графиктері көрсеткендей олардың синхрондылығы байқалады, одан кейінгі жылдары жүрісі әртүрлі, басқа факторлардың әсері (ауа температурасының жоғарылауы, атмосфералық айналым және т.б.) себебінен болуы мүмкін.

Ағындының өзгеруін сипаттайтын тағы бір фактор – өзен алаптарының жер бедері, соның ішінде ең алдымен абсолюттік биіктігі. Су жинау алабының абсолютті биіктігінің жоғарылауымен климаттық факторлар мен оның төсеніш беті өзгереді, демек, өзендердің қоректену жағдайлары да өзгереді. Сонымен қатар биік таулы аймақтардағы өзендердің қоректенуінде мұздықтар мен мәңгі қардың маңызы зор, орташа таулы және тау етегіндегі аймақтарда маусымдық қар жамылғысының, сұйық атмосфералық жауын-шашынның және жерасты суларының маңызы айтарлықтай артады [48].

Жоғарыда айтылғандай, 2000 жылдан кейінгі өзен ағындысы мен жауын-шашынның асинхрондылығы, яғни ағындының шамалы артуы ауа температурасының жоғарылауынан қар мен мұздың ұзақ мерзімді қорының тез еруіне (таудағы мұздандудың бұзылуы) байланысты [49, 50]. Қарастырылып отырған аймақта климаттың өзгеруі, негізінен ауа температурасының жоғарылауымен сипатталады және ауа температурасының жоғарылау жылдамдығы 1947-2021 жылдар аралығында 0,19-0,35°C/10 жыл аралығында болды (4-сурет).



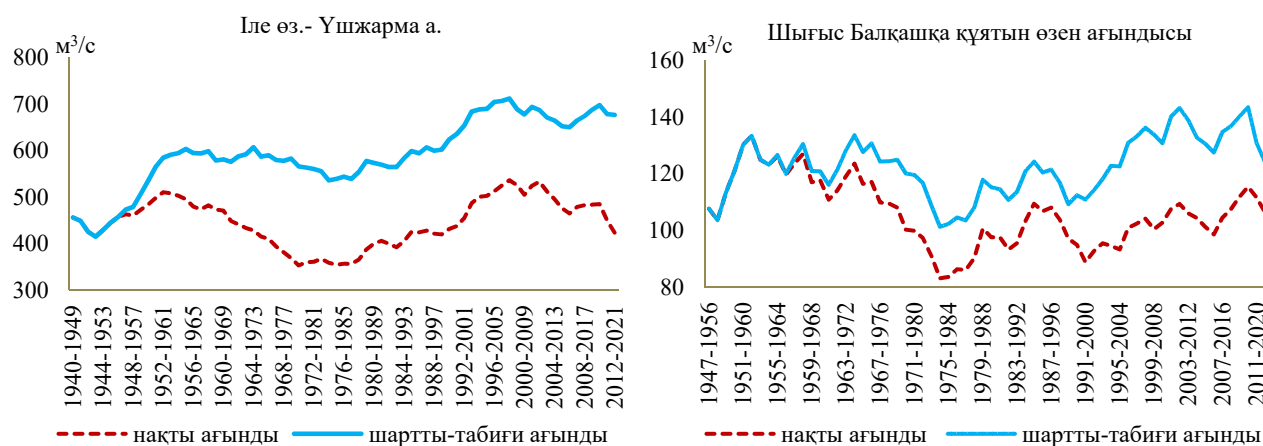
4-сурет – Іле-Балқаш алабындағы ауа температурасының көпжылдық жүрісі (5 жылдық жылжымалы орташа көрсеткіш)

Figure 4 – Multi-year trend of air temperature in the Ile-Balkhash basin (5-year moving average)

1955-1956 жылдан 2015 жылға қарай Іле Алатауының солтүстік баурайының өзен алабындағы Солтүстік Іле мұз жүйесі мұздықтарының ашық бөлігінің ауданы 287,3-тен 162,5 км²-ге дейін 43,4%-ға азайған [24-26]. Жоңғар мұздықтар жүйесінде, Жетісу Алатауының оңтүстік бөлігінде Қорғас және Өсек өзендерінің алаптарында 1955-1956 жылдардан бастап 2015 жылға қарай мұздықтардың ауданы біршама қысқарған, 226,4-тен 117,2 км²-ге, 48,2%-ға азайған. Жетісу Алатауының солтүстік беткейінде Ақсу, Лепсі және Биен өзендерінің алабында 1955-1956 жылдардан 2015 жылға қарай 304,1-ден 182,5 км²-ге дейін, 40,0%-ға азайған. [26, 27]. Жетісу Алатауының батыс бөлігінде Қаратал өзені алабында 1955-1956 жылдан 2015 жылға қарай 215-тен 115 км²-ге дейін, 46,5%-ға азайған. Қазақстан Республикасының аумағындағы Текес алабында ауданы 31,1%-ға (143,9-дан 99,1 км²-ге дейін) азайды [28].

И. В. Северскийдің зерттеу нәтижелері бойынша, Солтүстік Іле мұз жүйесінің мұздықтарының басым көпшілігі ағымдағы ғасырдың соңына қарай (2080-2085 жж.), ал Оңтүстік Жетісу Алатауының мұздануы жойылуы анықталған деградация жылдамдығын $2,2 \text{ км}^2/\text{жыл}$ ($0,97\%/жыл$) сақтай отырып - 2060 жылдың соңына қарай жоғалуы мүмкін [29].

Антропогендік факторлардың өзен ағындысына әсері. Қарастырылып отырған аймақтың зерттелуі ежелгі дәуірде басталған. Жалпы алғанда, гидрометриялық бақылаулардың ағымдағы кезеңі үшін табиғи режим жоқ, өйткені алапта суармалы егіншілік жүйесі ұзақ уақыттан бері жүргізіліп келеді. 5-суретке сәйкес, Іле өзені бойындағы шартты-табиғи және нақты ағындының арасындағы айырмашылық шамамен 50-ші жылдардан басталады, Шығыс Балқашқа құятын өзендер үшін табиғи гидрологиялық режимнің бұзылуы 70-жылдардан бастап байқалады (5-сурет). Демек, суармалы егіншіліктің әсері өзен ағындысын бағалаудың дәлдігі шегінде, яғни 5%-дан аспайтын деңгейде болған жағдайда ғана шартты табиғи кезең туралы айтуға болады.



5-сурет – Балқаш көліне құятын негізгі өзендердің ағындысының көпжылдық жүрісі (нақты және шартты-табиғи ағынды)

Figure 5 – Multi-year flow of the main rivers flowing into Lake Balkhash (actual and conditional-natural flow)

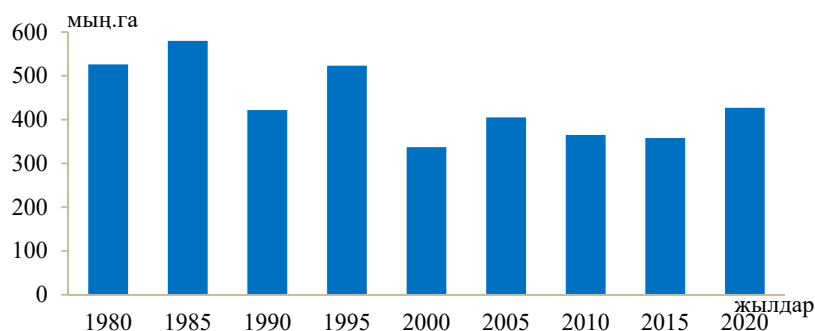
Жалпы, антропогендік факторларды ескере отырып, ағындының ұзақ мерзімді жүрісінде үш кезеңді бөлуге болады:

шартты-табиғи кезең (1970 ж. дейін) Қапшағай су қоймасы толтырылғанға дейін, антропогендік әсері шамалы (суару);

Қапшағай су қоймасын төмендетілген сумен толтыру кезеңі (1970-1987 жж.);

Қазақстан Республикасының аумағында су шаруашылығы саласына байланысты режимнің бұзылуымен және Қытай Халық Республикасы аумағынан келетін Іле өзені ағындысының қарқынды төмендеуіне байланысты судың жоғарылау кезеңі (1988-2021 жж.);

Балқаш көлі алабындағы судың негізгі тұтынушысы суармалы егіншілік болып табылады. Ол облыстың жалпы су тұтынуының 90%-ға жуығын құрайды. Қазіргі Жетісу облысында суару желісі бар жердің ауданы 400 мыңды құраса, 1925 жылы 115 мың, 1945-1946 жж. 322 мың гектарды құраған, 1980-1985 жж. суармалы жер көлемінің ұлғаюы байқалады (6-сурет).



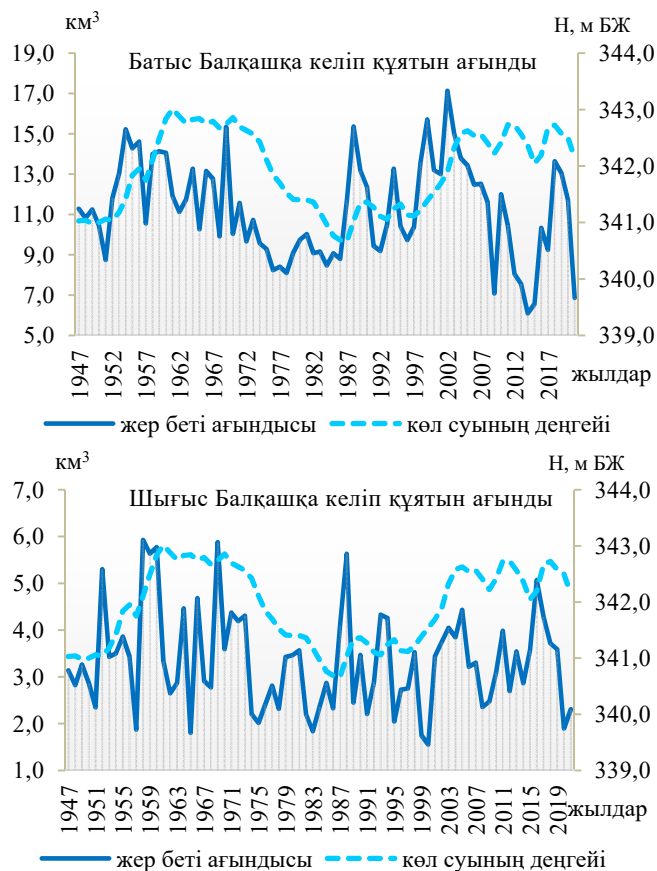
6-сурет – Балқаш көлі алабындағы суармалы жерлер көлемінің өзгеруі, мың га
Figure 6 – Change in the area of irrigated land in the Lake Balkhash basin, thousand hectares

1991 жылы Кеңес Одағы ыдырағаннан кейін Іле өзені атырауындағы және Балқаш көлі алабындағы орасан зор суармалы егістік алқаптары қараусыз қалды, суармалы егіншіліктің төмендеуі Қазақстан Республикасы аумағында антропогендік әсердің айтарлықтай төмендеуіне алып келді. Балқаш көлі алабы ірі суармалы жүйелерінің болуымен ерекшеленеді, оның ішінде ауданы 31,7 мың га, су тұтынуы жылына 1,3 км³ болатын Ақдала күріш массиві, ауданы 20 мың га, тұтынуы 0,3 км³/жыл болатын Қаратал күріш массиві, ауданы 15,3 мың га, жалпы су алуы 166 млн м³/жыл Шеңгелді суару массиві [30, 31].

Бірқатар су қоймаларының пайдалануға берілуі Қазақстан Республикасының аумағындағы өзен ағындысының өзгеруіне айтарлықтай әсер етті. Жалпы алғанда, алаптың қазақстандық бөлігінде 38-ге жуық су қоймасы бар, олардың сыйымдылығы ≥ 106 м³ болатын 9 су қойма, оның ішінде ең ірілері Қапшағай, Бартоғай және Күрті, сонымен қатар жүзден астам орта және шағын көлемді су қоймалары бар [15].

Қапшағай су қоймасы сипаттамалары бойынша еліміздегі ең ірі су қоймаларының бірі болып табылады. Оның жобалық көрсеткіштегі жалпы көлемі 485 м абс. биіктікте 28,1 км³ құрайды, бұл Іле өзені ағындысының екі жылдық көлеміне тең. Су қоймасын толтыру 1969 жылы 29 желтоқсанда басталып, 1985 жылдың 1 қаңтарында оның көлемі 13,99 км³ жетті, бұл жобалық көлемнің шамамен 50%-ы. Су қоймасын толтыру басталып, булану мен фильтрацияға судың қосымша шығыны көбейген кезде Балқаш көлінің деңгейі төмендей бастады. Осыған байланысты, сондай-ақ облыстағы басқа су ағындарында суармалы жерлердің ұлғаюына және басқа да гидротехникалық құрылыстардың салынуына байланысты Қапшағай су қоймасының жобалық деңгейін 10 м-ге, ал көлемін 14 км³-ге дейін төмендету туралы шешім қабылданды.

Осылайша, 1947-2021 жылдар аралығындағы есептеулер нәтижелері бойынша көлге келіп құятын орташа ағынды көлемі: Батыс Балқашқа (Іле өзені) – 11,2 км³/жыл, Шығыс Балқашқа – 3,3 км³/жыл; жалпы көлге – 14,5 км³/жыл құрады. 7-суретте көлдің батыс және шығыс бөліктері үшін жер беті ағындысының көпжылдық жүрісі көрсетілген (7-сурет).



7-сурет – Жер беті ағындысының (өзен ағындысының) көпжылдық жүрісі

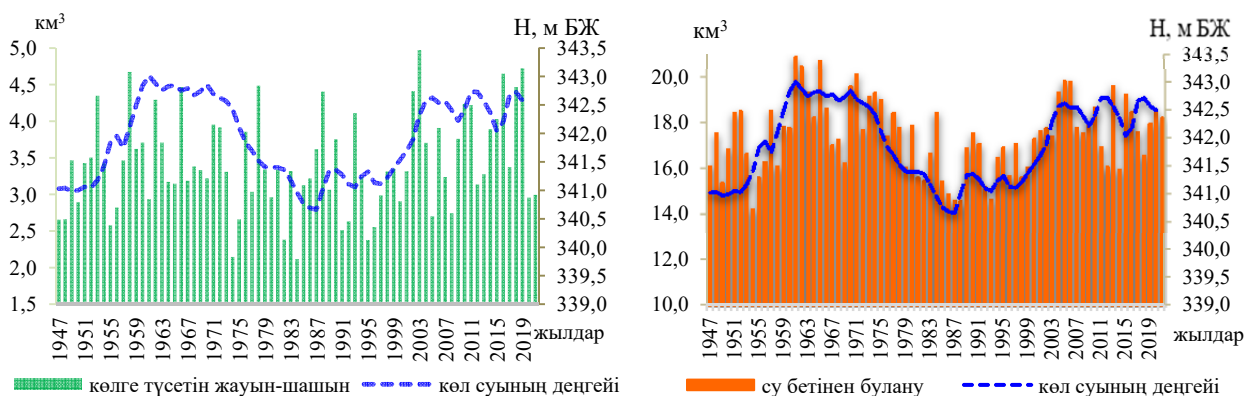
Figure 7 – Multi-year course of surface runoff (river runoff)

Есептеу нәтижелері көрсеткендей, Іле өзені және Балқаш көлінің шартты-табиғи режимі кезеңінде (1947-1969 жж.) көлге келіп құятын жер беті орташа ағындысы келесіні құрады: Батыс Балқашта – 12,3 км³/жыл, Шығыс Балқашта – 3,67 км³/жыл, жалпы көлге – 16,0 км³/жыл.

Қапшағай су қоймасын толтыру кезеңінде (1970-1987 жж.) көлге құятын жер беті орташа ағындысы келесіні құрады: Батыс Балқашқа – 9,48 км³/жыл, Шығысқа – 3,02 км³/жыл, жалпы көлге – 12,5 км³/жыл.

Су мөлшерінің жоғарыланған реттелетін ағынды кезеңінде (1988 – 2010 жж.) көлге келіп құйған жер беті орташа ағындысы мөлшері: Батыс Балқашта – 11,4 км³/жыл; Шығыста – 3,27 км³/жыл; жалпы көлде – 14,7 км³/жыл болды.

Атмосфералық жауын-шашын. Су бетіне түсетін атмосфералық жауын-шашынның жыл аралық өзгергіштігі бар, бірақ көл деңгейінің сызығымен салыстырғанда біркелкі емес. Орташа жылдық жауын-шашын мөлшері көл деңгейінің жүрісімен сәйкес келеді, бірақ максимум және минимумның басында аздап ығысуымен ерекшеленеді, яғни максималды және ең аз жауын-шашынның кезеңі көл деңгейінің максимумынан ертерек болады. Осылайша, 1947 жылдан 1962 жылға дейін көл деңгейінің төмендеуі фондында жауын-шашын мөлшерінің артуы байқалды (8-сурет).



8-сурет – Балқаш көлінің су деңгейінің және су бетінен булану мен су бетіне түсетін жауын-шашын мөлшерінің көпжылдық жүрісі

Figure 8 – Multi-year trends in the water level of Lake Balkhash and the amount of evaporation and precipitation falling on the surface of the water

Көлдің деңгейі көтерілген кезде, жауын-шашын мөлшерінің азаюы байқалады. 1963 жылдан 1971 жылға дейін жауын-шашын көлдердің салыстырмалы түрде жоғары деңгейі кезінде тұрақты болды. 1970 жылдардан кейін, Қапшағай су қоймасы салынғаннан кейін жауын-шашын мөлшері мен көл деңгейі арасындағы байланыс бұзылды, алайда бұзылған ағынды кезеңінде көлдегі судың жоғары деңгейі максималды жауын-шашын мөлшерінен кейін байқалды. Өзен ағындысының көлемімен салыстырғанда жауын-шашынның көлемі шамалы, сондықтан оның жыл аралық және маусымдық су деңгейлерінің өзгергіштігіне әсері азырақ.

Су бетінен булану. Балқаш көлінің су бетінен буланудың көпжылдық жүрісінде 1950-1965 жылдар аралығында су бетінен буланудың тұрақты өсуі байқалды, ал буланудың ұлғаюы көлдің су беті ауданының ұлғаюымен байланысты, өйткені бұл кезеңде көлдегі беттік ағынды көбірек болды және сәйкесінше оның көл айнасының ауданы ұлғайған сайын буланған судың көлемі де өсті. Қапшағай су қоймасын салу және толтыру кезеңінде оның мөлшерінің төмендеуі байқалды, ал одан кейінгі жылдары көл бетінен булану күшейді (8-сурет). Булану қарқындылығын анықтайтын негізгі климат түзуші факторларға ауа температурасы жатады, ал көл маңында орналасқан метеобекеттердің мәліметтері бойынша қарастырылып отырған кезеңде ауа температурасы 0,36⁰C/10 жылға жоғарылаған. Болашақта бұл тенденциялардың сақталуы булану процестерінің қарқындылығының жоғарылауының бастамасы болуы мүмкін.

Жерасты суларының келіп құюы және ағып шығуы. Балқаш көлінің жерасты суларының қоршаған ортамен алмасуы жерасты суларының көл қазаншұңқырына келіп түсуі және көл суының

жағаға сіңуі арқылы жүзеге асады. Судың көл түбіне сүзілуі байқалмаған. Бұл түбін құрайтын сазды жыныстардың сүзу қабілетінің төмендігімен, оның қалың лай шөгінділерімен бітелуімен және қысымның аз градиентімен түсіндіріледі.

Көлдің су теңдестігінде нәтижелік су алмасу (келіп түсу минус ағып шығу) жиі пайдаланылды. Сонымен бірге көптеген зерттеушілер оны оң деп қабылдап, шартты түрде жерасты ағындысы деп атады. Оның мөлшері туралы пікірлер айтарлықтай екіжақты болды.

Өткен ғасырдың 80-жылдарында Қазақстан Республикасы Ғылым академиясының Гидрогеология және гидрофизика институтының қызметкерлері С. М. Шапиро мен О. В. Подольный [32] бақылау деректерін, оның ішінде тәжірибелік бұрғылау жұмыстарын және геофльтрация үдерісін үлгілеуді пайдалана отырып, жерасты сулары деңгейінің маусымдық ауытқуы, жерасты суларының алмасуын бағалау бойынша алдыңғы зерттеулерден көп жағынан сапалы түрде ерекшеленетін жұмыс атқарды. [32] еңбектегі мәліметтері бойынша жерасты су алмасуында көлден судың шығуы басым болады. Нәтижесінде су алмасуы – 0,384 км³/жылға тең, оның ішінде Батыс Балқаш үшін – 0,338, Шығыс Балқаш үшін – 0,046 км³/жыл.

Балқаш көлі су теңдестігінің өзгерістері. Осы зерттеуде Балқаш көлінің су теңдестігі 1947-2021 жылдар аралығында есептелді, бұл кезде метеобекеттер мен бекеттердің бақылау деректері болды, бұл атмосфералық жауын-шашын мен булануды есептеуге негіз болды, олар шартты түрде үш сипаттамалық кезеңге бөлінді. Біріншісі – 1947-1969 жж. шартты-табиғи кезең, антропогендік әсері шамалы; екіншісі – 1970-1987 жж., Қазақстан Республикасы аумағында қарқынды су шаруашылығы қызметіне (Қапшағай су электр станциясын толтыру және суармалы жерлерді игеру) байланысты сумен қамтамасыз етудің қысқаруымен реттелетін кезең; үшіншісі – 1988-2021 жж. сулылықтың жоғарылауымен қазіргі реттелген кезең (Қазақстан Республикасының аумағындағы су шаруашылығы қызметіне және Қытай Халық Республикасы аумағынан Іле өзенінің қарқынды төмендеуіне байланысты).

Су теңдестігінің барлық элементтерін қарастыра отырып, көлдегі судың кірісі мен шығысының толық бейнесін бере аламыз. Өр түрлі кезеңдердегі су теңдестігі құрамдастарының орташа мәндері кестеде келтірілген.

Өртүрлі кезеңдерге арналған Балқаш көлінің орташа су теңдестігі, км³/жыл

Average water balance of Lake Balkhash for different periods, km³/year

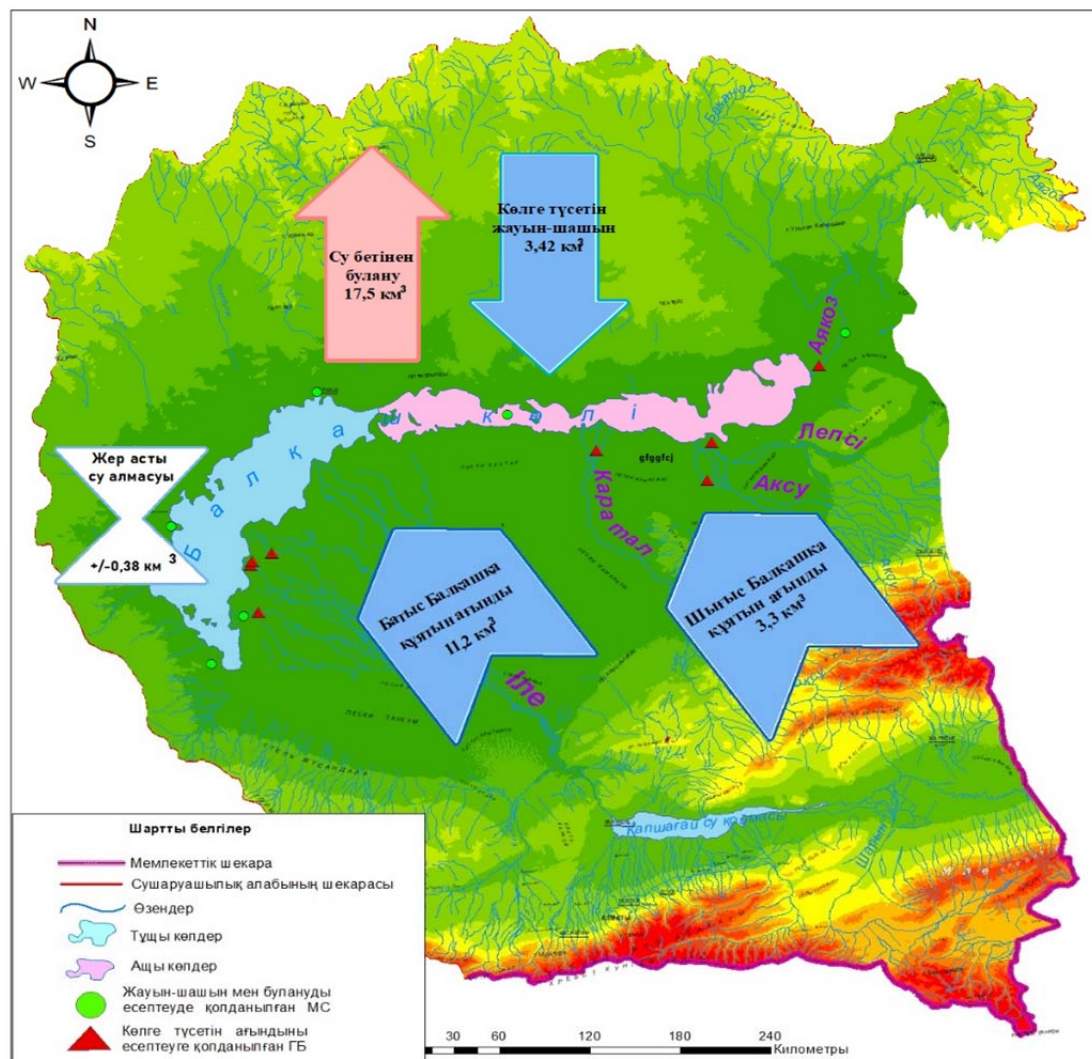
Кезең	Кіріс			Шығыс			Баланс
	Келіп түсетін ағынды	Жауын-шашын	Барлығы	Булану	Vф	Барлығы	
1947-1969	16,0	3,43	19,4	17,8	0,384	18,1	1,30
1970-1987	12,5	3,22	15,7	17,3	0,384	17,6	-1,91
1988-2021	14,7	3,53	18,2	17,1	0,384	17,5	0,70

Кестеден көріп отырғанымыздай, шартты-табиғи кезең (1947-1969 жж.) келесідей болды: жер беті ағындысы – 16,0 км³/жыл; оның 12,3 км³/жыл – Іле өзені бойынша; атмосфералық жауын-шашын – 3,43 км³/жыл, булану – 17,8 км³/жыл.

Қапшағай су электр станциясы салынғаннан кейінгі кезеңде 1970-1987 жж. Балқаш көлінің су теңдестігі қатты өзгерді. Осы кезеңде жер беті суларының нақты келуі 12,5 км³/жыл құрады, ал оның табиғи мөлшері 18,2 км³/жыл болды, яғни антропогендік азаю 5,73 км³/жыл (көлге түспеген), атмосфералық жауын-шашын – 3,22 км³/жыл, булану – 17,3 км³/жыл.

Қазақстан Республикасы мен Қытай Халық Республикасының суы мол циклдың ағындысына антропогендік әсер ету кезеңінде (1988-2021 жж.) көлге келіп түскен су 14,7 км³/жыл, оның 11,4 км³/жыл Іле өзенінен түскен, ал олардың табиғи мөлшері сәйкесінше 21,3 және 17,3 км³/жыл. Атмосфералық жауын-шашын – 3,53 км³/жыл. Көл бетінен булану жылына 17,1 км³.

Шартты-табиғи кезеңдегі су теңдестігінің кіріс бөліктері шығыстан артық болып шықты, ол дегеніміз 1,30 км³ оң сәйкессіздік бар. Су мөлшері азайған реттелетін кезеңде кіріс бөліктерінің көлемі шығыс бөліктерінен аз болды, ал теңдестік сәйкессіздік теріс болды – 1,91 км³. Суы мол реттелген кезеңде су теңдестігінің кіріс бөлігі шығыс бөліктерінен қайтадан жоғарылады, ал теңдестік сәйкессіздік оң сипатқа ие болды және 0,70 км³ құрады.



9-сурет – 1947-2021 жж. аралығындағы Балқаш көлінің орташа су теңдестігі

Figure 9 – Average water balance of Lake Balkhash from 1947 to 2021

Осылайша, 1947-2021 жылдар аралығындағы есептеулер нәтижелері бойынша көлдегі келетін орташа жер беті ағындысы: Батыс Балқашта (Іле өзені) – $11,2 \text{ км}^3/\text{жыл}$; Шығыс Балқашта – $3,3 \text{ км}^3/\text{жыл}$; көлде жалпы алғанда – $14,5 \text{ км}^3/\text{жыл}$ құраған (9-сурет).

Көл бетіне түсетін орташа жауын-шашын мөлшері $3,42 \text{ км}^3/\text{жыл}$, су бетінен булану – $17,5 \text{ км}^3/\text{жыл}$, жерасты суларының алмасуы – $0,38 \text{ км}^3$ құрады.

Қорытынды. Балқаш көлінің су теңдестігі элементтерінің алынған мәндерін талдау нәтижесінде теңдестіктің кіріс бөлігінде негізгі үлесі Іле өзені бойымен Батыс Балқашқа құятын жер беті су ағындысына тиесілі деген қорытындыға келуге болады, Шығыс Балқашқа келетін өзен ағындысы көлемі көл бетіне түсетін атмосфералық жауын-шашынмен сәйкес келеді. Көлге түсетін ағынды судың барлығы дерлік булануға жұмсалады. Көлдегі су деңгейінің динамикасы күрделі және түсініксіз. Балқаш көлінің орташа жылдық су деңгейінің хронологиялық жүрісі соңғы онжылдықта деңгей режимінің фазасы, амплитудасы және ұзақтығы айтарлықтай өзгерістерге ұшырағанын көрсетеді. Мысалы, қысқа мерзімді тербелістердің амплитудасы $0,7-0,8$ метрге жетті, олар бұрын тегістелген және $0,5$ м-ден аспайтын.

Қаржыландыру. Бұл ғылыми зерттеу Қазақстан Республикасы Ғылым және жоғары білім Министрлігінің АР19677869 «Балқаш көлінің су деңгейін басқарудың гидрологиялық негіздері» гранттық қаржыландыру бағдарламасы негізінде жасалынды.

ӘДЕБИЕТ

- [1] Голомах Ю. В., Сало Ю. А. Структура многолетнего водного баланса озера Пряжинское // Петрозаводск, 2006. – С. 4.
- [2] Методы изучения и расчета водного баланса / Ред. В. С. Вуглинский, Г. С. Клейн и др. – Л., 1981. – С. 201-233.
- [3] Torabi Haghighi A., Bjørn Kløve A sensitivity analysis of lake water level response to changes in climate and river regimes // *Limnologica*. – 2015. – Vol. 51. – P. 118-130. <https://doi.org/10.1016/j.limno.2015.02.001>
- [4] Викулина З. А. Водный баланс озер и водохранилищ Советского Союза. – Л.: Гидрометеиздат, 1979. – 174 с.
- [5] Шнитников А. В. Внутривековая изменчивость компонентов общей увлажненности. – Л.: Наука, 1969. – 246 с.
- [6] Юнусов Г. Р. Водный баланс озера Балкаш // Проблемы водохозяйственного использования р. Или: Сб. науч. работ. – Алма-Ата, 1950. – С. 141-189.
- [7] Жиркевич А. Н. Водный баланс озера Балкаш и перспективы его изменений в связи с использованием водных ресурсов Или-Балкашского бассейна // Труды КазНИГМИ. – М.: Гидрометеиздат, 1972. – Вып. 44. – С. 140-168.
- [8] Курдин Р. Д., Рубинович С. А. Прогноз изменения водного баланса, уровня и минерализации воды оз. Балкаш на ближайшие десятилетия // Труды КазНИГМИ. – М.: Гидрометеиздат, 1975. – Вып. 52. – С. 64-86.
- [9] Голубцов В. В., Жиркевич А. Н. Водный баланс оз. Балкаш и динамика его элементов в естественных условиях и проведении в бассейне водохозяйственных мероприятий // Труды КазНИГМИ. – 1973. – Вып. 50. – С. 153-177.
- [10] Myrzakhmetov A., Dostay Z., Alimkulov S., Tursunova A., Sarsenova I. Level regime of Balkhash Lake as the indicator of the state of the environmental ecosystems of the region // *Paddy and Water Environment*. – 2022. – № 20(3). – P. 315-323. <https://doi.org/10.1007/s10333-022-00890-x>
- [11] Разработка метода составления годового водного баланса оз. Балкаш: Отчет о НИР / РГП «Казгидромет» № ГР 01930010160 / Отв. исполн. С. П. Шиварева. – Алматы, 2005. – 47 с.
- [12] Браславский А. П., Чистяева С. П. Определение исправленных атмосферных осадков по методике ГГО-КазНИИ // Тр. КазНИГМИ. – 1979. – Вып. 65. – С. 3-94.
- [13] Браславский А. П., Остроумова Л. П. Расчет испарения воды с поверхности оз. Балкаш // Тр. КазНИИ Госкомгидромета. – 1988. – Вып. 101. – С. 52-78.
- [14] Остроумова Л. П. Учет сложной конфигурации при расчете температуры и влажности натекающего воздуха по данным наблюдений на прибрежной метеостанции // Тр. КазНИИ Госкомгидромета. – Вып. 91. – 1985. – С. 72-75.
- [15] Достай Ж. Д. Управление гидроэкосистемой бассейна озера Балкаш. – Алматы, 2009. – 236 с.
- [16] Достай Ж. Д., Алимкулов С. К., Сапарова А. А. Водные ресурсы Казахстана: оценка, прогноз, управление. Ресурсы речного стока. Возобновляемые ресурсы поверхностных вод юга и юго-востока Казахстана. – Алматы, 2012. – Т. VII, кн. 2. – 360 с.
- [17] Мальковский И. М., Толеубаева Л. С. Трансграничный бассейн озера Балкаш: сценарии сбалансированного водопользования // Материалы II всероссийской научной конференции «Водные и экологические проблемы Сибири и Центральной Азии». – Барнаул, 2014. – С. 337-343.
- [18] Медеу А. Р., Мальковский И. М., Толеубаева Л. С. Арал и Балкаш: зоны реального и потенциального водного кризиса. – 2016. http://www.cawater-info.net/bk/papers_01.htm
- [19] Зонн И. С., Жильцов С. С., Семенов А. В., Костяной А. Г. Трансграничные реки Казахстана и Китая // Вестник Московского университета им. С.Ю. Витте. Серия 1: Экономика и управление. – 2018. – № 4(27). – С. 82-90.
- [20] Luo L., Gao Y.Q. Current status of policies and laws for sustainable development and utilization of land and water resources along He River and its development strategies // *J. South. Agric.* – 2011. – Vol. 42. – P. 1579-1582.
- [21] Thevs N., Nurtazin S., Beckmann V., Ott K., Imentai A., Baibagysov A. Desertification risks and land use changes in the transboundary Ili river basin, Kazakhstan and China // In Proceedings of the International Disaster and Risk Conference IDRC. – Davos, Switzerland. – 2014.
- [22] Спивак Л. Ф., Муратова Н. Р., Витковская И. С., Батырбаева М. Ж., Алибаев К. У., Модажанов С. Г. Результаты космического мониторинга системы водохранилищ на притоках реки Иле на территории Китая // Материалы Международной научно-практической конференции, посвященной подведению итогов объявленного ООН десятилетия «Вода для жизни». – Алматы, 2016. – Кн. 1. – С. 424-432.
- [23] Терехов А. Г., Долгих С. А. Геоинформационная система оперативной оценки объема запаса воды в искусственных водохранилищах китайского сектора бассейна реки Иле // Материалы Международной научно-практической конференции, посвященной подведению итогов объявленного ООН десятилетия «Вода для жизни». – Алматы, 2016. – Кн. 1. – С. 170-175.
- [24] Severskiy I., Vilesov E., Armstrong R., et al. Changes in glaciation of the Balkhash–Alakol basin, central Asia, over recent decades // *Annals of Glaciology*. – 2016. – Vol. 57(71). – P. 382-394. <https://doi.org/10.3189/2016AoG71A575>
- [25] Вилесов Е. Н. Изменение размеров и состояния ледников Казахстана за 60 лет (1955-2015 гг.) // Лед и снег. – 2018. – Т. 58, № 2. – С. 159-170. <https://doi.org/10.15356/2076-6734-2018-2-159-170>
- [26] Қалдыбаев А. А., Yaning Ch. Оценка изменений площади ледников в северной части Жетысуского Алатау на основе данных ДЗЗ // Хабаршы. География сериясы. – 2022. – № 3(66). – С. 4-16. <https://doi.org/10.26577/JGEM.2022.v66.i3.01>
- [27] Усманова З.С., Капица В.П. Современное оледенение и гляциальные озера бассейна Каратал // *KazNU Bulletin. Geography series*. – 2015. – № 1(40). – С. 255-265.

- [28] Усманова З.С. Оценка изменений ледников бассейнов рек Шарын и Текес (казахстанская часть бассейна реки Иле) по данным космического мониторинга // Вестник КазНУ. Серия геогр. – 2014. – № 1(38). – С. 72-79.
- [29] Shahgedanova M., Afzal M., Severskiy I. et al. Changes in the mountain river discharge in the northern Tien Shan since the mid-20th Century: Results from the analysis of a homogeneous daily streamflow data set from seven catchments // J. Hydrol. – 2018. – No. 564. – P. 1133-1152. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2018.08.001>
- [30] Бурлибаев М. Ж., Достай Ж. Д., Мирхашимов И. А., Николаенко Э., Турсунов А. А. Современное экологическое состояние экосистем Иле-Балкашского бассейна. – Алматы, 2009. – 115 с.
- [31] Отчет о деятельности БАБИ за 2014 год. Алматы: Балкаш-Алакольская бассейновая инспекция по регулированию использования и охраны водных ресурсов, 2015. – 341 с.
- [32] Шапиро С. М., Подольный О.В. Подземный сток в озере Балкаш // Подземный водообмен суши и моря. – Л.: Гидрометеоздат, 1984. – С.128-138.

REFERENCES

- [1] Golomakh Yu.V., Salo Yu.A. The structure of the long-term water balance of Lake Pryazhinskoe. Petrozavodsk, 2006. P. 4 (in Russ.).
- [2] Methods of studying and calculating the water balance / Ed. by V. S. Vuglinsky, G. S. Klein et al. L., 1981. P. 201-233 (in Russ.).
- [3] Torabi Haghighi A., Bjørn Kløve A sensitivity analysis of lake water level response to changes in climate and river regimes // *Limnologica*. 2015. Vol. 51. P. 118-130. <https://doi.org/10.1016/j.limno.2015.02.001>
- [4] Vikulina Z. A. The water balance of lakes and reservoirs of the Soviet Union. L.: Hydrometeoizdat, 1979. 174 p. (in Russ.).
- [5] Shnitnikov A. V. Intrasecular variability of the components of total moisture. L.: Nauka, 1969. 246 p. (in Russ.).
- [6] Yunusov G. R. The water balance of Lake Balkash // Problems of water management use of the Ili river: Collection of scientific papers. Alma Ata, 1950. P. 141-189 (in Russ.).
- [7] Zhirkevich A. N. The water balance of Lake Balkash and the prospects of its changes in connection with the use of water resources of the Ili-Balkash basin // Proceedings of KazNIGMI. Moscow: Gidrometeoizdat. 1972. Issue 44. P. 140-168 (in Russ.).
- [8] Kurdin R. D., Rubinovich S. A. Forecast of changes in the water balance, lake water level and mineralization. Balkash for the coming decades // Proceedings of KazNIGMI. Moscow: Gidrometeoizdat, 1975. Issue 52. P. 64-86 (in Russ.).
- [9] Golubtsov V. V., Zhirkevich A.N. The water balance of the lake. Balkash and the dynamics of its elements in natural conditions and conducting water management activities in the basin // Proceedings of KazNIGMI. 1973. Issue 50. P. 153-177 (in Russ.).
- [10] Myrzakhetmetov A., Dostay Z., Alimkulov S., Tursunova A., Sarsenova I. Level regime of Balkhash Lake as the indicator of the state of the environmental ecosystems of the region // *Paddy and Water Environment*. 2022. No. 20(3). P. 315-323 <https://doi.org/10.1007/s10333-022-00890-x>
- [11] Development of a method for compiling the annual lake water balance. Balkash: Research report / RSE "Kazhydromet" No. GR 01930010160 / Translated by S. P. Shivareva. Almaty, 2005. 47 p. (in Russ.).
- [12] Braslavskiy A. P., Chistyayeva S. P. Determination of corrected atmospheric precipitation by the methodology of the State // Tr. KazNIGMI. 1979. Issue 65. P. 3-94 (in Russ.).
- [13] Braslavskiy A. P., Ostroumova L. P. Calculation of evaporation of water from the lake surface. Balkash // Tr. KazNII Goskomhydromet. 1988. Issue 101. P. 52-78 (in Russ.).
- [14] Ostroumova L.P. Taking into account a complex configuration when calculating the temperature and humidity of the flowing air according to observations at a coastal meteorological station // Tr. KazNII Goskomhydromet. 1985. Vol. 91. P. 72-75 (in Russ.).
- [15] Dostay J.D. Management of the hydroecosystem of the Lake Balkash basin. Almaty, 2009. 236 p. (in Russ.).
- [16] Dostay J.D., Alimkulov S.K., Saparova A.A. Water resources of Kazakhstan: assessment, forecast, management. River flow resources. Renewable resources of surface waters of the south and south-east of Kazakhstan. Almaty, 2012. Vol. VII, book 2. 360 p. (in Russ.).
- [17] Malkovsky I. M., Toleubaeva L. S. Transboundary basin of Lake Balkhash: scenarios of balanced water use // Proceedings of the II All-Russian scientific conference Water and environmental problems of Siberia and Central Asia. Barnaul, 2014. P. 337-343 (in Russ.).
- [18] Medeu A. R., Malkovsky I. M., Toleubaeva L. S. Aral and Balkhash: zones of real and potential water crisis. 2016. http://www.cawater-info.net/bk/papers_01.htm (in Russ.).
- [19] Zonn I.S., Zhiltsov S.S., Semenov A.V., Kostyanov A.G. Transboundary rivers of Kazakhstan and China // Bulletin of the S.Y. Witte Moscow University. Series I: Economics and Management. 2018. No. 4(27). P. 82-90 (in Russ.).
- [20] Luo L., Gao Y.Q. Current status of policies and laws for sustainable development and utilization of land and water resources along Ili River and its development strategies // *J. South. Agric.* 2011. Vol. 42. P. 1579-1582.
- [21] Thevs N., Nurtazin S., Beckmann V., Ott K., Imentai A., Baibagysov A. Desertification risks and land use changes in the transboundary Ili river basin, Kazakhstan and China // In Proceedings of the International Disaster and Risk Conference IDRC. Davos, Switzerland, 2014 (in Russ.).

[22] Spivak L. F., Muratova N. R., Vitkovskaya I. S., Bатырбаева M. Zh., Alibaev K. U., Modazhanov S. G. Results of space monitoring of the reservoir system on the tributaries of the Ile River in China // Proceedings of the International Scientific and Practical Conference dedicated to summarizing the results of the UN Decade "Water for Life". Almaty, September 22-24, 2016. Book 1. P. 424-432 (in Russ.).

[23] Terekhov A. G., Dolgikh S. A. Geoinformation system for the operational assessment of the volume of water reserves in artificial reservoirs of the Chinese sector of the Ile River basin // Proceedings of the International Scientific and Practical Conference dedicated to summarizing the results of the UN decade Water for Life. Almaty, September 22-24, 2016. Book 1. P. 170-175 (in Russ.).

[24] Severskiy I., Vilesov E., Armstrong R., et al. Changes in glaciation of the Balkhash–Alakol basin, central Asia, over recent decades // Annals of Glaciology. 2016. Vol. 57(71). P. 382-394. <https://doi.org/10.3189/2016AoG71A575>

[25] Vilesov E. N. Change in the size and condition of glaciers in Kazakhstan over 60 years (1955-2015) // Ice and snow. 2018. Vol. 58, No. 2. P. 159-170. <https://doi.org/10.15356/2076-6734-2018-2-159-170>(in Russ.).

[26] Kaldybaev A. A., Yaning Ch. Assessment of changes in the area of glaciers in the northern part of the Zhetysu Alatau based on remote sensing data // Khabarshy. Geography of the series. 2022. No. 3(66). P. 4-16. <https://doi.org/10.26577/JGEM.2022.v66.i3.01> (in Russ.).

[27] Usmanova Z. S., Kapitsa V. P. Modern glaciation and glacial lakes of the Karatal basin // KazNU Bulletin. Geography series. 2015. No. 1(40). P. 255-26 (in Russ.).

[28] Usmanova Z. S. Assessment of glacier changes in the Sharyn and Tekes river basins (the Kazakh part of the Ile River basin) according to space monitoring data // Bulletin of KazNU. Geogr series. 2014. No. 1(38). P. 72-79 (in Russ.).

[29] Shahgedanova M., Afzal M., Severskiy I. et al. Changes in the mountain river discharge in the northern Tien Shan since the mid-20th Century: Results from the analysis of a homogeneous daily streamflow data set from seven catchments // J. Hydrol. 2018. 564. P. 1133-1152. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2018.08.001>

[30] Burlibaev M. Zh., Dostai Zh. D., I. Mirkhashimov, A., Nikolaenko E., Tursunov A.A. The current ecological state of the ecosystems of the Ile-Balkash basin. Almaty, 2009. 115 p. (in Russ.).

[31] Report on BABI's activities for 2014. Balkhash-Alakol Basin Inspectorate for the Regulation of the Use and Protection of Water Resources. Almaty, 2015. 341 p. (in Russ.).

[32] Shapiro S. M., O.V.Podolny. Underground runoff into Lake Balkash // Underground water exchange of land and sea. L.: Gidrometeoizdat, 1984. P. 128-138 (in Russ.).

**С. К. Алимкулов¹, А. Б. Мырзахметов², Э. К. Талипова³,
Г. Р. Баспакова^{*4}, М. А. Канай⁵, Д. А. Рустем⁶**

¹ К. г. н., ассоциированный профессор, заместитель председателя правления
(АО «Институт географии и водной безопасности», Алматы, Казахстан; sayat.alimkulov@mail.ru)

² PhD, старший научный сотрудник (АО «Институт географии и водной безопасности»,
Алматы, Казахстан; ahan.myrzahmetov@mail.ru)

³ PhD, старший научный сотрудник (АО «Институт географии и водной безопасности»,
Алматы, Казахстан; elmira_280386@mail.ru)

^{4*} PhD, старший научный сотрудник (АО «Институт географии и водной безопасности»,
Алматы, Казахстан; sharafedenova@mail.ru)

⁵ Докторант, младший научный сотрудник (КазНУ им. аль-Фараби, АО «Институт географии
и водной безопасности», Алматы, Казахстан; takpal_994@mail.ru)

⁶ Магистрант, ведущий инженер (КазНУ им. аль-Фараби, АО «Институт географии и
водной безопасности», Алматы, Казахстан; rustem.darkhan@mail.ru)

ИССЛЕДОВАНИЕ ВОДНОГО БАЛАНСА ОЗЕРА БАЛКАШ С УЧЕТОМ ОСНОВНЫХ КЛИМАТИЧЕСКИХ ФАКТОРОВ И КРУПНЫХ ВОДОХОЗЯЙСТВЕННЫХ МЕРОПРИЯТИЙ В БАССЕЙНЕ

Аннотация. Исследован водный баланс озера Балкаш с учетом влияния климатических изменений и антропогенных факторов, таких, как трансграничный характер реки Иле и водохозяйственная деятельность в регионе. Представлены многолетние данные наблюдений за стоком рек, атмосферными осадками и испарением, а также оценено влияние регулирования речного стока на динамику водного баланса. Установлен водный баланс озера Балкаш с 1947 по 2021 год. По результатам расчетов средний поверхностный сток озера составил 14,5 км³/год, осадки – 3,42 км³/год, испарение – 17,5 км³/год, обмен подземных вод – 0,38 км³. Результаты могут быть использованы для разработки стратегий устойчивого управления водными ресурсами Балкаш-Алакольского бассейна.

Ключевые слова: водный баланс, приход, расход, речной сток, атмосферные осадки, испарение.

S. K. Alimkulov¹, A. B. Myrzakhmetov², E. K. Talipova³,
G. R. Baspakova*⁴, M. A. Kanay⁵, D. A. Rustem⁶

¹ Candidate of Geographical Sciences, associate Professor, Deputy Chairman of the Board
(JSC «Institute of Geography and water security», Almaty, Kazakhstan; sayat.alimkulov@mail.ru)

² PhD, Senior Researcher (JSC «Institute of Geography and water security»,
Almaty, Kazakhstan; ahan_myrzahmetov@mail.ru)

³ PhD, Senior Researcher (JSC «Institute of Geography and water security»,
Almaty, Kazakhstan; elmira_280386@mail.ru)

^{4*} PhD, Senior Researcher (JSC «Institute of Geography and water security»,
Almaty, Kazakhstan; sharafedenova@mail.ru)

⁵ Doctoral student, junior researcher (Al-Farabi Kazakh National University,
JSC «Institute of Geography and water security», Almaty, Kazakhstan; makpal_994@mail.ru)

⁶ Master, Leading Engineer (Al-Farabi Kazakh National University,
JSC «Institute of Geography and water security», Almaty, Kazakhstan; rustem.darkhan@mail.ru)

WATER BALANCE OF LAKE BALKHASH, TAKING INTO ACCOUNT THE MAIN CLIMATIC FACTORS AND MAJOR WATER MANAGEMENT ACTIVITIES IN THE BASIN

Abstract. The article studies the water balance of Lake Balkhash taking into account the influence of climatic changes and anthropogenic factors such as the transboundary character of the Ile River and water management activities in the region. Long-term observation data on river runoff, precipitation and evaporation are presented, and the influence of river runoff regulation on water balance dynamics is assessed. The study calculated the water balance of Lake Balkhash in the period from 1947 to 2021. According to the results of calculations, the average surface runoff of the lake was 14.5 km³/year, precipitation – 3.42 km³/year, evaporation – 17.5 km³/year, groundwater exchange – 0.38 km³. The results obtained can be used to develop strategies for sustainable water resources management in the Balkash-Alakol basin.

Keywords: water balance, arrival, flow, river runoff, precipitation, evaporation.

<https://doi.org/10.55764/2957-9856/2025-1-56-68.6>

МРНТИ 38.61.31

УДК 556.38

Т. Эм*¹, Р. Аманжолова², Т. Рахимов³, А. Мусаева⁴

¹* Магистрант (АО «Казахстанско-Британский технический университет», Алматы, Казахстан; t_em@kbtu.kz)

² Магистрант (АО «Казахстанско-Британский технический университет», Алматы, Казахстан; r_amanzholova@kbtu.kz)

³ PhD, заведующий лабораторией региональной гидрогеологии и геоэкологии (АО «Институт гидрогеологии и геоэкологии им. У. М. Ахмедсафина», Алматы, Казахстан; t.rakhimov@satbayev.university)

⁴ Магистрант (Казахский национальный университет им. аль-Фараби, Алматы, Казахстан; asem.musayeva.02@mail.ru)

АЛЬТЕРНАТИВНОЕ РЕШЕНИЕ ПО УПРАВЛЕНИЮ ВОДОНОСНЫМИ ГОРИЗОНТАМИ И ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДОВ ИНФИЛЬТРАЦИИ И АККУМУЛЯЦИИ В СЕЛЬСКОМ ХОЗЯЙСТВЕ

Аннотация. Изменение климата оказывает значительное влияние на водные ресурсы во всем мире, выявляя недостатки традиционных методов управления водными ресурсами. Длительные засухи, усиление штормовой активности, сокращение снежного покрова и изменение динамики стока создают дополнительные сложности для обеспечения водной безопасности. Традиционные гидротехнические сооружения, включая плотины и водохранилища, играют значительную роль, но с меньшей вероятностью решают проблему эффективного распределения воды на локальном уровне, особенно в засушливых районах. Сельскохозяйственное орошение управляемое методом AgMAR позволяет не только эффективно использовать воду, но и пополнять запасы подземных вод, снижая зависимость от поверхностных источников. Рассматривается возможность внедрения сельскохозяйственного управляемого восполнения запасов водоносных горизонтов (AgMAR) в Казахстане. Для моделирования почвенных слоев, динамики водных потоков и принципов MAR используется 3D-визуализация, созданная с помощью библиотеки PyVista. Результаты исследования показывают, что AgMAR обладает значительным потенциалом для ирригации и управления водными ресурсами в сельских районах. Среди ключевых преимуществ отмечаются стабилизация уровня грунтовых вод, восполнение запасов водоносных горизонтов в период сезонных осадков, улучшение качества подземных источников воды и повышение доступности пресной воды.

Ключевые слова: AgMAR/FloodMAR, INOWAS, наводнение, устойчивость, подземные воды, сельскохозяйственное орошение.

Введение. Управление рисками наводнений и засух становится все более сложным из-за растущего воздействия человеческой деятельности на климат. Для повышения устойчивости экосистем и обеспечения жизнедеятельности населения в ряде стран, включая США и Европу, активно внедряются передовые технологии, такие, как управляемое восполнение запасов водоносных горизонтов в сельском хозяйстве (AgMAR) и управление паводковыми водами (FloodMAR) [1].

AgMAR является одной из наиболее перспективных технологий этот метод активно развивается и применяется под различными названиями, такими, как искусственное восполнение грунтовых вод в сельском хозяйстве, восполнение запасов на фермерских угодьях или перехват паводковых вод. Суть технологии заключается в перенаправлении избыточных поверхностных вод, образующихся вследствие осадков, таяния снега или сбросов из водохранилищ, на сельскохозяйственные земли для восполнения запасов подземных водных ресурсов [2].

Основным показателем эффективности AgMAR является степень приемистости почвы за счет высокого коэффициента фильтрации насыщенной почвы (K_s). Хотя процессы преимущественного стока остаются сложными для моделирования, K_s продолжают использовать как практичный и общепринятый индикатор скорости инфильтрации.

Наибольших успехов в развитии технологии AgMAR достигли в США и Европе [3]. Этот метод включает контроль влажности почвы и использование природных почвенных процессов для устойчивого восполнения запасов подземных вод. Применение технологий искусственного увлажнения почвы в условиях засухи помогает сократить потери урожая и смягчить влияние сезонных климатических изменений.

Примеры успешного внедрения AgMAR. Калифорния стала первым регионом, использующим индекс запасов подземных вод (GWSI) для выявления наиболее пригодных для AgMAR сельскохозяйственных земель с помощью цифрового анализа почв (рисунки 1, 2). Этот подход позволил проводить целенаправленные исследования и разрабатывать методы возделывания многолетних культур, которые одновременно способствуют пополнению подземных вод и повышению сельскохозяйственной продуктивности [4].



Рисунок 1 – Наводнение / Сельское хозяйство. Управляемое пополнение водоносных горизонтов в Калифорнии [5]

Figure 1 – Flooding / Agriculture. Managed Aquifer Recharge in California [5]

Рисунок 2 –
Метод искусственного затопления
с использованием технологии MAR
в Калифорнии, США [4]

Figure 2 – Artificial flooding method
using MAR technology in California,
USA [4]



Опыт развития сельского хозяйства в области виноградарства, садоводства и орошаемого земледелия подробно описан в исследовании "Managed Aquifer Recharge for Agriculture in Australia". В нем рассматриваются схемы накопления подземных вод и преимущества применения Agricultural MAR. Исследование охватывает водоснабжающие системы Литл-Пара, Локайер и Ангас-Бремер, где объемы пополнения водных ресурсов составили $0,6$, $8,9$ и $6,5 \cdot 10^6$ м³ в год соответственно.

Эффективность Managed Aquifer Recharge (MAR) достигала 37–67% от общего пополнения водных объемов, что делает этот метод надежным решением для удовлетворения потребностей в орошении. Производители плодоовощной продукции могут рассматривать MAR как альтернативный источник водоснабжения. Например, в районах Альдинг и Ангас-Бремер внедрение систем закачки воды в скважины способствовало увеличению урожайности винограда премиум-класса. Дополнительное преимущество заключается в том, что использование существующих подземных

источников требует минимальных первоначальных вложений, так как инфраструктура скважин зачастую уже имеется [6].

Технологии MAR (управляемого пополнения водных ресурсов) обеспечивают фильтрацию поверхностных вод и восполнение запасов подземных источников, включая их очистку для питьевых нужд. В Германии, где поверхностные воды подвержены загрязнению, контроль качества питьевых источников является приоритетной задачей. Для выявления загрязнителей, оптимизации методов комбинированной очистки и эффективной настройки систем MAR применяются различные стратегии, направленные на обеспечение высокого качества питьевой воды [7].

Исследовательский и учебный центр MAR, созданный на территории Назарбаев Университета рядом с озером Талдыколь, является экспериментальной площадкой для тестирования передовых водных технологий. В центре изучаются методы MAR в сочетании с устойчивыми городскими дренажными системами (SUDS) для разработки сценариев инфильтрации, способствующих рациональному управлению водными ресурсами. Исследования направлены на учет местного и регионального водного баланса, включая ливневые, талые и паводковые воды.

Перспективы MAR в Казахстане. Продвижение технологий TERESA, INOWAS MAR и Flood-MAR в регионы республики, особенно в сельскую местность, откроет новые возможности для повышения эффективности орошения (рисунок 3). Их внедрение позволит оптимизировать хранение и распределение воды, а также повысить устойчивость аграрного сектора к изменениям климата. Интеграция методов MAR в системы устойчивого орошения станет важным шагом к обеспечению водной и продовольственной безопасности страны [8].



Рисунок 3 – Проект TERESA в Астане, в кампусе Назарбаев Университета (NU) [9]

Figure 3 – TERESA project in Astana, on the campus of Nazarbayev University (NU) [9]

Проект содержит основные компоненты применения технологии, показанные на рисунке 4.

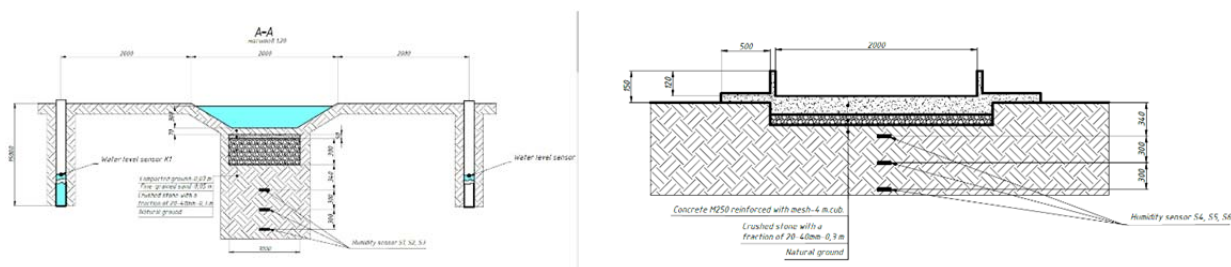


Рисунок 4 – TERESA исследовательский полигон в NU [10]

Figure 4 – TERESA research site at NU [10]

На рисунке 5 изображена метеорологическая станция, которая регистрирует температуру воздуха, направление ветра, индекс солнечной радиации, влажность и количество осадков. Это оборудование для исследований, которое используется в рамках проекта TERESA INOWAS MAR.



Рисунок 5 – Метеорологическая станция в Назарбаев Университете [10]

Figure 5 – Meteorological station at Nazarbayev University [10]

Soil sensors parameters

depths

- 34cm
- 64 cm
- 94 cm

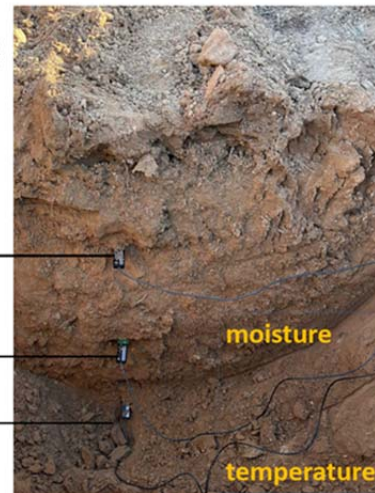


Рисунок 6 – Устройство для измерения грунта с использованием датчиков на разных уровнях [10]

Figure 6 – Ground measurement device using sensors at different levels [10]

Проведены измерения параметров почвы с использованием датчиков контроля температуры и влажности (рисунок 6).

В результате поверх проницаемого покрытия были размещены две скважины, где была определена дренажная система для канавы, показанной на рисунке 7, и установлены насосные скважины для откачки и пополнения запасов грунтовых вод (рисунок 8).

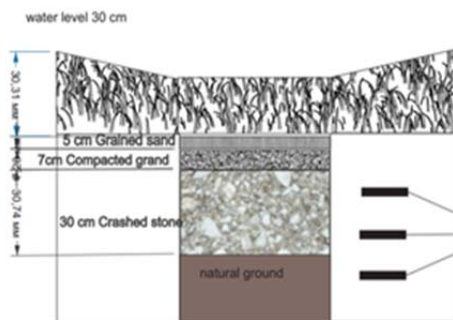


Рисунок 7 – Проектный план системы дренажной канавы [10]

Figure 7 – Design plan of the drainage ditch system [10]

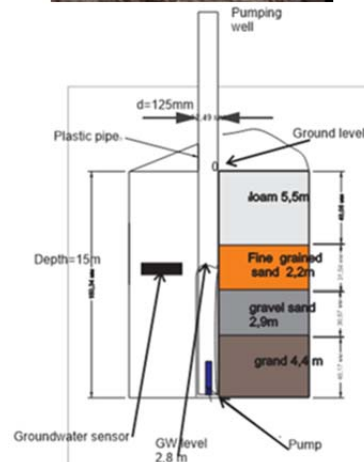


Рисунок 8 – Строительство дренажной канавы [10]

Figure 8 – Construction of a drainage ditch [10]

Использование подобных установок позволяет проводить контролируемые эксперименты для анализа и визуализации паводков вне зависимости от погодных условий.

Анализ регионов с недостаточной системой накопления воды. Опыт Испании показывает, что опора исключительно на плотины имеет ограниченную эффективность в борьбе с внезапными ливнями. Несмотря на значительные инвестиции в инфраструктуру, города продолжают подвергаться наводнениям, приводя к человеческим жертвам (рисунок 9). В связи с этим Испания выплатила компенсации по страховым случаям, связанным с чрезвычайными рисками. Исследователи отмечают, что сочетание двухлетней засухи и аномально высоких температур усугубило ситуацию, усилив воздействие рекордных осадков [11].



Рисунок 9 – Катастрофическое наводнение в Испании, 7 ноября 2024 года [11]

Figure 9 – Catastrophic flooding in Spain, 7 November 2024 [11]



Рисунок 10 – Наводнение в селе Кызылагаш [12]

Figure 10 – Floods in Kyzylagash village [12]

Аналогичная ситуация наблюдалась в 2010 году в селе Кызылагаш Алматинской области Казахстана (рисунок 10). Произошло разрушительное наводнение с человеческими жертвами. Это событие связано с разрушением плотины, вызванным таянием снега и проливными дождями. В результате было повреждено более 80% инфраструктуры деревни. Первоначально планировалось накопить больше поверхностной воды в водохранилище в рамках подготовки к засушливому летнему сезону. Однако никто не ожидал, что это обернется катастрофой [12].

Внедрение MAR в Казахстане: необходимость и перспективы. Расширение применения технологий MAR в Казахстане представляет собой важную инициативу, направленную на эффективное управление водными ресурсами. В рамках немецко-казахстанского сотрудничества реализуется проект TERESA, который способствует устойчивому использованию поверхностных и подземных вод, опираясь на передовой немецкий опыт в области смягчения последствий наводнений и засух. Одним из ключевых пилотных районов исследования выбран город Астана, где рядом с Назарбаев Университетом функционирует учебный центр MAR, специализирующийся на изучении водно-болотных угодий. Здесь тестируются различные методы MAR и устойчивые городские дренажные системы (SUDS), разрабатываются сценарии инфильтрации для повышения эффективности управления водными ресурсами. В дальнейшем планируется активное продвижение проекта TERESA INOWAS MAR в сельскохозяйственном секторе, что позволит оптимизировать использование земельных ресурсов. Усиленный мониторинг ливневых, талых и паводковых вод создаст условия для интеграции MAR в системы устойчивого орошения, тем самым повысит продуктивность сельского хозяйства.

Материалы и методы исследования. В качестве объекта исследования выбран Балтабайский сельский округ (ранее совхоз «Балтабай табаководческий»), основанный в 1961 году в центральной части Енбекшиказахского района Алматинской области (рисунок 11). Этот регион отличается богатой историей и устойчивыми сельскохозяйственными традициями, включая выращивание зерновых и овощных культур. Первое детальное полевое обследование почвенных условий здесь было проведено в 1972 году, что позволило комплексно оценить земельные ресурсы округа.

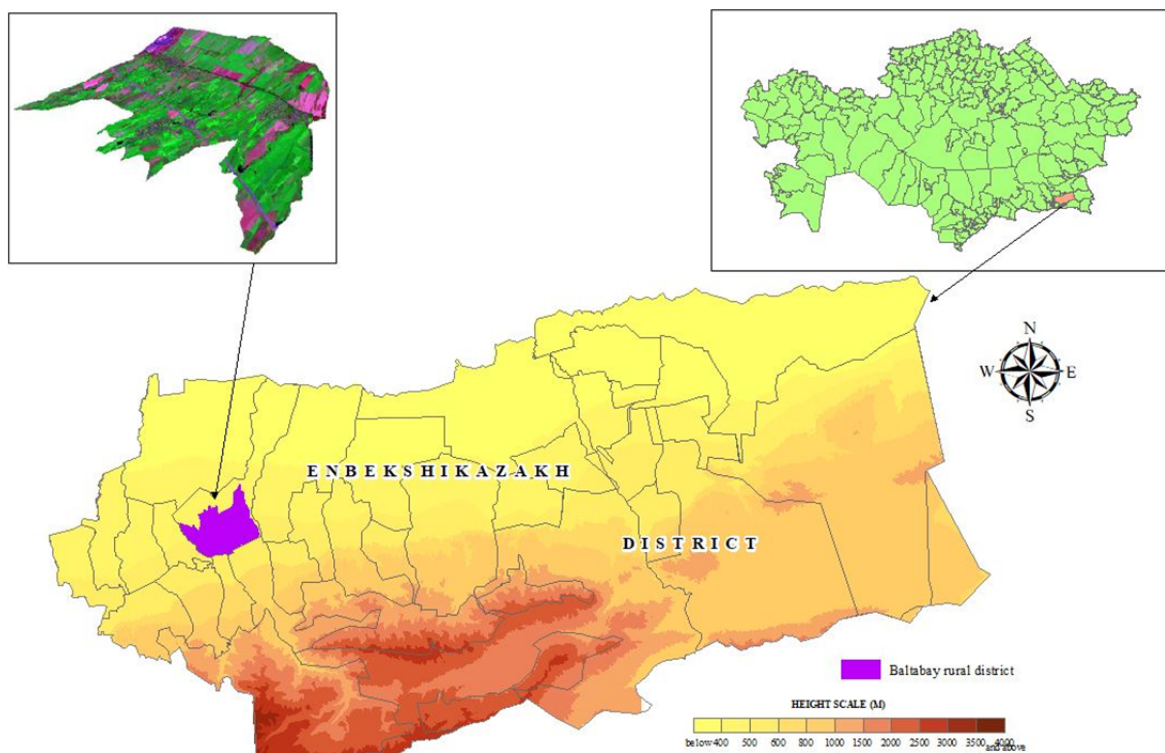


Рисунок 11 – Общая карта Енбекшиказахского района

Figure 11 – General map of Yenbekshikazakh district

Балтабайский сельский округ расположен в 54 км к востоку от областного центра и в 25 км к северу от районного центра, города Иссыка. Через его территорию проходит Большой Алма-тинский канал им. Д. Кунаева, обеспечивающий водоснабжение и орошение предгорных территорий. В состав округа входят села Балтабай, Бирлик и Енбек. Общая площадь орошаемых земель составляет 6389,58 га, из которых 5795 га заняты пашнями. Основные сельскохозяйственные культуры – кукуруза, пшеница, овощи и бахчевые.

Природные условия и сельское хозяйство. Развитие сельского хозяйства в округе зависит от активного применения ирригационных технологий. Высокие летние температуры, сильные восточные ветры и низкая влажность вызывают дефицит влаги, что делает орошение необходимым условием для земледелия. В округе выращивают пшеницу, ячмень, кукурузу, подсолнечник, кормовые травы и овощи. Несмотря на природные сложности, регион обладает значительным аграрным потенциалом.

Рельеф и гидрография. Балтабайский сельский округ расположен на предгорной аккумулятивной равнине на высоте 500–750 м над уровнем моря, с постепенным уклоном на север. Через его территорию протекают реки Турген, Балтабай, Карасу, Макан, Куватобе, Жарылган и другие. Речные долины имеют крутые обрывистые склоны. Южная часть района характеризуется каменистыми почвами, центральная является водоразделом, а северная – волнистым рельефом, пересеченным реками и родниками. Условия местности благоприятны для механизированной обработки почвы и выращивания сельскохозяйственных культур.

Почвы и растительность. Почвенный покров округа варьируется в зависимости от рельефа, уровня грунтовых вод и типа почвы. Преобладают светло-каштановые почвы, которые являются суглинистыми и имеют гумусовый горизонт толщиной 1,75–2,38%. Они богаты калием, но бедны фосфором, что требует внесения удобрений. Эти почвы относятся к первой агропромышленной группе и наиболее подходят для возделывания зерновых культур и кукурузы.

Лугово-сероземные почвы имеют суглинистый состав, умеренное содержание гумуса (до 2,8%) и склонность к засолению. Требуют мелиоративных мероприятий, таких, как дренаж, что подразумевает сбор и отвод грунтовых вод с помощью инженерно-технических сооружений.

Методы оценки фильтрации. Для оценки фильтрационных свойств почв применяются методы А. К. Болдырева и Н. С. Нестерова. В проницаемых грунтах используется метод А. К. Болдырева, а в низкопроницаемых – метод Н. С. Нестерова [13].

Двухкольцевой инфильтрометр является одним из наиболее распространенных инструментов для измерения скорости инфильтрации воды в почву. Его использование позволяет снизить влияние бокового стока и обеспечить более точную оценку водопроницаемости грунта (рисунок 12). Эти данные критически важны при проектировании ирригационных систем, разработке стратегий сохранения почвенной влаги и управлении водными ресурсами [14, 15].

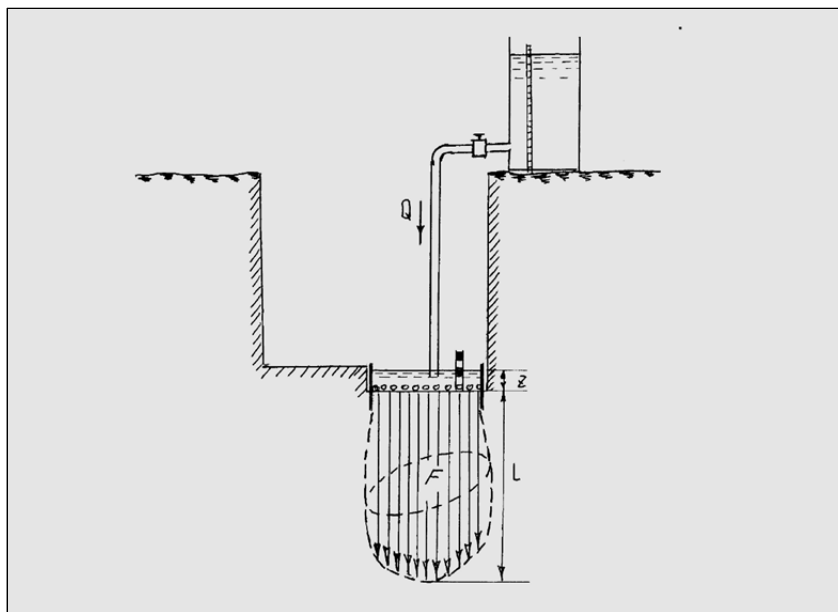


Рисунок 12 – График изменения расхода и общего объема воды при заполнении экспериментального шурфа

Figure 12 – Graph of change in flow rate and overall water volume during filling of the experimental pits

Для построения этой модели использовался набор данных по Балтабайскому сельскому округу, включающий почвенные индексы, значения осадков и статистику инфильтрации во временном масштабе. Язык программирования Python предоставляет широкий инструментарий для обработки данных. В работе применялись библиотеки Pandas и Numpy, обеспечивающие коррективку и фильтрацию районных измерений, содержащих числовые параметры, такие, как индексы и процентное содержание осадков. После сбора и предварительной обработки данных использовалась библиотека PyVista для 3D-моделирования, позволяющая визуализировать пространственные характеристики исследуемой территории [16].

Методы сценарного моделирования с помощью библиотек Pandas, Numpy, PyVista. В качестве сбора данных используется библиотека Pandas (рисунок 13) и методы для считывания и обработки файлов типа Excel и CSV.

```
try:
    if data_type == "well":
        data = pd.read_csv(file_path)
    else:
        data = pd.read_excel(file_path, engine='openpyxl')
    self.data_descriptors[data_type] = data
except Exception as e:
    raise ValueError(f"Failed to load {data_type} data: {e}")
```

Рисунок 13 – Реализация метода с помощью библиотеки Pandas

Figure 13 – Method implementation using Pandas library

Numpy – это библиотека для работы с данными, представленными списками. В проекте для реализации метода наложения слоёв почвы использовалась функция `np.linspace`, которая помогла распределить границы слоёв с заданным расстоянием. Метод `np.meshgrid` используется для сбора данных почвы в матрицу трёхмерного отображения. Генерирование текстуры псевдометодом реализовано библиотекой `Noise` с применением математического алгоритма классического шума Перлина (рисунок 14).

```

if row['Soil Name'] == "Surface":
    # Генерируем поверхность с шумом Перлина
    x = np.linspace(extended_bounds[0], extended_bounds[1], 50)
    y = np.linspace(extended_bounds[2], extended_bounds[3], 50)
    x, y = np.meshgrid(x, y)

    z = np.zeros_like(x)
    for i in range(x.shape[0]):
        for j in range(x.shape[1]):
            z[i, j] = depth_high + noise.pnoise2(
                x[i, j] / 50.0,
                y[i, j] / 50.0,
                octaves=3,
                persistence=0.5,
                lacunarity=2.0
            ) * 5
            if i == 0 and j == 0: # Печатаем примерное значение для первого узла
                print(f"[DEBUG] Noise value at (0, 0): {z[i, j]}")

    surface = pv.StructuredGrid(x, y, z)
    self.plotter.add_mesh(surface, color=color, opacity=0.5)

```

Рисунок 14 – Использование библиотек Numpy и Noise для отрисовки слоёв почвы

Figure 14 – Using the Numpy and Noise libraries to render soil layers

3D-визуализирование объектов скважины, насоса, дождевых капель создано благодаря библиотеке `PyVista` (рисунок 15). Она использует встроенные методы 3D концепций геометрических фигур (цилиндра, сферы, куба, параллелепипеда, конуса и др.).

```

# Добавляем структуру скважины
well_cylinder = pv.Cylinder(
    center=(0, y_position, (surface_level + groundwater_depth) / 2),
    direction=(0, 0, -1),
    height=abs(surface_level - groundwater_depth),
    radius=3.5
)
self.plotter.add_mesh(well_cylinder, color='gray', opacity=0.9)

```

Рисунок 15 – Использование библиотеки PyVista для генерации геометрического объекта скважины

Figure 15 – Using the PyVista library to generate a geometric well object

Сценарий 1, представленный на рисунке 16, отображает фазу естественного накопления поверхностной воды в накопительный шурф для очистки воды от инородных веществ.

Сценарий 2 – активная фаза использования электрической дренажной системы с работой насоса (рисунок 17). Этот метод основан на накопительном процессе поверхностной воды и пополнении подземных источников для равномерного распределения и регулирования водных ресурсов.

Сценарий 3 отображает последствия климатических случаев длительных засух (рисунок 18). В это время происходит процесс активного выкачивания подземной воды и насыщения орошаемых земель методом естественного затопления. Метод является полезным для активного распределения поверхностных и подземных вод.

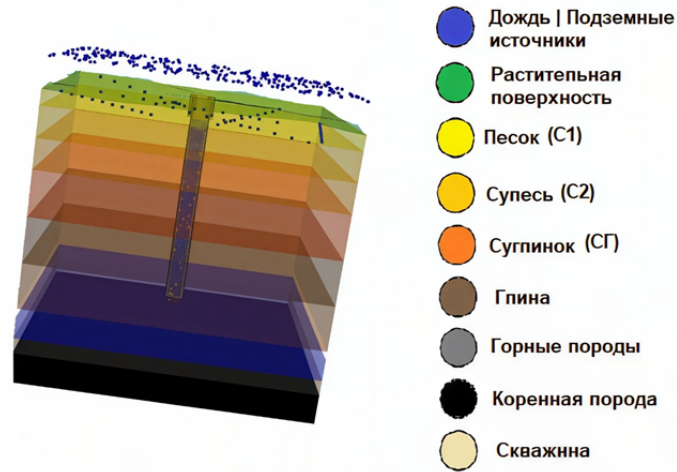


Рисунок 16 – Сценарий с осадками и пополнением наружного кольца
Figure 16 – Scenario with precipitation and replenishment of the outer circle

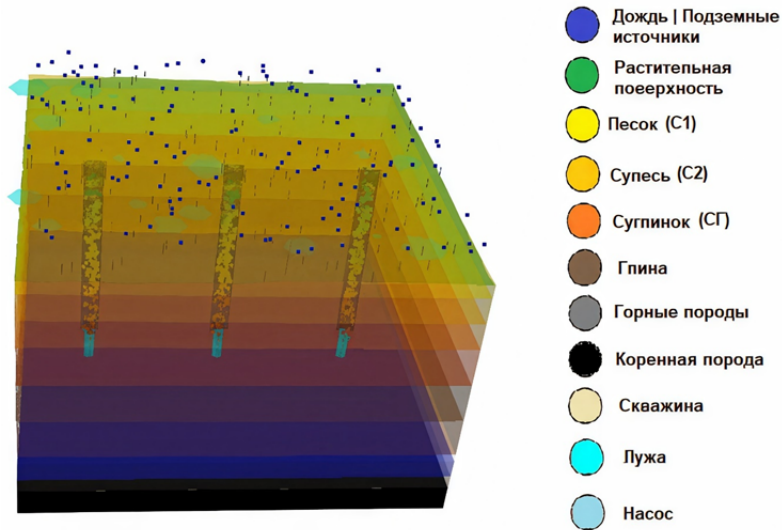


Рисунок 17 – Сценарий инфильтрации с пополнением внутреннего кольца
Figure 17 – Infiltration scenario with refilling of the inner circle

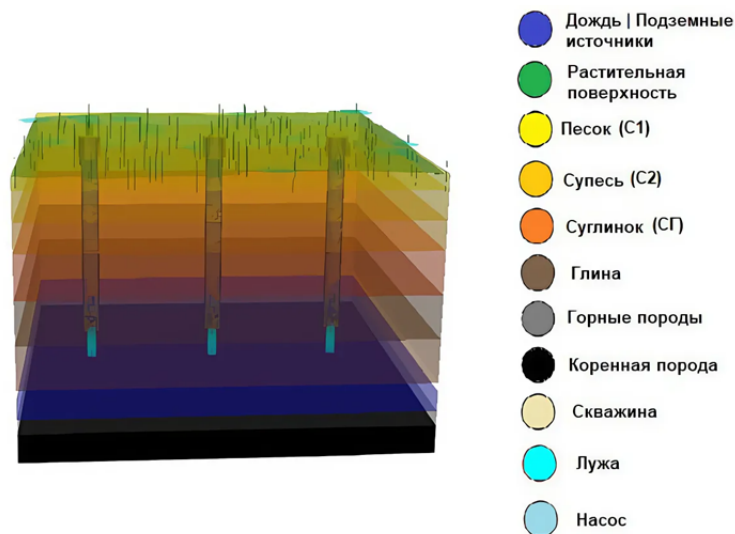


Рисунок 18 – Сценарий искусственного насыщения органического слоя почвы за счет работы насосной системы
Figure 18 – Scenario of artificial saturation of soil organic layer due to pumping system operation

Пространственное моделирование и искусственная аккумуляция подземных вод. Пространственное моделирование играет важную роль в изучении процессов искусственной аккумуляции подземных вод. В рамках исследования рассматриваются ключевые этапы формирования почвенных слоев, механизмы инфильтрации, роль подземного водонакопления и возможные сценарии их рационального использования. Модели, основанные на фактических данных о территориях, демонстрируют потенциал применения искусственных водных ресурсов в различных условиях.

Одним из ключевых направлений является моделирование процессов инфильтрации, позволяющее оценить физико-химические свойства почвы. Например, осадочные воды не всегда достигают глубоких горизонтов из-за формирования иловых прослоек, которые, будучи рыхлыми и слабо проницаемыми, приводят к образованию заболоченных участков. Со временем такие участки пересыхают, что ограничивает возможность повторного использования накопленной воды и её поступление в нижние слои. Этот феномен иллюстрирует как потенциальные риски, так и возможности применения технологий искусственного орошения.

Искусственное орошение играет важную роль в поддержании стабильного роста сельскохозяйственных культур. Для его эффективного функционирования необходимы точные данные о структуре почвы, уровнях осадков и современные технологии мониторинга. В Балтабайском сельском округе предлагается внедрение электрической системы дренажных скважин, обеспечивающей:

- мониторинг влажности почвы – постоянное отслеживание изменений уровня влажности;
- регулирование процесса орошения – автоматическое поддержание оптимальных условий для роста сельскохозяйственных культур;
- очистку осадочных вод – удаление примесей перед хранением в водоупорных слоях.

Применение таких технологий повышает эффективность управления водными ресурсами и способствует устойчивому развитию сельского хозяйства в условиях изменяющегося климата.

Результаты и их обсуждение. *Реализация AgMAR в Балтабайском сельском округе.* Реализация управляемого восполнения запасов подземных вод в сельскохозяйственном орошении методом AgMAR, в Балтабайском сельском округе Алматинской области является важным шагом в поддержке устойчивого развития Казахстана. В рамках проекта было установлено пять скважин, позволяющих эффективно управлять процессами инфильтрации и магацинирования воды в почву.

Ключевые аспекты внедрения AgMAR:

- мониторинг инфильтрации: важным элементом реализации MAR является постоянное наблюдение за процессами фильтрации профиль почвы;
- учет свойств почвы: эффективность инфильтрации зависит от типа почвы и её физических характеристик, что требует комплексного анализа перед внедрением системы;
- изменение гидравлических свойств: при длительном заводнении инфильтрационных участков исходные гидравлические характеристики почвы могут изменяться из-за явления заиливания, которое приводит к снижению скорости инфильтрации, что является одной из ключевых эксплуатационных проблем MAR-систем.

Использование шурфов (см. рисунки 12, 16, 17, 18) является эффективным решением для предотвращения данного процесса. Этот подход минимизирует негативные последствия физических, биологических и химических загрязнений, обеспечивая стабильные характеристики инфильтрации в системах искусственного восполнения запасов подземных вод.

В сельском хозяйстве применяется метод естественного затопления, известный как «черный полив». Да, согласны, что такие технологии требуют больших объемов воды, из которых эффективно используется всего 50–60%. Предлагаемая нами методика актуальна лишь в паводковый период. Если расход воды не контролировать в отсутствие паводков, это может привести к истощению как поверхностных, так и подземных источников из-за нарушения водного баланса.

Метод искусственного затопления с применением технологии AgMAR нацелен на пополнение запасов грунтовых вод с минимизацией потерь с акцентом на использование паводковых дренажных вод.

Заключение. Казахстан сталкивается с проблемами водных ресурсов, которые заключаются в отсутствии надлежащей практики для обеспечения их устойчивости.

Изучение показало, что интеграция поверхностных и подземных вод с помощью рециркуляционных ирригационных систем способствует распространению MAR по всему Казахстану. Это исследование является первой попыткой расширить и показать результаты управления подземными водами для сельских районов, выгоды и преимущества для фермеров и местных жителей при хранении и управлении водой.

AgMAR способствует выбору правильной методологии орошения с учетом современных принципов развития сельского хозяйства. Он тесно связан с концепцией пополнения подземных вод (MAR), которая, в свою очередь, реализует способы сохранения возобновляемых источников и обеспечивает их повторное использование даже в условиях сезонных засух. Таким образом, грамотное использование AgMAR поможет повысить производительность сельскохозяйственной отрасли во всех регионах Казахстана.

Внедрение AgMAR призвано увеличить эффективность использования подземных вод для поддержки сельскохозяйственного производства и правильного развития градостроительства. Такие регионы, как Южный и Западный Казахстан, имеют явные проблемы с нехваткой воды в сезоны засухи. Северная и восточная части сталкиваются с токсичностью воды из-за наличия в ней вредных химических элементов. В этих ситуациях у MAR есть ряд полезных решений, основанных на накоплении и очистке подземных вод.

Финансирование. Работа поддержана грантовым финансированием проекта ИРН AP23490043 «Перспективы применения инновационных технологий интегрированного использования поверхностных и подземных вод путем создания оборотных систем водопользования для орошения» Министерства науки и высшего образования Республики Казахстан на 2024-2026 годы.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Sallwey J., Barquero F., Fichtner T., Stefan C. Planning MAR Schemes Using Physical Models: Comparison of Laboratory and Field Experiments // *Applied Sciences*. 9. 3652. – 2019. 10.3390/app9183652
- [2] Bachand S. M., Hossner R., Bachand M. A. 2017 OFR demonstration site monitoring and analyses: Effects on soil hydrology and salinity, and potential implications on soil oxygen. – 2019.
- [3] Dahlke H. E., Brown A. G., Orloff S., Putnam D., O'Geen T. Managed winter flooding of alfalfa recharges groundwater with minimal crop damage // *California Agriculture*. – 2018. – Vol. 72, No. 1. – P. 1-75. <https://doi.org/10.3733/ca.2018a0001>
- [4] Harter T., Dahlke H. E. Out of sight but not out of mind: California refocuses on groundwater // *California Agriculture*. – 2014. – Vol. 68, No. 3. – P. 54-55. <https://doi.org/10.3733/ca.v068n03p54>
- [5] Impact of Flood-MAR strategy in California, USA [Электрон. ресурс]. – URL:<https://floodmar.org/> (дата обращения: 26.12.2024).
- [6] Declan P., Joanne V., Dennis G., James B., Pascal C. Managed aquifer recharge for agriculture in Australia – History, success factors and future implementation // *Agricultural Water Management*. – 2023. – Vol. 285. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2023.108382>.
- [7] Tabea M., Lutz A., Philipp W. Managed aquifer recharge as a potential pathway of contaminants of emerging concern into groundwater systems – A systematic review // *Chemosphere*. – 2024. – Vol. 364. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2024.143030>.
- [8] TERESA, Urban water management: German expertise for Kazakh cities [Электрон. ресурс]. – URL:<https://www.teresa.inowas.com/> (дата обращения: 26.12.2024).
- [9] Платформа Google Earth [Электрон. ресурс]. – URL:<https://earth.google.com/web/> (дата обращения: 26.12.2024).
- [10] Amanzholova R., Sarsekova D., Stefan C., Sagin J., King R., Timur E. TVET IT technologies support for the water resources, agro forest shelterbelts sustainability // 2024 IEEE 4th International Conference on Smart Information Systems and Technologies (SIST): Мат-лы Международ. конф. Astana, Kazakhstan, 2024. – Astana, 2024. – P. 239-244. <https://doi.org/10.1109/SIST61555.2024.10629634>
- [11] Spain's catastrophic floods by the numbers: At least 219 dead, 93 missing and billions in damage [Электрон. ресурс]. – URL:<https://www.independent.co.uk/news/valencia-ap-spain-madrid-andalusia-b2643313.html> (дата обращения: 26.12.2024).
- [12] Отслеживание сезонных наводнений в Казахстане с течением времени. Кызылагашский район. 2010 [Электрон. ресурс]. – URL:<https://astanatimes.com/2024/04/tracing-kazakhstans-seasonal-floods-through-time/> (дата обращения: 26.12.2024).
- [13] Absametov M. K., Murtazin E., Kulagin V. V., Makyzhanova A., Ismagulova A. Infiltration and colmatation dynamics on physical models' study by infiltration basins at artificial groundwater recharge // *Water Conservation & Management*. – 2024. – Vol. 7, No. 1. – P. 45-54. 10.26480/wcm.01.2023.45.54
- [14] Sparovek G., de Jong van Lier Q., Marcinkonis S., Rogasik J., Schnug E. A simple model to predict river floods – A contribution to quantify the significance of soil infiltration rates // *Landbauforschung Volkenrode*. – 2002. – Vol. 52, No. 3. – P. 187-195.
- [15] Köhne J., Júnior J., Köhne S., Tiemeyer B., Lennartz B., Kruse J. (2011). Double ring and tension infiltrometer measurements of hydraulic conductivity and mobile soil regions // *Pesquisa Agropecuária Tropical*. – 2011. – Vol. 41. – P. 336-347. 10.5216/pat.v41i3.11376.

[16] Python. Плагин PyVista. Детальная документация [Электрон. ресурс]. – URL:<https://docs.pyvista.org/> (дата обращения: 26.12.2024).

REFERENCES

- [1] Sallwey J., Barquero F., Fichtner T., Stefan C. Planning MAR Schemes Using Physical Models: Comparison of Laboratory and Field Experiments // *Applied Sciences*. 9. 3652. 2019. 10.3390/app9183652
- [2] Bachand S. M., Hossner R., Bachand M. A. 2017 OFR demonstration site monitoring and analyses: Effects on soil hydrology and salinity, and potential implications on soil oxygen. 2019.
- [3] Dahlke H. E., Brown A. G., Orloff S., Putnam D., O'Geen T. Managed winter flooding of alfalfa recharges groundwater with minimal crop damage // *California Agriculture*. 2018. Vol. 72, No. 1. P. 1-75. <https://doi.org/10.3733/ca.2018a0001>
- [4] Harter T., Dahlke H. E. Out of sight but not out of mind: California refocuses on groundwater // *California Agriculture*. 2014. Vol. 68, No. 3. P. 54-55. <https://doi.org/10.3733/ca.v068n03p54>
- [5] Impact of Flood-MAR strategy in California, USA [Electronic resource]. URL:<https://floodmar.org/> (date of access: 26/12/2024).
- [6] Declan P., Joanne V., Dennis G., James B., Pascal C. Managed aquifer recharge for agriculture in Australia History, success factors and future implementation // *Agricultural Water Management*. 2023. Vol. 285. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2023.108382>.
- [7] Tabea M., Lutz A., Philipp W. Managed aquifer recharge as a potential pathway of contaminants of emerging concern into groundwater systems A systematic review // *Chemosphere*. 2024. Vol. 364. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2024.143030>.
- [8] TERESA, Urban water management: German expertise for Kazakh cities [Electronic resource]. – URL:<https://www.teresa.inowas.com/> (date of access: 26/12/2024).
- [9] Google Earth platform [Electronic resource]. URL:<https://earth.google.com/web/> (date of access: 26/12/2024).
- [10] Amanzholova R., Sarsekova D., Stefan C., Sagin J., King R., Timur E. TVET IT technologies support for the water resources, agro forest shelterbelts sustainability // 2024 IEEE 4th International Conference on Smart Information Systems and Technologies (SIST): AgMAR Astana, 2024. P. 239-244. <https://doi.org/10.1109/SIST61555.2024.10629634>
- [11] Spain's catastrophic floods by the numbers: At least 219 dead, 93 missing and billions in damage [Electronic resource]. – URL:<https://www.independent.co.uk/news/valencia-ap-spain-madrid-andalusia-b2643313.html> (date of access: 26/12/2024).
- [12] Tracking seasonal floods in Kazakhstan over time. Kyzylagash district. 2010 [Electronic resource]. – URL:<https://astanatimes.com/2024/04/tracing-kazakhstan-seasonal-floods-through-time/> (date of access: 26/12/2024) (in Russ.).
- [13] Absametov M.K., Murtazin E., Kulagin V.V., Makyzhanova A., Ismagulova A. Infiltration and colmatation dynamics on physical models' study by infiltration basins at artificial groundwater recharge // *Water Conservation & Management*. 2024. Vol. 7, No. 1. P. 45-54. 10.26480/wcm.01.2023.45.54
- [14] Sparovek G., de Jong van Lier Q., Marcinkonis S., Rogasik J., Schnug E. A simple model to predict river floods – A contribution to quantify the significance of soil infiltration rates // *Landbauforschung Volkenrode*. 2002. Vol. 52, No. 3. P. 187-195.
- [15] Köhne J., Júnior J., Köhne S., Tiemeyer B., Lennartz B., Kruse J. (2011). Double ring and tension infiltrometer measurements of hydraulic conductivity and mobile soil regions // *Pesquisa Agropecuária Tropical*. 2011. Vol. 41. P. 336-347. 10.5216/pat.v41i3.11376.
- [16] Python. PyVista plugin. Full documentation [Electronic resource]. – URL:<https://docs.pyvista.org/> (date of access: 26/12/2024).

Т. Эм*¹, Р. Аманжолова², Т. Рахимов³, А. Мусаева⁴

¹* Магистрант («Қазақстан-Британ техникалық университеті», АҚ, Алматы, Қазақстан; t_em@kbtu.kz)

² Магистрант («Қазақстан-Британ техникалық университеті», АҚ, Алматы, Қазақстан; r_amanzholova@kbtu.kz)

³ PhD, аймақтық гидрогеология және геоэкология зертханасының меңгерушісі («У. М. Ахмедсафин атындағы Гидрогеология және геоэкология институты» АҚ, Алматы, Қазақстан; t.rakhimov@satbayev.university)

⁴ Магистрант (Өл-Фараби атындағы ҚазҰУ, Алматы, Қазақстан; asem.musayeva.02@mail.ru)

СУЛЫ ГОРИЗОНТТАРДЫ БАСҚАРУДЫҢ БАЛАМАЛЫ ШЕШІМІ ЖӘНЕ АУЫЛ ШАРУАШЫЛЫҒЫНДА ИНФИЛЬТРАЦИЯ МЕН АККУМУЛЯЦИЯ ӘДІСТЕРІН ҚОЛДАНУ

Аннотация. Климаттың өзгеруі әлемдегі су ресурстарына айтарлықтай әсер етеді, ауа райының болжамсыз болуына әкеліп, дәстүрлі су ресурстарын басқару әдістерінің кемшіліктерін анықтайды. Ұзаққа созылған қуаңшылықтар, дауыл белсенділігінің күшеюі, қар жамылғысының азаюы және ағын динамикасының өзгеруі су қауіпсіздігін қамтамасыз етуде қосымша қиындықтар туғызады. Дәстүрлі гидротехникалық құрылыстар, соның ішінде бөгеттер мен су қоймалары, маңызды рөл атқарады, бірақ әсіресе құрғақ аймақтарда суды жергілікті деңгейде тиімді бөлу мәселесін әрдайым шеше бермейді. AgMAR сияқты ауыл

шаруашылығын суару әдістері суды тиімді пайдалануға ғана емес, жер асты су қорын толықтыруға да мүмкіндік береді, осылайша жер үсті су көздеріне тәуелділікті азайтады. Бұл зерттеуде Қазақстанда ауыл шаруашылығын басқарылатын сулы горизонттарды толықтыру (AgMAR) жүйесін енгізу мүмкіндігі қарастырылады. Топырақ қабаттарын, су ағынының динамикасын және MAR қағидаларын модельдеу үшін PyVista кітапханасы негізінде жасалған 3D-визуализациясы қолданылады. Зерттеу нәтижелері AgMAR жүйесінің ауылдық аймақтардағы ирригация және су ресурстарын басқару үшін үлкен әлеуетке ие екенін көрсетеді. Негізгі артықшылықтарына жер асты сулары деңгейінің тұрақтануы, маусымдық жауын-шашын кезінде сулы горизонттардың толықтырылуы, жер асты суларының сапасының жақсаруы және тұщы судың қолжетімділігінің артуы жатады.

Түйін сөздер: AgMAR, су тасқыны, MAR, INOWAS, TERESA тұрақтылық.

T. Em^{*1}, R. Amanzholova², T. Rahimov³, A. Musayeva⁴

^{1*}MS student (JSC “Kazakhstan-British Technical University”, Almaty, Kazakhstan; t_em@kbtu.kz)

²MS student (JSC “Kazakhstan-British Technical University”, Almaty, Kazakhstan; r_amanzholova@kbtu.kz)

³PhD, Head of the Laboratory of Regional Hydrogeology and Geoecology (JSC “Institute of Hydrogeology and Geoecology named after U. M. Akhmedsafin”, Almaty, Kazakhstan; t.rahimov@satbayev.university)

⁴MS student (Al-Farabi Kazakh National University, Almaty, Kazakhstan; asem.musayeva.02@mail.ru)

ALTERNATIVE SOLUTION FOR AQUIFER MANAGEMENT AND APPLICATION OF INFILTRATION AND ACCUMULATION METHODS IN AGRICULTURE

Abstract. Climate change has a significant impact on water resources worldwide, leading to more unpredictable weather conditions and revealing the shortcomings of traditional water management methods. Prolonged droughts, increased storm activity, reduced snow cover, and changes in runoff dynamics pose additional challenges to ensuring water security. Traditional hydraulic structures, including dams and reservoirs, play an important role but are less likely to effectively distribute water at the local level, especially in arid regions. Agricultural irrigation methods such as AgMAR not only enable efficient water use but also replenish groundwater reserves, reducing dependence on surface sources. This study explores the potential implementation of Agricultural Managed Aquifer Recharge (AgMAR) in Kazakhstan. For modeling soil layers, water flow dynamics, and MAR principles, 3D visualization created with the PyVista library is used. The research results indicate that AgMAR has significant potential for irrigation and water resource management in rural areas. Key benefits include groundwater level stabilization, aquifer recharge during seasonal precipitation, improved groundwater quality, and increased freshwater availability.

Keywords: AgMAR, flood, MAR, INOWAS, flood, TERESA, sustainability.

Гидрохимия и качество воды

Гидрохимия және судың сапасы

Hydrochemistry and water quality

<https://doi.org/10.55764/2957-9856/2025-1-69-77.7>

FTAMP 70.27.17
ӨОЖ 556

Г. Е. Садвакасова*¹, Т. А. Базарбаева², З. М. Арғынбаева³

¹ PhD докторант (Әл-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университеті, Алматы, Қазақстан; sadvakassovagauhar@gmail.com)

² Г. ғ. к., доцент, тұрақты даму бойынша ЮНЕСКО кафедрасының меңгерушісі (Әл-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университеті, Алматы, Қазақстан; tursynkul.bazarbayeva@gmail.com)

³ Аға оқытушы, химия ғылымдарының магистрі (Қазақ ұлттық қыздар педагогикалық университеті, Алматы, Қазақстан; argynbaeva.zaure@qyzpu.edu.kz)

ҚАРАТАЛ, АҚСУ, ЛЕПСІ ӨЗЕНДЕРІНІҢ ГИДРОХИМИЯЛЫҚ РЕЖИМІНІҢ МОНИТОРИНГІ

Аннотация. Мақалада Қаратал, Ақсу, Лепсі өзендерінің гидрохимиялық сипаттамасы, гидрологиялық режимі, гидробиологиялық зерттеулердің нәтижесі және қазіргі уақытта өзен суының сапасын қалыптастыру ерекшеліктерін зерттеу нәтижелері баяндалды. «Қазгидромет» РМК «Қазақстан Республикасының жер үсті суларының сапасы туралы жылдық деректер» ақпараттық-талдау материалдарын жүйелі талдау нәтижесінде Қаратал, Лепсі, Ақсу өзендерінің экологиялық жағдайы мен су сапасына баға берілді. Мониторинг 2015 жылдан 2020 жылға дейін жүргізілді. Су температурасының өзгеруі, еріген оттегінің мөлшері, рН мәні және минералдануы мен негізгі бейорганикалық компоненттері (катиондар мен аниондар) анықталды, өзен суларының химиялық құрамының қалыптасуы мен өзгеруіне табиғи және антропогендік факторлардың әсері қарастырылды.

Түйін сөздер: мониторинг, гидрохимия, кіші өзендер, шекті рұқсат етілген көлем.

Кіріспе. Табиғи жағдайда су ешқашан таза күйінде кездеспейді. Өзен суларының минералдану дәрежесі және суда еріген заттардың құрамы бірқатар факторларға: тау жыныстары мен топырақтың құрамына, биологиялық процестерге, климаттық және қазіргі уақыттағы негізгі факторлардың бірі антропогендік әсер ету жағдайларына байланысты. Бұл тұрғыда кіші өзендерге ерекше көңіл бөлінеді, себебі кіші өзендер елді мекендерде ауыз су және шаруашылық сумен жабдықтауда, ауыл-шаруашылық мәдениеттерді суаруға, сонымен қатар, кіші су қоймалары мен су электр станцияларын сумен қамтамасыз ету үшін пайдаланылады. Өзен жайылмалары тұрақты мал шаруашылығын дамытуды қамтамасыз ететін жайылым жерлер мен шабындықтар ретінде пайдаланылады. Алайда соңғы уақытта өркениет пен индустрияның қарқынды дамуымен кіші өзендер қалалар мен әртүрлі экономикалық салалардың қалдық суларын тастайтын орын ретінде жиі пайдаланылуда. Аталған себептерге байланысты кіші өзендердің гидрохимиялық режимінің қалыптасуы және өзгеру ерекшеліктерін зерттеу мен өзенге түсетін шекті жүктемені анықтау маңыздылығы туындайды.

Кіші өзендердің гидрохимиялық режимінің қалыптасуына өзендегі судың көлемі мен өзендер бассейндерінің ластану дәрежесі әсер етеді, себебі үлкен өзендермен салыстырғанда өзін-өзі тазалау қабілеті шектеулі. Кіші өзендердің су ресурстарының сандық азаюы табиғи және шаруашылық кешендерге үлкен экономикалық және экологиялық әсерін тигізеді, өзендер экожүйесінің тұрақтылығына кедергі болады және су тұтынуды қиындатып, адамдардың тіршілік ету жағдайына

әсер етеді. Осыған орай табиғатты пайдалану жүйесінде урбандалу мен шаруашылық әрекеттің су объектілерінің гидроэкологиялық режиміне әсерін зерттеу маңызды болып табылады [1].

Кіші өзендерге түсетін шекті экологиялық жүктемені бағалау үшін әр-түрлі авторлар түрлі әдістерді қолданды: М. Ж. Бурлибаев алқаптық шабындық шөптің биоөнімділігі мен балық өндірудің тәуелділігі әдісін [2]; В. Н. Маркин су жүйелерінің жағдайын сипаттайтын заттардың гидрохимиялық баланс теңдеулерін [3]; В. В. Шабанов өзен бассейндерінің пропорционалды су шығындары әдісін пайдаланды [4]. Көптеген зерттеушілер Б. Фащевский ойлап тапқан гемостатикалық қисығы әдісін пайдаланады [1]. Сонымен қатар Ж. С. Мұстафаев пен Л. Ж. Мұстафаева ұсынған «өзен бассейнінің өмірлік циклы диаграммасын» [5], Ж. С. Мұстафаев ұсынған «табиғи ресурстарды пайдалану қарқындылығынан туатын табиғи жүйенің экологиялық-экономикалық белсенділігінің тәуелділік графигі» [6], К. Ж. Мұстафаева ұсынған «табиғи ресурстарды пайдаланудағы қоғамның экологиялық-экономикалық белсенділігі коэффициенті» әдістері пайдаланылады [7].

Зерттеу әдісі. Кіші өзендер бассейніндегі су-шаруашылық әрекетті тиімді жүргізу және су ресурстарын тиімді басқару үшін су объектілері мен су ресурстары жөнінде жүйеленген толық ақпарат қажет. Бұл міндетті шешу үшін мониторинг жүйесі пайдаланылды. «Қазгидромет» РМҚ «Қазақстан Республикасының жер үсті суларының сапасы туралы жылдық деректер» ақпараттық-талдау материалдары пайдаланылып, өзендер арналарындағы судың химиялық және биогендік құрамының негізгі компоненттерін анықтау мен шаруашылық су объектілері үшін заттардың шекті рұқсат етілген концентрациясының нормативтік критерийлерін және техногендік әсердің ықтимал көздерін ескере отырып, олардың сапасы бағаланды.

Зерттеу объектілері. Берілген аймақтың жер үсті сулары 1-кестедегі өзендермен сипатталды [8].

1-кесте – Өзендер бойынша негізгі мәліметтер

Table 1 – Basic information on rivers

Өзен атауы	Ұзындығы, км	Өзен бассейнінің ауданы, км ²	Су шығыны, м ³ /с		
			Орташа жылдық су өтімі	Максималды	Минималды
Қаратал	390	19100	74,0 (Найман-Сүйек)	454	19,5
Лепсі	417	8110	25,2 (Ново-Антоновка)	175	4,03
Ақсу	316	5040	1,71 (Құр-Ақсу)	79,0	0,6

Су ресурстарының сапасы экожүйелер үшін маңызды болып табылатын қоғамның және халықтың денсаулығы мен өмір сүру сапасын қамтамасыз ету бағытында ең өзекті мәселелердің бірі болып табылады.

Қаратал, Ақсу, Лепсі өзендері Балқаш көліне құяды және олардың суының азаюы көлдің су деңгейіне тікелей әсер етеді. Қарастырылып отырған аймақтың негізгі шабындық және жайылымдық алқаптары өзен жағалауларына негізделген. Аймақта суармалы жер шаруашылығы кең тараған. Өндірілетін ауыл шаруашылығы өнімдерінің сапасы, өсімдіктердің, жануарлардың және адамдардың өмір сүру жағдайлары көбінесе Қаратал, Ақсу, Лепсі өзендерінің су сапасына байланысты. Су сапасына антропогендік әсер етудің негізгі факторы өнеркәсіптік және ауыл-шаруашылық кәсіпорындары. Аталған өзендер ең осал және қайта қалыпқа келуі қиын табиғат кешендеріне жатады. Өзен сулары шаруашылық тұрмыстық және өндірістік сарқынды сулардың су айдындарына құйылуы нәтижесінде ғана емес, сондай-ақ егістіктерден, елді мекендер аумақтарынан және өндірістік кәсіпорындардан жауын суымен ағып түсетін, жоғары минералданған дренаждық және шахталық сулардың төгінділері салдарынан ластанады. Зерттелетін аймақтың климаты құрғақ және су ресурстары (өзен жүйелерінің тұщы сулары, көптеген тұзды көлдер) жақын маңдағы елді мекендерді сумен қамтамасыз ету мен суарудың негізгі, көбінесе жалғыз көзі болып табылады [9]. Аймақтың физикалық-географиялық сипаттамасы 1-суретте келтірілген.



Масштаб 1:3 000 000

1-сурет – Алматы облысының картасы [9]

Figure 1 – Map of Almaty region [9]

Қаратал Балқаш көлінің шығыс бөлігіне құятын ең ірі өзен, аталған аймақтағы ұзындығы және сулылығы жөнінен ең ірі су арнасы. Қора, Шыжы, Текелі өзендерінің қосылуынан пайда болады және Жоңғар Алатауының солтүстік-батысынан бастау алады. Қаратал жазығында оған суы мол Көксу мен Быжы өзендері келіп қосылады. Бассейн бойынша табиғи өзен саласы жылына 2,38 ден 4,21 км³ дейін өзгерді. 1996-2001 жж. аралығында өзенге су келу мәні 3,04 км³/жыл болды. Қар, мұздықпен және көктемгі су тасқынымен қоректенеді. Судың айтарлықтай мөлшері өзен жазығындағы бос шөгінділерге сіңіп кетеді. Сулары тұщы, минералдануы 0,05-0,25 г/дм³ құрайды. Минералданудың максималды мәні қыста, ал ең аз мәні жазда байқалады. Су гидрокарбонатты кальцийлі, тұздардың азаюы ерте көктемде басталады, ең аз минералдану маусым айында байқалады. Бұл өз кезегінде өзеннің негізгі қоректенуі көктемнің жер үсті суларымен және аз ғана мөлшері қар мен мұздықпен қоректенетінін көрсетеді [10].

Ақсу өзені бастауын Жетісу Алатауының солтүстік беткейінен алады. Жоталардан ағып өтіп, көлбеу жазықпен ағады және сол жерден бастап суаруға алынады. Жазық жерлерде Ақсу өзені енді жайылмамен ағады, Балқаш маңы құмды жазығымен төменгі ағысында арналарға бөлініп, бірнеше ағынды көлдер қалыптастырады (Қамысты көлдер). Төменгі ағысында өзен ені 10-25 м, ал тереңдігі 0,5-2,0 м, ағыс жылдамдығы 0,4-0,5 м³/с құрайды. Судың түбі құмды, жағалаулары көлбеу, бұталар мен қамыстың қалың өсімділерінен тұрады. Арнасы бұралған, Балқаш көліне тек үш арнасы ғана құяды. Суы мол кезеңде өзен атырауы Лепсі өзенінің атырауымен қосылады. Суы тұщы, минералдылығы 0,05-0,1 г/дм³, судың құрамы гидрокарбонатты-кальцийлі болып жіктеледі [11].

Лепсі өзені зерттелген аймақта сулылығы бойынша үшінші орында. Бастауын 3000 м биіктікте, Жетісу Алатауының солтүстік жоталарындағы мұздықтардан алады. Жаз айларында өзен суының ауқымды мөлшері суаруға алынады, ол өз кезегінде өзеннің табиғи режимінің бұзылуына алып келеді. Суы тұщы, минералдылығы 0,08 ден 0,25 г/дм³ дейін өзгереді (Лепсі қаласы мен Антоновка ауылы), судың құрамы гидрокарбонатты-кальцийлі болып жіктеледі. Негізгі салалары Сарымсақты, Ағанақты және төменгі ағысында сол жақ арнасы Басқан өзендері. Лепсі өзенінде қайтымды сулардың көлемі тек 6 % құрайды, себебі суаруға жұмсалатын судың негізгі көлемі Лепсі өзеніне су әкелуін тоқтатқан Басқан өзенінен алынады [12].

Нәтижелері және талқылама. Балқаш-Алакөл гидроэкологиялық ауданына жататын су объектілерінің гидрохимиялық құрамын зерттеуді ең алғаш 1949 ж. Бейорганикалық химия кафедрасының мамандарымен бірге профессор Б. А. Беремжанов жүзеге асырған. Атқарылған

жұмыстың нәтижесінде Балқаш, Алакөл, Сасықкөл көлдерінің сулары: 100 жуық тұзды көлдер, 39 ірі салаларымен 15 өзен жүйелері зерттеліп, құрлықтық тұз түзілу теориясының негізгі ережелерін тұжырымдауға мүмкіндік берді.

Мақалада «Қазгидромет» РМК «Қазақстан Республикасының жер үсті суларының сапасы туралы жылдық деректер» ақпараттық-талдау материалдарын жүйелі талдау нәтижесінде Қаратал, Лепсі, Ақсу өзендерінің экологиялық жағдайы мен су сапасына баға берілді [13-18]. Сапаны бағалау үшін 2015-2020 жылдар кезеңі таңдалды. Талдау барысында келесідей нәтижелер алынды: Лепсі өзеніндегі рН көрсеткіші 7,7 болды, минералдану 319 мг/дм^3 құрады, судың кермектігі $3,9 \text{ мг-экв/дм}^3$. Бұл аймақта мыстың (12,6 ШРК), мырыштың (1,4 ШРК) жоғары дәрежеде шоғырлануы орын алған. Лепсі демалыс аймағында СЛКИ 6,4 құрады.

Төлебаев ауылы тұсында марганец мәні ШРК 1,9 есе асты, СЛКИ 1,9 құрады, су сапасы «ластанудың орташа деңгейіне» жатады. Лепсі бекетінде судың мыспен (2,1 ШРК) және мырышпен (1,4 ШРК) ластануы байқалған. СЛКИ – 1,9 құрады, су сапасы «орташа деңгейде ластанған» деп сипатталады [13].

Ақсу өзенінде судың рН көрсеткіші 7,8, ал кермектігі $3,36 \text{ мг-экв/дм}^3$, судың орташа минералдануы 313 мг/дм^3 құрады. Өзен суында мыс (2,4 ШРК) пен мырыштың (1,2 ШРК) мөлшері жоғары. СЛКИ-1,8 құрады, судың сапасы «ластанудың орташа деңгейіне» жатады [13].

Қаратал өзеніндегі судың рН көрсеткіші 7,6, кермектігі $1,6 \text{ мг-экв/дм}^3$, минералдануы 154 мг/дм^3 . Ал Талдықорған қаласынан жоғары өзеннің ластануы нитритті азот (1,4 ШРК) және мырыш (2,0 ШРК) есебінен орын алған. Судың сапасы – «орташа деңгейде ластанған». Үштөбе қаласының тұсында ШРК мөлшерінің асуы мырыш (1,7 ШРК) бойынша анықталған, СЛКИ – 1,7 құрайды, су сапасы – «орташа деңгейде ластанған». Аталған көрсеткіштер бойынша Қаратал, Ақсу, Лепсі өзендерінің сулары минералдануы бойынша – әлсіз минералданған сулар қатарына, кермектік көрсеткіштері бойынша жұмсақ сулар қатарына жатады [13].

Аталған мәліметтерді қорытындылай келе, төменде стандартты гидрохимиялық сипаттамалардың орташа мәндері, биогендік элементтердің концентрациясы және кейбір ауыр металдардың үлес салмағы және олардың үлесінің 2015-2020 жж. аралығында өзгеру динамикасы диаграммада келтірілді (2-4-сурет) [13-18].

Қаратал өзені бойынша 2015-2020 жж. аралығында негізгі гидрохимиялық сипаттамаларының өзгеру динамикасы (2-сурет).

Қаратал өзенінде судың температурасы 2016 ж. көрсеткіш бойынша $10,6-15,0 \text{ }^\circ\text{C}$ шегінде, сутекті көрсеткіш 7,7, суда ерітілген оттегінің концентрациясы $10,9 \text{ мг/дм}^3$, ОБК_5 $1,2 \text{ мг/дм}^3$. ШРК асу биогенді заттар тобынан (жалпы темір – 7,1 ШРК, тұзды аммоний – 1,3 ШРК), ауыр металдар (мыс – 2,6 ШРК, марганец – 1,6 ШРК) бойынша тіркелді [14].

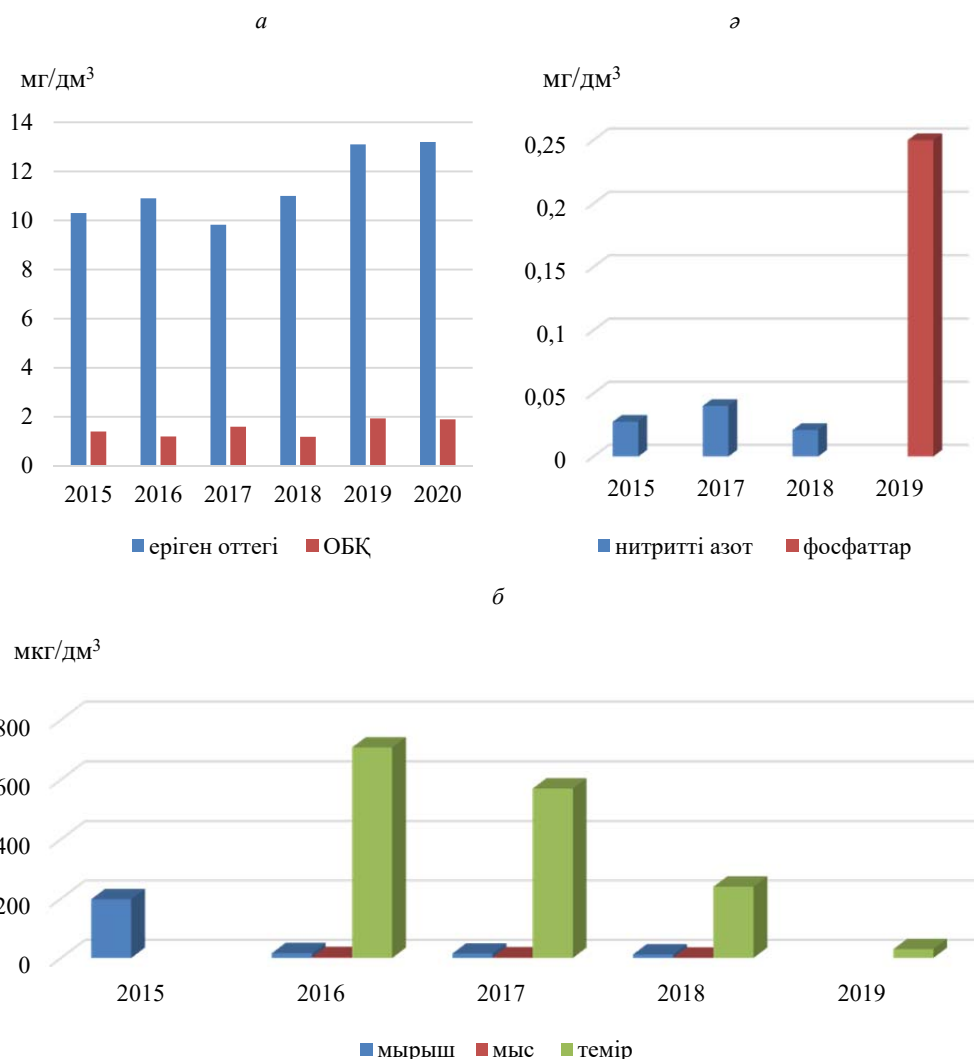
2015-2020 жылдар аралығында Қаратал өзенінде температура, рН, еріген оттегі, ОБК_5 көрсеткіштерінің мәндерінің артқанын байқауға болады. Температураның максималды мәні $28,0 \text{ }^\circ\text{C}$. рН ең жоғарғы көрсеткіш – 8,32 құрады. Сонымен қатар ШРК асу көрсеткіштері кейбір ауыр металдар (мыс, мырыш), биогенді заттар (нитритті азот, темір, тұзды аммоний) бойынша орын алды. Өзен суы сапасы жағынан 2020 көрсеткіштер бойынша «орташа ластанған» сулар қатарына жатады.

Талдықорған қаласы 2020 жыл бойынша фосфаттар – $0,311 \text{ мг/дм}^3$, жалпы темір – $0,21 \text{ мг/дм}^3$, ОХҚ – $16,2 \text{ мг/дм}^3$. Фосфаттардың концентрациясы, ОХҚ, жалпы темірдің концентрациясы фондық кластан аспайды. Судың сапасы 2 класқа жатады [18].

Текелі қаласы бойынша фосфаттар – $0,245 \text{ мг/дм}^3$, ОХҚ – $16,4 \text{ мг/дм}^3$. Судың сапасы 2 класқа жатады. Үштөбе кентінің тұсында судың сапасы 3 класқа жатады: аммоний ионы – $0,52 \text{ мг/дм}^3$. Аммоний ионы концентрациясы фондық кластан асып түседі.

Қаратал өзенінің ұзындығы бойынша судың температурасы $0,0-28,5 \text{ }^\circ\text{C}$ шегінде, сутектік көрсеткіш – 6,95-8,0, түсі – 5-7 градус, иісі – барлық жармаларда 0 балл, суда еріген оттегінің концентрациясы – $7,6-13,2 \text{ мг/дм}^3$, ОБК_5 – $0,5-1,9 \text{ мг/дм}^3$, фосфаттар – $0,25 \text{ мг/дм}^3$, ОХҚ – 16 мг/дм^3 . Судың сапасы 2 класқа жатады [13-18].

Жүргізілген микробиологиялық зерттеулер бойынша Қаратал өзені суды ағызу ауданында олигосапробты аймақтың (таза аймақ) II класымен сипатталады. ZndS – 1,7. Микроорганизмдердің саны 1 м^2 -қа 256 дананы құрайды. Перифитон (өсімдік жамылғысы) диатомды, жасыл және көк-жасыл балдырлармен сипатталған. Төменгі фауна-көктемгі личинкалар, май шыбындары,



2-сурет – Еріген оттегі мен ОБҚ, мг/дм³ (а), нитритті азот пен фосфаттардың, мг/дм³ (ә), мырыш, мыс, темірдің мөлшері, мкг/дм³ (б)

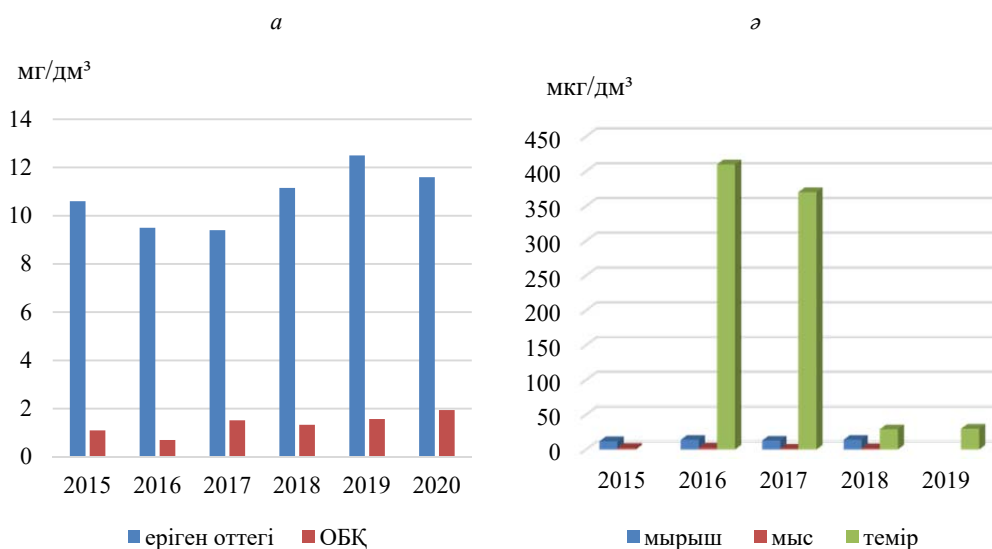
Figure 2 – Dissolved oxygen and ozone destruction capacity, mg/dm³ (a), nitrite nitrogen and phosphates, mg/dm³ (ә), zinc, copper, iron content, mg/dm³ (б)

олигохеталар мен құрттар. Тазарту құрылыстарынан жіберілетін барлық төгінділер су айдынына әсер етпейді, өйткені алымдар ШРК нормасына дейін тазартылады. Бұл жағдайларда ZndS – 2,0-ге дейін артады III клас, В-мезосапробты аймақ (орташа ластанған сулар) [19].

Ақсу өзені бойынша 2015-2020 жж. аралығында негізгі гидрохимиялық сипаттамаларының өзгеру динамикасы (3-сурет) [13-18].

Ақсу өзенінің суы таза өзендерге жатады. Тұщы су, минералдануы 0,2-1,5 г/дм³ аралығында. Минералды құрамы бойынша ол гидрокарбонаттар класының кальций және магний тобына жатады (HCO₃⁻ и Ca²⁺), А.О. Алекин бойынша су индексі C^{Ca}_{II} [20]. Судың химиялық құрамының сипаттамасы орташа тұздылықпен (180-360 мг/ дм³) сипатталады, ол 2-кестеде көрсетілген [13-18].

Ақсу өзеніндегі негізгі гидрохимиялық көрсеткіштердің құрамын талдай келе келесідей қорытынды жасауға болады: судың температурасы, рН көрсеткіші, еріген оттегі мен ОБҚ мөлшері 2015 жылмен салыстырғанда тұрақты түрде өсіп отыр. Температура 2016 ж. 20,6 °С-тан 2020 жылы 29,5 °С көрсеткішіне жеткен. Нитритті азот 0,021 мг/дм³ (2018 ж.) [16], ал аммоний йоны 0,61 мг/дм³ (2020 ж.) [18] құрады. Ақсу өзенінің суы көктем мен жазда тасиды, осы кезеңде жылдық ағындысының 80%-і өтеді. Суы егін, мал суаруға және техникалық қажеттіліктерге пайдаланылады. Топырақтың тұздануының және судың минералдануының артып кету мәселесі, сонымен қатар жел және су эрозиясы, малды шектен тыс жаю, алқаптың азаюы биоалуантүрліліктің төмендеуі және егістік жерлердің өнімділігінің төмендеуі байқалады.



3-сурет – Еріген оттегі мен ОБҚ, мг/дм³ (а), мырыш,мыс, темір мөлшері, мкг/дм³ (ә)

Figure 3 – Dissolved oxygen and ozone destruction capacity, mg/dm³ (a), zinc, copper, iron content, mg/dm³ (ә)

2-кесте – Ақсу өзені суының орташа тұздылығы [13, 14, 15]

Table 2 – Average salinity of Aksu River water [13, 14, 15]

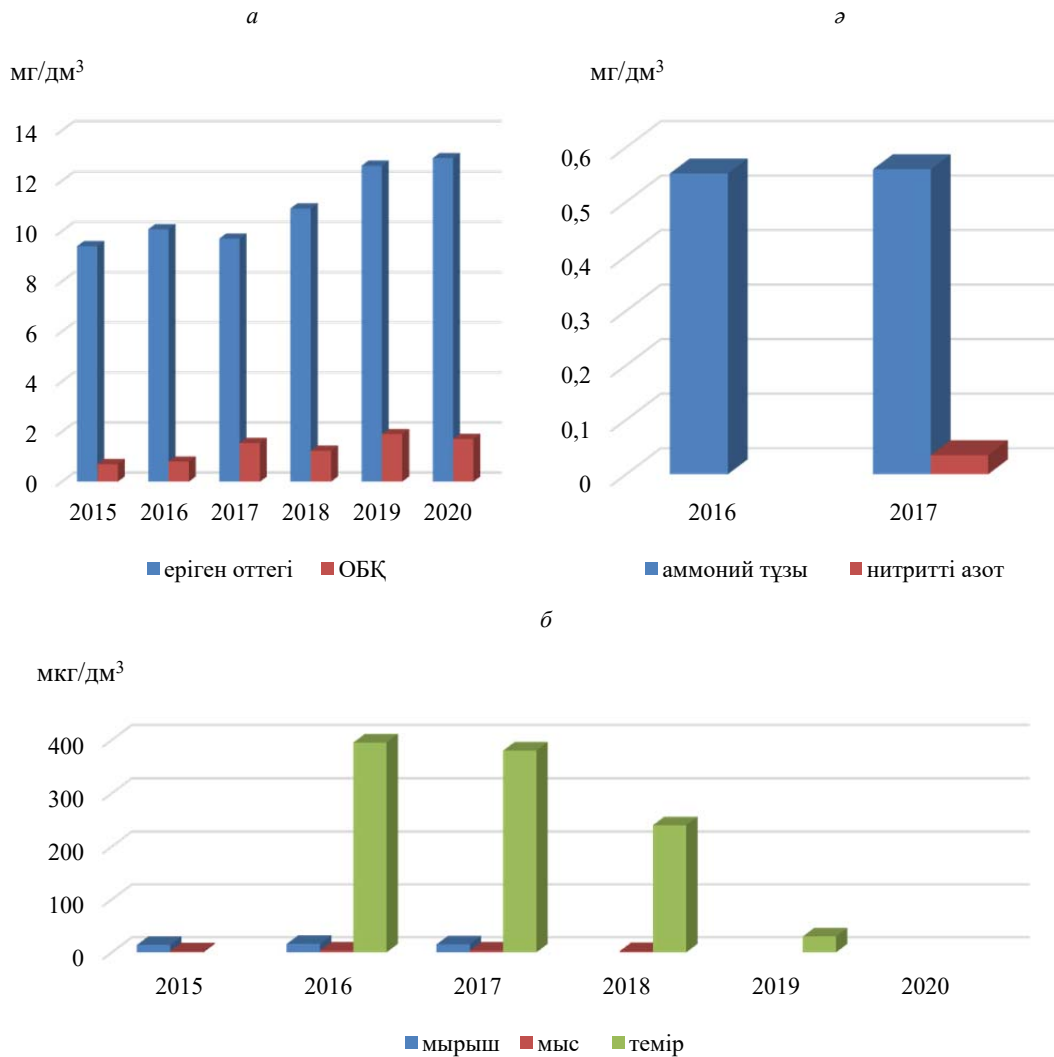
Сынама алу күні	Минералдылығы, мг/дм ³	Жалпы кермектігі, мг-экв/дм ³	Нитраттар, мг/дм ³	Сульфаттар, мг/дм ³
20.05.2015	150	2,83	3,9	16,1
02.07.2015	210	2,69	3,8	47,5
10.10.2015	288	4,21	5,0	88,0
05.04.2016	320	4,18	5,0	75,0
15.06.2016	185	2,40	7,0	30,0
11.09.2016	340	4,31	2,0	80,0
05.05.2017	251	3,45	11	42,0
09.09.2017	199	1,84	5,0	35,0

Гидробиологиялық көрсеткіштер бойынша Ақсу өзені сулары таза өзендерге жатады. Өзендегі су оттегімен қаныққан, суспензияланған заттардың шамалы мөлшері бар. Микробиологиялық зерттеулердің нәтижесінде алынған көрсеткіштер бойынша Ақсу өзені Dns-1,4 олигосапробты аймағының су сапасының II класты су ағындарына жатады; $w = 6,1 \text{ м}^2$ -қа микроорганизмдер саны 272 дананы құрайды. Төменгі фауна майшабақ, құрт және хирономид құрттарымен ұсынылған. Перифитон әртүрлі диатомдармен, жасыл және көк-жасыл балдырлармен ұсынылған [19].

Лепсі өзені бойынша 2015-2020 жж. аралығында негізгі гидрохимиялық сипаттамаларының өзгеру динамикасы (4-сурет) [13-18].

Лепсі станциясының маңында су сапасының көрсеткіштері келесідей: аммоний ионының мәні – $0,61 \text{ мг/дм}^3$ құрайды. Судың сапасы 3 класқа жатады: Төлебаев ауылының маңында ОХҚ – 16 мг/дм^3 , бұл мәндер фондық кластан асып түседі. Судың сапасы 2 класқа жатады. Лепсі өзенінің ұзындығы бойынша 2020 жылғы көрсеткіштер келесідей: судың түсі – 4-7 градус, иісі – барлық жармаларда 0 балл, су температурасы $0-29 \text{ }^\circ\text{C}$ шегінде, сутегі көрсеткіші – 7,08-8,15, суда ерітілген оттегінің концентрациясы – $7,5-12,9 \text{ мг/дм}^3$, ОБҚ₅ – $0,6-1,7 \text{ мг/дм}^3$, ОХҚ – 16 мг/дм^3 [18].

2015 жылмен салыстырғанда орташа температураның мәні 22,8-ден 29 градусқа дейін көтерілген, рН мәні, судағы еріген оттегі мөлшері және ОБҚ мөлшері үнемі өсіп отыр. 2017 жылы аммоний тұзы $0,56 \text{ мг/дм}^3$ құраса, нитритті азот $0,035 \text{ мг/дм}^3$ жетті. Мыс, мырыш, темір сынды ауыр металдардың және нитритті азоттың ШРК (1,8) асуы анықталған. Судың сапасы 2 класқа жатады [13-18].



4-сурет – Еріген оттегі мен ОБҚ (а), аммоний тұзы және нитритті азот, мг/дм³ (ә), мырыш, мыс, темір, мкг/дм³ (б)

Figure 4 – Dissolved oxygen and ozone destruction capacity (a), ammonium salt and nitrite nitrogen, mg/dm³ (ә), zinc, copper, iron, mcg/dm³ (б)

Сондай-ақ, су сапасының жіктелуі бойынша бақылау аймақтарындағы Лепсі өзені бассейні суының гидробиологиялық көрсеткіштері бойынша ZndS-1,7 олигасапробты аймағының су сапасының II класты су ағындарына жатады; w = 6, микроорганизмдер саны 1 м²-қа 240 дананы құрайды. Төменгі фауна көктемгі личинкалармен, маймен ұсынылған. Перифитон диатомды, жасыл балдырлармен ұсынылған. Жоғарыда аталған шығарындылар мен төгінділерге қарамастан, өзендерді өзін-өзі тазарту және ағынды суларды көп өсіру арқылы өзендердің гидробиологиялық өмірі қалпына келеді [19].

Қорытынды. Осылайша, Қаратал, Ақсу, Лепсі өзендері ірі өнеркәсіптік өңір – Жетісу облысының ауыз су көзі және негізгі су артериялары болып табылады. Суды пайдалану мен оның ластануынан су ресурстарының сарқылуы орын алуда. Осыған байланысты аталған өзендерді «күшті антропогендік жүктеменің» әсеріндегі өзендердің қатарына жатқызуға болады. Өзенге осындай экологиялық жүктеме кезінде оның қоршаған ортаны қалыптастыру қабілеті мен экологиялық тұрақтылық жоғалады. Қаратал, Ақсу, Лепсі өзендері суларының минералдануы мен химиялық құрамының өзгеруі көбінесе антропогендік қызмет нәтижесіне байланысты деген қорытынды жасауға болады.

ӘДЕБИЕТ

- [1] Фащевский Б. В. Экологическое обоснование допустимой степени регулирования речного стока. – Минск: БелНИИИТИ, 1989. – 186 с.
- [2] Бурлибаев М. Ж. Теоретические основы устойчивости экосистем транзональных рек Казахстана. – Алматы: Канагат, 2007. – 516 с.
- [3] Маркин В. Н. Определение экологически допустимого воздействия на малые реки // Мелиорация и водное хозяйство. – 2005. – № 4. – С. 8-11.
- [4] Комплексное использование водных ресурсов и охрана природы / Под ред. В. В. Шабанова. – М.: Колос, 1990. – 360 с.
- [5] Мустафаев Ж. С., Мустафаева Л. Ж. Методологические основы экономико-экологической эффективности использования водно-земельных ресурсов // Повышение эффективности системы сельскохозяйственного водопользования: Мат-лы Респ. научно-практической конференции. – Алматы, 2016. – № 2. – С. 198-204.
- [6] Мустафаев Ж. С., Мустафаева Л. Ж., Койбагаров К. Б., Мустафаев К. Ж. Методология оценки эколого-экономической эффективности природо-обустройства агроландшафтов // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. – Барнаул, 2007. – № 6(32). – С. 24-28.
- [7] Мустафаев К. Ж. Методологические основы экологической оценки емкости природных систем. – Тараз, 2014. – 316 с.
- [8] Ибрагимова М. А. Физико-химическая характеристика воды рек бассейна оз. Балхаш: Автореф. дис. ... канд. хим. наук. – Алма-Ата, 1969. – 23 с.
- [9] Климат: Талдыкорган // Climate-DATA.ORG. URL: <https://ru.climate-data.org/location/2172/> (дата обращения: 02.09.2021).
- [10] Бурлибаев М. Ж., Муртазин Е. Ж., Искаков Н. А. Биогенные вещества в основных водотоках Казахстана. – Алматы: Изд-во «Канагат», 2003. – 723 с.
- [11] Джаналеева Г. М., Базарбаева Т. А. Годовой сток и состояние качества воды // Материалы междунаучной конференции «География: наука и образование». – Алматы, 2008. – С. 19-22.
- [12] Атамекен Географиялық Энциклопедия. – Алматы, 2011.
- [13] Информационный бюллетень о состоянии окружающей среды бассейна озера Балхаш. – Алматы, 2015. – Вып. 4(15). – 50 с.
- [14] Информационный бюллетень о состоянии окружающей среды бассейна озера Балхаш. – Алматы, 2016. – 171 с.
- [15] Информационный бюллетень о состоянии окружающей среды бассейна озера Балхаш. – Алматы, 2017. – 108 с.
- [16] Информационный бюллетень о состоянии окружающей среды бассейна озера Балхаш. – Алматы, 2018. – 150 с.
- [17] Информационный бюллетень о состоянии окружающей среды бассейна озера Балхаш. – Алматы, 2019. – 166-167 с.
- [18] Информационный бюллетень о состоянии окружающей среды бассейна озера Балхаш. – Алматы, 2020. – Вып. 4. – 120 с.
- [19] Отчет оперативной группы Алматинского облуправления охраны окружающей среды за 2006 г. – Алматы, 2006.
- [20] Алекин О. А. Основы гидрохимии. – Л.: Гидрометеиздат, 1970. – 442 с.

REFERENCES

- [1] Fashevsky B. V. Ecological justification of the permissible degree of regulation of river flow. Minsk: Belniiti, 1989. 186 p. (in Russ.).
- [2] Burlibayev M. Zh. Theoretical foundations of ecosystem stability of transzonal rivers of Kazakhstan. Almaty: Kanagat, 2007. 516 p. (in Russ.).
- [3] Markin V. N. Determination of the ecologically acceptable impact on small rivers // Melioration and water management. 2005. No. 4. P. 8-11 (in Russ.).
- [4] Integrated use of water resources and nature protection / Ed. by V. V. Shabanov. M.: Kolos, 1990. 360 p. (in Russ.).
- [5] Mustafaev Zh. S., Mustafaeva L. Zh. Methodological foundations of the economic and ecological efficiency of the use of water and land resources // Improving the efficiency of the agricultural water use system: Mater. The Republic of Scientific and Practical Conference. Almaty, 2016. No. 2. P. 198-204 (in Russ.).
- [6] Mustafaev Zh. S., Mustafaeva L. Zh., Koibagarov K. B., Mustafaev K. Zh. Methodology for assessing the ecological and economic efficiency of the natural arrangement of agricultural landscapes // Bulletin of the Altai State Agrarian University. Barnaul, 2007. No. 6(32). P. 24-28 (in Russ.).
- [7] Mustafaev K. Zh. Methodological foundations of environmental assessment of the capacity of natural systems. Taraz, 2014. 316 p. (in Russ.).
- [8] Ibragimova M. A. Physico-chemical characteristics of the water of the rivers of the lake basin. Balhash: Abstract of the dissertation of the Candidate of Chemical Sciences. Alma-Ata, 1969. 23 p. (in Russ.).
- [9] Climate: Taldykorgan // Climate-data.org url: <https://ru.climate-data.org/location/2172/> (date of reference: 09/02/2021) (in Russ.).
- [10] Burlibayev M. Zh., Murtazin E. Zh., Iskakov N. A. Biogenic substances in the main watercourses of Kazakhstan. Almaty: Kanagat Publishing House, 2003. 723 p. (in Russ.).
- [11] Dzhanalееva G.M., Bazarbayeva T.A. Annual runoff and state of water quality // Materials of the international scientific and practical conference "Geography: science and education". Almaty, 2008. P. 19-22 (in Russ.).

- [12] Atameken Geografyalyk Encyclopedia. Almaty, 2011 (in Russ.).
- [13] Information bulletin on the state of the environment of the Balkhash Lake basin. Almaty, 2010. Issue 4(15). 50 p. (in Russ.).
- [13] Newsletter on the state of the environment of the Lake Balkhash basin. Almaty, 2015. Issue 4(15). 50 p. (in Russ.).
- [14] Newsletter on the state of the environment of the Lake Balkhash basin. Almaty, 2016. 171 p. (in Russ.).
- [15] Newsletter on the state of the environment of the Lake Balkhash basin. Almaty, 2017. 108 p. (in Russ.).
- [16] Newsletter on the state of the environment of the Lake Balkhash basin. Almaty, 2018. 150 p. (in Russ.).
- [17] Newsletter on the state of the environment of the Lake Balkhash basin. Almaty, 2019. 166-167 p. (in Russ.).
- [18] Newsletter on the state of the environment of the Lake Balkhash basin. Almaty, 2020. Issue 4. 120 p. (in Russ.).
- [19] Report of the operational group of the Almaty Regional Department of Environmental Protection for 2006 (in Russ.).
- [20] Alekin O.A. Fundamentals of hydrochemistry. L.: Hydrometeoizdat, 1970. 442 p. (in Russ.).

Г. Е. Садвакасова^{*1}, Т. А. Базарбаева², З. М. Аргынбаева³

¹ PhD докторант (Казахский национальный университет им. аль-Фараби, Алматы, Казахстан; sadvakassovagauhar@gmail.com)

² К. г. н., доцент, заведующая кафедрой ЮНЕСКО по устойчивому развитию (Казахский национальный университет им. аль-Фараби, Алматы, Казахстан; tursynkul.bazarbayeva@gmail.com)

³ Старший преподаватель, магистр химических наук (Казахский национальный женский педагогический университет, Алматы, Казахстан; argynbaeva.zaure@qyzpu.edu.kz)

МОНИТОРИНГ ГИДРОХИМИЧЕСКОГО РЕЖИМА РЕК КАРАТАЛ, АКСУ, ЛЕПСЫ

Аннотация. Представлены гидрохимические характеристики рек Каратал, Аксу, Лепсы, гидрологический режим, результаты гидробиологических исследований и данные изучения особенностей формирования качества речной воды в настоящее время. В результате систематического анализа информационно-аналитических материалов РГП "Казгидромет" "Ежегодные данные о качестве поверхностных вод Республики Казахстан" проведена оценка экологического состояния и качества воды рек Каратал, Лепсы, Аксу. Осуществлен мониторинг с 2015 по 2020 год. Определены изменения температуры воды, количества растворенного кислорода, pH и минерализации, а также основных неорганических компонентов (катионов и анионов). Рассмотрено влияние природных и антропогенных факторов на формирование и изменение химического состава речных вод.

Ключевые слова: мониторинг, гидрохимия, малые реки, предельно допустимый объем.

G. E. Sadvakassova^{*1}, T. A. Bazarbayeva², Z. M. Argynbayeva³

¹ PhD student (Al-Farabi Kazakh National University, Almaty, Kazakhstan; sadvakassovagauhar@gmail.com)

² Candidate of geographical sciences, associate professor, head of the UNESCO Chair for sustainable development (Al-Farabi Kazakh National University, Almaty, Kazakhstan; tursynkul.bazarbayeva@gmail.com)

³ Senior Lecturer, Master of Chemical Sciences (Kazakh National Women's Teacher Training University, Almaty, Kazakhstan; argynbaeva.zaure@qyzpu.edu.kz)

MONITORING OF THE HYDROCHEMICAL REGIME OF KARATAL, AKSU AND LEPSY RIVERS

Abstract. This article presents the hydrochemical characteristics of Karatal, Ak-Su and Lepsy rivers, hydrological regime and results of hydrobiological research. It also presents the results of studies on the formation of water quality in these rivers at present. As a result, an assessment of the ecological status and water quality was carried out using information and analytical materials from RSE Kazhydromet and Annual data on surface water quality of Kazakhstan. Monitoring was conducted from 2015 to 2020 and included changes in water temperature, dissolved oxygen content, pH values, mineralization levels, as well as main inorganic constituents such as cations and anions. The influence of natural factors on chemical composition of these rivers was also considered.

Keywords: monitoring, hydrochemistry, small rivers, maximum permissible volume.

<https://doi.org/10.55764/2957-9856/2025-1-78-87.8>

МРНТИ 34.35.33

УДК 574.5

Л. Х. Акбаева^{*1}, Ж. У. Бакешова², А. Н. Тажен³,
А. Б. Абжалелов⁴, Д. О. Евнеева⁵, Н. С. Мамытова⁶

^{1*} К. б. н., доцент (НАО «Евразийский национальный университет им. Л. Н. Гумилева»,
Астана, Казахстан; akbaeva659@mail.ru)

¹ Докторант (НАО «Евразийский национальный университет им. Л. Н. Гумилева»,
Астана, Казахстан; Bakeshova.z@yandex.ru)

¹ Магистрант (НАО «Евразийский национальный университет им. Л. Н. Гумилева»,
Астана, Казахстан; Abay.thn@mail.ru)

¹ Д. б. н., профессор (НАО «Евразийский национальный университет им. Л. Н. Гумилева»,
Астана, Казахстан; ab_akhan@mail.ru)

¹ Старший научный сотрудник (НАО «Евразийский национальный университет им. Л. Н. Гумилева»,
Астана, Казахстан; evdior1@gmail.com)

² PhD (АО «Казахский университет технологии и бизнеса им. К. Кулжанова»,
Астана, Казахстан; tamytovanur@gmail.com)

САНИТАРНО-МИКРОБИОЛОГИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА ОЗЕР БОЛЬШОЙ ТАЛДЫКОЛЬ И ЖАЛТЫРКОЛЬ

Аннотация. В озерах Большой Талдыколь и Жалтырколь изучены гидрохимические, бактериологические и паразитологические показатели: рН, взвешенные вещества, условия кислородного режима (растворенный кислород, БПК₅, ХПК); минерализация (сухой остаток, хлориды, сульфаты, общая жесткость, общая щелочность); биогенные вещества (фосфаты, азот аммонийный, нитриты, нитраты, бор); металлы (железо, медь, хром, никель, цинк, марганец, молибден); органические вещества (фториды, СПАВ, нефтепродукты). По результатам гидрохимических анализов озеро Большой Талдыколь относится к шестому классу качества, где наблюдается высокое значение ХПК 42,8 мг О₂/л, взвешенных веществ – 46,0 мг/л, железа общего – 0,83 мг/л. В озере Жалтырколь взвешенные вещества составили 18,62 мг/л, поэтому оно также относится к шестому классу качества воды. По другим показателям в озерах токсикологической опасности нет. По результатам бактериологических исследований на содержание лактозоположительных кишечных палочек, колифагов превышений не обнаружено. По паразитологическим исследованиям в воде озер не обнаружены жизнеспособные яйца аскарид, влагослав, токсокар, фасциол, онкосфер теннид, а также цисты патогенных кишечных простейших. Большое количество инфузорий, коловраток, гастротрихий, доминирование диатомовых водорослей свидетельствуют об эвтрофировании водоема, высоком риске цветения воды.

Ключевые слова: гидрохимия, микробиология, концентрация, поллютанты, эвтрофикация, сапрофитные микроорганизмы, колифаги, патогенная флора.

Введение. Поверхностные воды на территории города или в относительной близости к нему, как правило, несут повышенную антропогенную нагрузку. Эти озера выполняют роль элемента городской рекреации, и ливневые стоки с водосборных площадей загрязняют водоемы большим количеством поллютантов.

В таких условиях могут быть нарушены естественные процессы самоочищения водоемов. Они могут испытывать эвтрофикацию, нарушения в видовой структуре гидробиоценозов [1]. Эти явления создают условия для чрезмерного развития в водоеме патогенной микрофлоры. Вблизи города Астаны относительно немного озер, где могут отдыхать горожане. В число наиболее популярных входят озера Большой Талдыколь и Жалтырколь.

Озеро Большой Талдыколь относится к системе Талдыкольских озер, находящихся на левом берегу реки Есиль. Талдыкольская система озер объединяет озера Малый и Большой Талдыколь, расположенные в юго-западной части столицы Казахстана. Эти природные водоемы относятся к категории водно-болотных угодий, которые, в соответствии с Рамсарской конвенцией, должны находиться под защитой и управляться согласно принципам рационального использования природных ресурсов [2]. С 1970 по 2013 г. озеро Большой Талдыколь применялось в качестве

коллектора-испарителя сточных вод. К концу 2017 г. здесь были завершены работы по очистке водоема от иловых отложений и уменьшению его акватории до естественных границ с 2100 до 500 га. В 2022 г. власти объявили, что на Большом и Малом Талдыколе будет создан городской природный парк, который будет гармонично сочетать городскую среду и естественную природу [3].

Озеро Жалтырколь расположено в близком доступе для жителей города Астаны. На его берегу находится поселок Жалтырколь, относящийся к аульному округу Жибек Жолы. Здесь круглогодично популярно любительское рыболовство, в теплое время года горожанами активно используется пляж. Ливневые стоки, талые воды с территории поселка непосредственно попадают в озеро и могут спровоцировать эпидемиологические угрозы.

Таким образом, озера Большой Талдыколь и Жалтырколь используются и в дальнейшем будут развиваться как места отдыха горожан. В этой связи санитарно-микробиологическое благополучие водных объектов является необходимым фактором предупреждения эпидемиологических и паразитарных заболеваний населения. Нормальное экологическое и санитарно-микробиологическое состояние этих озер является одним из необходимых условий рационального водопользования и охраны этих водоемов.

Цель работы – дать характеристику санитарно-микробиологического состояния озер Жалтырколь и Большой Талдыколь.

Материалы и методы исследования. Микробиологические исследования проводились в сентябре 2023 г. и в мае 2024 г. согласно методам санитарно-микробиологического анализа воды поверхностных водоемов [4], также методам микробиологического контроля питьевой воды [5] на базе испытательной лаборатории ГКП «Астана-су арнасы» (Аттестат аккредитации: KZ.T.01.0753 до 05.06.2025) и в бактериологической лаборатории филиала национального центра экспертизы г. Астаны (Аттестат аккредитации №KZ.T.01.0509 от 08.10.2019 до 08.10.2024). Паразитологические исследования осуществлялись согласно методической рекомендации по санитарно-паразитологическому изучению объектов внешней среды от 27.12.2005 г. [6].

Химико-аналитические исследования образцов воды из поверхностных водоемов проводились в соответствии с санитарно-эпидемиологическими требованиями к водоемам, местам водозабора для хозяйственно-питьевых целей, хозяйственно-питьевому водоснабжению к местам культурно-бытового водопользования и безопасности водных объектов [7, 14] на базе испытательной лаборатории ГКП «Астана-су арнасы» (Аттестат аккредитации №KZ.T.01.1520 от 18.11.2019 до 18.11.2024 г.) и в химической лаборатории филиала национального центра экспертизы г. Астаны (Аттестат аккредитации №KZ.T.01.0509 от 08.10.2019 до 08.10.2024).

В осенний период 2023 г. были отобраны пробы (в трех пунктах) из озер Большой Талдыколь и Жалтырколь для изучения гидрохимических показателей. Всего из озер Большой Талдыколь и Жалтырколь, согласно СТ РК ГОСТ Р 51592 – 2003 Вода. Общие требования к отбору проб, было отобрано 6 проб [8].

В озерах изучено содержание следующих компонентов: рН, взвешенные вещества, условия кислородного режима (растворенный кислород, БПК₅, ХПК); минерализация (сухой остаток, хлориды, сульфаты, общая жесткость, общая щелочность); биогенные вещества (фосфаты, азот аммонийный, нитриты, нитраты, бор); металлы (железо, медь, хром, никель, цинк, марганец, молибден); органические вещества (фториды, СПАВ, нефтепродукты).

Качество воды оценивалось в соответствии с установленной единой системой классификации качества воды в водных объектах, утвержденной приказом председателя Комитета по водным ресурсам Министерства сельского хозяйства Республики Казахстан от 9 ноября 2016 года, №151 [9].

Определение лактозоположительных кишечных палочек. При установлении лактозоположительных кишечных палочек использовался метод мембранных фильтров [4]. Проба воды фильтровалась через мембранные фильтры с диаметром пор 4 и 0,45 мкм. После фильтрования фильтры были перенесены в чашки Петри на среду Эндо. Чашки с посевами инкубировали при температуре 36±2 °С в течение 24 ч. После инкубации отбирали фильтры, на которых выросли характерные для ЛКП колонии: темно-красные с металлическим блеском, темно-красные без блеска, красные, розовые. Для подтверждения принадлежности колонии к ЛКП проводился

оксидазный тест. Сине-фиолетовое окрашивание ободка или всей колонии является характерной чертой положительной реакции.

После окраски колоний по Граму пересевали уколом до дна пробирки полужидкую среду с лактозой, инкубировали 5-6 ч при 37,5 °С. При наличии кислоты и газа колонию относили к лактозоположительным кишечным палочкам. При отсутствии изменений среды не учитывали. При наличии кислоты посеы инкубировали в термостате 24 ч и проводили окончательный учет. Результат анализа выражали в виде ЛКП в 1 дм³ воды (коли индекс). Суммировали количество колоний на фильтрах, где выросли изолированные колонии и число кишечных палочек не превышало 30, делили на объем воды, профильтрованный через эти фильтры, выраженный в дм³:

$$\frac{A}{V} \times 1000, \quad (1)$$

где A – общее число колоний ЛКП, подсчитанные на всех фильтрах; V – объем образца воды, взятый для посева, см³.

Определение сапрофитных микроорганизмов. Пробы воды высевали на чашки Петри с питательным агаром в четырех десятикратных разбавлениях и в двух повторностях для получения от 20 до 300 колоний. Инкубация посевов проводилась при температуре 37±0,5 °С. Для каждого образца находили число колоний сапрофитных микроорганизмов в перерасчете на 100 мл воды:

$$x_i = \frac{A_i \times 100}{V_i}, \quad (2)$$

где A_i – число колоний, подсчитанное в образце; V_i – объем образца воды, взятый для посева, мл.

За результат анализа числа колоний сапрофитных микроорганизмов в 100 мл исследуемой воды X , принимали среднее арифметическое значение результатов определения в образцах, отобранных для посева от пробы исследуемой воды, рассчитанное по формуле:

$$x = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n}, \quad (3)$$

где n – количество образцов, отобранное для посева от пробы исследуемой воды.

Допускается представлять результат анализа на основании подсчета колоний на одной чашке в исключительных случаях, если на других чашках рост расплывчатых колоний распространился на всю поверхность чашки или число колоний превышает 300-500, или при посеве из разбавлений выросло менее 20 колоний [4].

Определение спор сульфитредуцирующих клостридий проводилось методом фильтрования в пробирках [5]. Перед посевом пробирки с железосульфитным агаром расплавлялись на водяной бане. В течение посева поддерживалась температура среды 70°-80°С путем помещения пробирок со средами в водяную баню.

После фильтрования установленного объема воды мембранный фильтр помещали в пробирку с горячим агаром. Сторона фильтра с осевшими бактериями размещалась внутрь. При этом фильтр распрямлялся и располагался по стенке пробирки.

После посева пробирку с агаром и фильтром охлаждали путем помещения в емкость с холодной водой. Посевы культивировали при 44±1 °С в течение 16-18 ч.

Учету результатов подлежали только те посеы, где получены изолированные колонии. Подсчитывали черные и выросшие как на фильтрах, так и в толще питательной среды. Результат анализа выражался числом колониобразующих единиц (КОЕ) спор сульфитредуцирующих клостридий в 20 мл воды.

Определение числа бляшкообразующих единиц колифагов (БОЕ). Число БОЕ находили методом агаровых слоев, где фаги, лизирующие кишечные палочки, давали негативные колонии на бактериальном газоне.

При подготовке пробы к 10 мл исследуемой воды добавляли 1-2 мл хлороформа, встряхивали, отстаивали 15 мин. Для анализа отбирали воду над хлороформом.

На чашки Петри с 1,5 % МПА вносили по 1 мл пробы. В пробирки с 0,8 % МПА добавляли 0,1-0,2 мл взвеси 18-часовой культуры *E coli*, выделенной из пробы воды водоема, смесь перемешивали и выливали на поверхность зараженного агара, оставляли на 30 мин при комнатной

температуре. Чашки Петри в перевернутом виде инкубировали в термостате при 37 °С в течение 18-24 ч.

Число БОЕ, образовавшихся на всех чашках, пересчитывали на 1 дм³ исследуемой пробы воды и выражали индексом Фага [4].

Паразитологические методы. Вода фильтровалась через мембранные крупнопористые фильтры (3-5 мкм) для задержки всех яиц и личинок гельминтов по методу З. Г. Васильковой (1955) согласно методической рекомендации по санитарно-паразитологическому исследованию объектов внешней среды от 27.12.2005 г. [6]. Фильтры помещали на большие предметные стекла и микроскопировали во влажном состоянии без обработки. В ряде случаев осадок просматривали путем соскоба с фильтра на предметное стекло в каплю 50 % раствора глицерина.

Результаты и их обсуждение. Общая площадь озера Жалтырколь составляет 2 км², Большого Талдыколя – 5 км². Они расположены на территории, где климат отличается континентальностью: средняя температура зимой – минус 17 °С; средняя температура лета – плюс 20 °С. Среднегодовое количество атмосферных осадков – 300-350 мм, зимой – 17,7 мм, летом – 38,6 мм [3]. Координаты расположения озер даны в таблице 1.

Таблица 1 – Координаты расположения озер

Table 1 – Coordinates of lakes location

№ п/п	Озеро	Координаты	Площадь водоема, км ²	Расположение водоема
11	Жалтырколь (Arhaniya)	51°59'33" N 71°49'41" E	2	Акмолинская область, Аршалынский район, 5 км от сельского округа Жибек Жолы
22	Большой Талдыколь	51°07'27"N 71°20'20" E	5	Город Астана, Есильский район

Так как санитарно-микробиологическое состояние воды в водоемах во многом зависит от гидрохимических факторов, то в озерах Большой Талдыколь и Жалтырколь одновременно были изучены гидрохимические показатели [7, 14].

По результатам гидрохимических анализов (таблица 2) определены следующие показатели: рН, взвешенные вещества, условия кислородного режима (растворенный кислород, БПК₅, ХПК); минерализация (сухой остаток, хлориды, сульфаты, общая жесткость, общая щелочность); биогенные вещества (фосфаты, азот аммонийный, нитриты, нитраты, бор); металлы (железо, медь, хром, никель, цинк, марганец, молибден); органические вещества (фториды, СПАВ, нефтепродукты).

Превышение ряда компонентов может быть связано с естественным ксенобиотическим профилем среды.

Согласно единой системе классификации качества воды в водных объектах [9] озеро Большой Талдыколь относится к шестому классу качества, где наблюдается высокое значение ХПК – 42,8 мг О₂/л, взвешенных веществ – 46,0 мг/л, железа общего – 0,83 мг/л. В озере Жалтырколь взвешенные вещества составили 18,62 мг/л, поэтому оно также относится к шестому классу качества воды. Большое количество взвешенных веществ в озерах обусловлено длительным поступлением ила в озеро Большой Талдыколь как бывшего накопителя сточных вод. В озере Жалтырколь иловые взвешенные вещества могли также накапливаться долгое время как сапропелевые отложения.

Относительно благополучные нормируемые показатели в обоих озерах (3 и 2 классы) – это сульфаты, хлориды, общая жесткость, нитраты, нитриты, фосфаты, бор, марганец, никель, медь, цинк, молибден, хром, нефтепродукты, СПАВ, фториды, а также по ХПК и железу общему в озере Жалтырколь.

Несмотря на то, что по нескольким показателям озера отнесены к шестому классу качества воды, токсикологической опасности по таким изученным показателям, как СПАВ, нефтепродукты, хром, никель, марганец, медь, бор, молибден, не обнаружено, так как концентрации этих веществ не превышают санитарно установленных норм.

Таблица 2 – Гидрохимические показатели озер Большой Талдыколь и Жалтырколь

Table 2 – Hydrochemical parameters of Big Taldykol and Zhaltyrkol lakes

№ п/п	Нормируемые показатели	Стандарты качества вод по классам качества						Фактическая концентрация	
		1	2	3	4	5	6	Озеро Большой Талдыколь	Озеро Жалтырколь
1	Растворенный кислород, мг O ₂ /л	≥6	≥4	≥4	4	4	≤3	–	9,68
2	БПК ₅ , мг O ₂ /л	2,1	2,1	3,0	5,0	6,0	>6,0	2,0	2,01
3	ХПК, мг O ₂ /л	≤15	15	30	35	40	>40	42,8	20,3
4	pH	6,5-8,5	6,5-8,5	6,0-9,0	6,0-9,0	6,0-9,0	<6,0->9,0	8,37	8,08
5	Взвешенные вещества, мг/л	C _{фон} +0,25	C _{фон} +0,75	C _{фон} +1,0	C _{фон} +5,0	C _{фон} +10,0	>C _{фон} +10,0	46,0	18,62
6	Сухой остаток, мг/л	≤1000	1000	1300	1500	≤2000	>2000	1388,0	477,58
7	Сульфаты, мг/л	<100	100	500	≤600	≤1500	>1500	346,0	95,34
8	Хлориды, мг/л	300	350	350	400	400	>400	345,0	65,1
9	Щелочность, CaCO ₃ /л	<40,0	40,0- <50,0	50,0- <100,0	100,0- <200,0	200	>200	5,50	3,0
10	Общая жесткость, мг-экв/л	<4,0	6	9	10	13	≥15	9,80	4,5
11	Нитрат-ион, мг/л	≤40	40	45	45	45	>45	11,01	<0,1
12	Нитрит-ион, мг/л	0,1	3,3	3,3	3,3	5	>5	1,010	<0,003
13	Азот аммонийный, мг/л	≤0,5	0,5	1,0	2,0	2,6	>2,6	0,44	<0,05
14	Фосфаты, мг/л	0,2	0,4	0,7	1	≤3,5	>3,5	2,84	0,0336
15	Бор, мг/л	≤0,5	0,5	0,7	1,3	2	>2,0	–	<0,05
16	Железо общее, мг/л	0,1	0,1	0,3	0,5	0,5	>0,5	0,83	0,26
17	Марганец, мг/л	0,01	0,01	0,1	0,2	0,3	>0,30	0,042	0,018
18	Никель общий, мг/л	0,01	0,025	0,05	0,1	0,1	>0,10	0,016	–
19	Медь общая, мг/л	0,002	0,002	2	2	2,4	>2,4	–	0,29
20	Цинк общий, мг/л	0,04	0,04	0,04	0,12	0,2	>0,20	0,040	–
21	Молибден общий, мг/л	0,002	0,002	0,004	0,005	0,005	>0,0050	–	<0,0025
22	Хром общий, мг/л	0,1	0,1	0,55	0,55	0,55	>0,55	0,019	–
23	Нефтепродукты, мг/л	0,05	0,05	0,1	0,5	1	>1,0	<0,020	<0,005
24	СПАВ, мг/л	≤0,1	0,1	0,1	0,5	0,5	>0,7	0,13	0,014
25	Фториды, мг/л	0,75	0,75	1,5	2	2,1	>2,1	0,920	–
Класс качества воды								6	6

Нами проведены эксперименты по изучению бактериологических показателей качества воды озер Большой Талдыколь и Жалтырколь в осенний и весенний периоды. Исследовались такие показатели бактериологического качества воды, как лактозоположительные кишечные палочки (число ЛКП в 1 дм³), сапрофитные микроорганизмы при температуре 37 °С (число образующих колоний бактерий в 1 мл), сапрофитные микроорганизмы при температуре 22 °С (число образующих колоний бактерий в 1 мл), колифаги (число бляшкообразующих единиц БОЕ в 100 мл), споры сульфитредуцирующих кластридий (КОЕ в 20 мл). Бактериологические показатели осеннего периода приведены в таблице 3.

Лактозоположительные кишечные палочки в озерах не превысили санитарно-эпидемиологические нормы и составили 200 палочек в 1 дм³ в озере Большой Талдыколь и 20 палочек в 1 дм³ в озере Жалтырколь.

Определено число сапрофитных микроорганизмов, вырастающих при температуре 22-27 °С в течение 48 ч и при температуре 37 °С за 24 ч. К сапрофитным микроорганизмам относят мезофильных, сапрофитных аэробных и факультативных анаэробов, способных образовывать на

Таблица 3 – Бактериологические показатели качества воды в осенний период 2023 г.

Table 3 – Bacteriological indicators of water quality in the autumn period of 2023

№ п/п	Параметры	Норма по НД	Фактическое значение	
			Озеро Большой Талдыколь	Озеро Жалтырколь
1	Лактозоположительные кишечные палочки, число ЛКП в 1 дм ³	Не более 5000	200	20
2	Сапрофитные микроорганизмы при температуре 37 °С (число образующих колоний бактерий в 1 мл)	–	195	285
3	Сапрофитные микроорганизмы при температуре 22 °С (число образующих колоний бактерий в 1 мл)	–	>300	>240
4	Колифаги (число бляшкообразующих единиц БОЕ в 100 мл), споры	Не более 100	3	10
5	Сульфитредуцирующие клостридии (КОЕ в 20 мл)	–	9	Отсутствует
6	Патогенная флора, в том числе сальмонеллы	Отсутствие в 1000 мл	Не обнаружено	Не обнаружено

питательном агаре данного состава колонии, видимые при увеличении в 2 раза. Соотношение этих групп микроорганизмов позволяет судить о динамике и интенсивности самоочищения.

В озере Большой Талдыколь при температуре 22 °С выросло больше сапрофитных микроорганизмов, чем при 37 °С. Эта разница более выражена при завершении самоочищения. В озере Жалтырколь наоборот. Сапрофиты, вырастающие при температуре 20 °С, являются активными источниками самоочищения водоемов. Динамика численности этого показателя является чувствительным индикатором загрязнения водоемов, в частности органическими веществами. В местах загрязнения хозяйственно-бытовыми и сточными водами численные значения обеих групп близки.

Также в озерах не превышены нормативы по содержанию колифагов: 3 единицы БОЕ в 100 мл в воде озера Большой Талдыколь и 10 единиц БОЕ в озере Жалтырколь.

Сульфитредуцирующие клостридии отсутствуют в озере Жалтырколь, но обнаружены в воде озера Большой Талдыколь в количестве 9 КОЕ в 20 мл. Их содержание не предусмотрено при нормировании качества воды природных водоемов в РК. Однако известно, что эти организмы являются устойчивыми индикаторами фекального загрязнения, имевшего место в прошлом. Это объясняется тем, что споры сульфитредуцирующих клостридий способны длительное время переносить неблагоприятные факторы окружающей среды. Поэтому их присутствие может дать основание для более тщательных исследований воды и грунтов на наличие цист или ооцист простейших других патогенных организмов, которые имеют высокую резистентность подобно сульфитредуцирующим клостридиям. Содержание клостридий используется как показатель эффективности обеззараживания при водоподготовке в ряде стран мира [10].

Результаты весенних микробиологических анализов приведены в таблице 4.

Таблица 4 – Бактериологические показатели качества воды в весенний период 2024 г.

Table 4 – Bacteriological indicators of water quality in spring 2024

№ п/п	Параметры	Норма по НД	Фактическое значение	
			Озеро Большой Талдыколь	Озеро Жалтырколь
1	Лактозоположительные кишечные палочки, число ЛКП в 1 дм ³	Не более 5000	300	2300
2	Колифаги (число бляшкообразующих единиц БОЕ в 100 мл), споры	Не более 100	Не обнаружено	Не обнаружено
3	Патогенная флора, в том числе сальмонеллы	Отсутствие в 1000 мл	Не обнаружено	Не обнаружено

Кроме того, проведены эксперименты по изучению паразитологических показателей качества воды открытых водоемов согласно методическим рекомендациям по санитарно-паразитологическому исследованию объектов внешней среды от 27.12.2005 г. [6]. Результаты определения наличия жизнеспособных яиц гельминтов (аскарид, влагослав, токсокар, фасциол), онкосферы теннид и жизнеспособные цисты патогенных кишечных простейших представлены в таблице 5.

Таблица 5 – Паразитологические показатели качества воды

Table 5 – Parasitological indicators of water quality

№ п/п	Параметры	Норма по НД	Фактическое значение	
			Озеро Большой Талдыколь	Озеро Жалтырколь
1	Жизнеспособные яйца гельминтов (аскарид, влагослав, токсокар, фасциол), онкосферы теннид и жизнеспособные цисты патогенных кишечных простейших	Не должны содержаться в 1 дм ³	Отс.	Отс.

В озере Большой Талдыколь пробы воды содержали большое количество инфузорий, коловраток, гастротрихий, из планктонных видов доминировали диатомовые водоросли.

Пробы воды в озере Жалтырколь имели насыщенно зеленый цвет, оставляли густой осадок с примесями ила и песка. Было обнаружено большое количество цианобактерий и диатомовых водорослей, часто встречался вид факус.

Большое количество инфузорий (*Ciliata*) является показателем того, что в озере Большой Талдыколь в составе органического загрязнения преобладают аллохтонные вещества, которые привносились или привносятся извне озера [11].

Чрезмерное размножение коловраток в зоопланктоне широко используется как индикатор эвтрофирования водной экосистемы [13]. В пробах озер идентифицированы виды коловраток *Rotifera-Brachionus quadridentatus hyphalmyros*, *Rotaria neptunia*, *Testudinella sp.* *Rotaria tardigrada* с индикаторной значимостью – S (2,5-3,5), что соответствует α-мезосапробному водоему.

Доминирование диатомей является прямым свидетельством того, что водоем испытывает резкие понижения уровня воды вплоть до критического пересыхания, что приводит к селекции диатомовых водорослей по сравнению с другими видами альгосообщества.

Хроническое обмеление озер, попадание в них с ливневыми стоками органических загрязнителей также способствуют высокому риску цветения воды, вызванного цианобактериями. Это объясняется тем, что обмеление водоема приводит к повышению концентраций в воде азота и фосфора – благоприятной питательной среды для цианобактерий. Положение усугубляется также и тем, что в Акмолинской области за последние годы наблюдается значительное повышение температуры и увеличение бездождевого периода в летнее время, что способствует ускорению эвтрофирования стоячих водоемов. Цветение циановодорослей является крайне неблагоприятным санитарным показателем для водоема, так как цианиды продуцируют большое количество токсинов, в числе которых и токсины, опасные не только для экосистемы, но и для человека: нейротоксины, дерматоксины и гепатотоксины [13].

Тем не менее в изучаемых водных объектах не были обнаружены жизнеспособные яйца гельминтов (аскарид, влагослав, токсокар, фасциол), онкосферы теннид и жизнеспособные цисты патогенных кишечных простейших. Это говорит об относительной устойчивости естественного микробиоценоза в воде данных озер, на фоне которого на момент изучения не было благоприятных предпосылок для развития патогенной микрофлоры.

Выводы. Водоемы по санитарно-эпидемиологическим показателям на момент исследования соответствовали установленным требованиям [7, 14].

По гидрохимическим показателям озеро Большой Талдыколь относится к шестому классу качества, где наблюдается высокое значение ХПК – 42,8 мг O₂/л, взвешенных веществ – 46,0 мг/л, железа общего – 0,83 мг/л. Озеро Жалтырколь по высокому значению взвешенных веществ 18,62 мг/л также относится к шестому классу качества воды.

Нормативы по содержанию лактозоположительных кишечных палочек, колифагов не превышены.

В воде озер не обнаружены жизнеспособные яйца аскарид, влагослав, токсокар, фасциол, онкосфер теннид, а также цисты патогенных кишечных простейших. Однако наличие сульфит-редуцирующих клостридий в озере Большой Талдыколь может указывать на вероятность присутствия в грунтах резистентных цист простейших патогенных организмов.

Большое количество инфузорий, коловраток, гастротрихий, доминирование диатомовых водорослей свидетельствуют об эвтрофировании водоема, высоком риске цветения воды и что в составе органического загрязнения преобладают аллохтонные органические вещества.

Финансирование. Работа выполнена в рамках проекта грантового финансирования по научным и (или) научно-техническим проектам на 2022-2024 годы Комитета науки Министерства образования и науки Республики Казахстан: «Определение гидробиоценоза озера Большой Талдыколь как фактора экологической устойчивости экосистемы и применение выделенных бактериальных культур для очистки воды в озере». № ИРН: AP14871346.

ЛИТЕРАТУРА

[1] Akbayeva L. Kh., Bakeshova Zh. U., Mamytova N. S., Abzhalelov A. B., Yevneyeva D. O., Rakymzhan Zh., Tazhen A. N. The ability of natural waters to self-purify, depending on the degree of chemical pollution // Вестник КазНУ им. эл-Фараби. Серия экологическая. – Алматы, 2024. – № 2(79). – С. 32-41.

[2] Акбаева Л. Х., Мельдешова А. Б., Макажанов Е. Ж. Антропогенное влияние на Талдыкольскую систему озер в городе Нур-Султан // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Экология и безопасность жизнедеятельности. – 2022. – Т. 30, № 3. – С. 266-279.

[3] Akbayeva, L., Mamytova, N., Beisenova, R., Abzhalelov, A., Akhayeveva, A. Studying the self-cleaning ability of water bodies and watercounts of arshalyn district of akmola region // Journal of Environmental Management. – 2020. – Vol. 11(5). – P. 1095-1104.

[4] СТ РК 3468-2019 Охрана природы. Методы санитарно-микробиологического анализа воды поверхностных водоемов (https://online.zakon.kz/Document/?doc_id=34735050&pos=3;-102#pos=3;-102).

[5] МУК №10.05.045.03. Методические указания. Методы микробиологического контроля питьевой воды. Государственная система санитарно-эпидемиологического нормирования Республики Казахстан (https://online.zakon.kz/Document/?doc_id=37998310).

[6] Методические рекомендации по санитарно-паразитологическому исследованию объектов внешней среды Государственного санитарно-эпидемиологического надзора МЗ РК от 27.12.2005 года.

[7] Об утверждении гигиенических нормативов показателей безопасности хозяйственно-питьевого и культурно-бытового водопользования. Приказ №138 МЗ РК от 24.11.22 г.

[8] СТ РК ГОСТ Р 51592-2003 Вода. Общие требования к отбору проб.

[9]. Единая система классификации качества воды в водных объектах по приказу председателя Комитета по водным ресурсам Министерства сельского хозяйства Республики Казахстан от 9 ноября 2016 года №151.632

[10] Морозова М. А., Федоров Ю. А. Роль сульфитредуцирующих клостридий в патологии у рыб // Известия вузов. Северо-Кавказский регион. Естественные науки. – 2015. – № 1. – С. 60-65.

[11] Трофимова Л. В., Мячина О. А., Гуляева В. В. Ресничные инфузории и сапробность водоемов // Вестник ЧГПУ. Биологические науки и физика. – 2010. – № 11. – С. 312-319.

[12] Мнацаканова Е. А. Динамика сообществ коловраток в водоемах с разными гидрологическими условиями. Московский государственный университет им. М. В. Ломоносова, биологический факультет, специальность 03.00.18 – Гидробиология 1 А. – Москва, 2009.

[13] Калининкова Т. Б., Гайнутдинов М. Х., Шагидуллин Р. Р. Методы контроля численности цианобактерий в водоемах и очистки питьевой воды от цианотоксинов // Экологическая безопасность. – 2019. – № 4. – С. 33-45.

[14] Санитарные правила «Санитарно-эпидемиологические требования к водоисточникам, местам водозабора для хозяйственно-питьевых целей, хозяйственно-питьевому водоснабжению и местам культурно-бытового водопользования и безопасности водных объектов». Приказ МЗ РК от 20.02.2023 г. № 26.

REFERENCES

[1] Akbayeva L. Kh., Bakeshova Zh. U., Mamytova N. S., Abzhalelov A. B., Yevneyeva D. O., Rakymzhan Zh., Tazhen A. N. The ability of natural waters to self-purify, depending on the degree of chemical pollution // Bulletin of KazNU named after Əl-Farabi, environmental series. Almaty, 2024. No. 2(79). P. 32-41.

[2] Akbaeva L. H., Meldeshova A. B., Makazhanov E. J. Anthropogenic impact on the Taldykol lake system in the city of Nur-Sultan // Vestnik of Peoples' Friendship University of Russia. Series: Ecology and life safety. 2022. Vol. 30, No. 3. P. 266-279 (in Russ.).

[3] Akbayeva, L., Mamytova, N., Beisenova, R., Abzhalelov, A., Akhayeveva, A. Studying the self-cleaning ability of water bodies and watercounts of arshalyn district of akmola region // Journal of Environmental Management. 2020. Vol. 11(5). P. 1095-1104.

[4] ST RK 3468-2019. Nature protection. Methods of sanitary and microbiological analysis of water of surface water bodies (https://online.zakon.kz/Document/?doc_id=34735050&pos=3;-102#pos=3;-102) (in Russ.).

[5] МУК №10.05.045. Methodological guidelines. Methods of microbiological control of drinking water. State system of sanitary-epidemiological norming of the Republic of Kazakhstan (https://online.zakon.kz/Document/?doc_id=37998310) (in Russ.).

[6] Methodical recommendations on sanitary-parasitological research of objects of external environment of the State sanitary-epidemiological supervision of the MH RK from 27.12.2005 (in Russ.).

[7] On approval of hygienic standards of safety indicators of household drinking and cultural and domestic water use. Order № 138 MH RK from 24.11.22 (in Russ.).

[8] ST RK GOST R 51592-2003 Water. General requirements for sampling (in Russ.).

[9] Unified system of classification of water quality in water bodies by the order of the Chairman of the Committee for Water Resources of the Ministry of Agriculture of the Republic of Kazakhstan from 9 November 2016 №151.632 (in Russ.).

[10] Morozova M. A., Fedorov Y. A. Role of sulfite-reducing clostridia in fish pathology // *Izvestiya vuzov. North Caucasian region. Natural Sciences*. 2015. No. 1. P. 60-65 (in Russ.).

[11] Trofimova L. V., Myachina O. A., Gulyaeva V. V. Ciliated infusoria and saprobic nature of water bodies // *Vestnik ChSPU. Biological Sciences and Physics*. 2010. No. 11. P. 312-319 (in Russ.).

[12] Mnatsakanova E. A. Dynamics of rotifer communities in water bodies with different hydrological conditions. M. V. Lomonosov Moscow State University. Biological Faculty, Speciality 03.00.18 – Hydrobiology 1 A. Moscow, 2009 (in Russ.).

[13] Kalinnikova T. B., Gainutdinov M. H., Shagidullin R. R. Methods for controlling the number of cyanobacteria in water bodies and purification of drinking water from cyanotoxins // *Ecological Safety*. 2019. No. 4. P. 33-45 (in Russ.).

[14] Sanitary rules 'Sanitary and epidemiological requirements for water sources, places of water intake for household and drinking purposes, household and drinking water supply and places of cultural and domestic water use and safety of water bodies' Order of the Ministry of Health of RK from 20.02.2023 No. 26 (in Russ.).

Л. Х. Акбаева^{*1}, Ж. У. Бакешова², А. Н. Тажен³,
А. Б. Абжалелов⁴, Д. О. Евнеева⁵, Н. С. Мамытова⁶

^{1*} Биология ғылымдарының кандидаты, доцент (НАО «Л. Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті», Астана, Қазақстан; akbaeva659@mail.ru)

² PhD докторанты (НАО «Л. Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті», Астана, Қазақстан; Bakeshova.z@yandex.ru)

³ Магистрант (НАО «Л. Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті», Астана, Қазақстан; Abay.thn@mail.ru)

⁴ Биология ғылымдарының докторы, профессор (НАО «Л. Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті», Астана, Қазақстан; ab_akhan@mail.ru)

⁵ Аға ғылыми қызметкер (НАО «Л. Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті», Астана, Қазақстан; evdior1@gmail.com)

⁶ PhD («К. Құлжанов атындағы Қазақ технология және бизнес университеті» АҚ, Астана, Қазақстан; mamytovanur@gmail.com)

ҮЛКЕН ТАЛДЫКӨЛ ЖӘНЕ ЖАЛТЫРКӨЛ КӨЛДЕРІН САНИТАРЛЫҚ-МИКРОБИОЛОГИЯЛЫҚ БАҒАЛАУ

Аннотация. Үлкен Талдықөл және Жалтыркөл көлдерінің гидрохимиялық, бактериологиялық және паразитологиялық көрсеткіштері зерттелді: рН, қалқыма заттар, оттегі режимінің шарттары (еріген оттегі, ОБҚ₅, ОХҚ₅); минералдануы (құрғақ қалдық, хлоридтер, сульфаттар, жалпы кермектілік, жалпы сілтілік); биогенді заттар (фосфаттар, аммоний азоты, нитриттер, нитраттар, бор); металдар (темір, мыс, хром, никель, мырыш, марганец, молибден); органикалық заттар (СББЗ, мұнай өнімдері, фторидтер). Гидрохимиялық талдаулардың нәтижесінде ОХҚ 42,5 мг О₂/л, қалқыма заттар 46,0 мг/л, жалпы темір 0,83 мг/л жоғарғы мәндерінің байқалуына сәйкес, Үлкен Талдықөл көлі су сапасының алтыншы класына жатады. Жалтыркөл көлінде қалқыма заттар 18,62 мг/л құрады, сол себепті Жалтыркөл көлі де су сапасының алтыншы класына жатады. Басқа көрсеткіштер бойынша көлдерге токсикологиялық қауіп жоқ. Бактериологиялық зерттеулердің нәтижесі бойынша лактоза оң ішек таяқшалары, колифагтар мөлшерден аспаған. Бірақ сульфитредукциялаушы клостридиялардың Үлкен Талдықөл көлінің суында болуы топырақта патогенді қарапайымдылардың резистентті цисталарының болуы ықтималдығын көрсетеді. Паразитологиялық зерттеулердің нәтижесі бойынша көл суларында аскаридалардың, влагослав, токсокар, фасциол, теннидті онкосфералардың өміршең жұмыртқалары, сонымен қатар патогенді ішек таяқшаларының цисталары табылған жоқ. Инфузориялардың, коловраткалардың, гастротрихиялардың көп болуы және диатомды балдырлардың басымдылығы су қоймасының эвтрофикациясын және судың гүлдену қаупінің жоғары екенін көрсетеді.

Түйін сөздер: гидрохимия, микробиология, концентрация, поллютанттар, эвтрофикация, сапрофитті микроағзалар, колифагтар, патогенді флора.

L. Kh. Akbayeva^{*1}, Zh. U. Bakeshova², A. N. Tazhen³,
A. B. Abzhalelov⁴, D. O. Yevneyeva⁵, N. S. Mamytova⁶

^{1*} Candidate of Biological Sciences, Associate Professor (NAO «Eurasian National University named after L. N. Gumilev»), Astana, Kazakhstan; akbaeva659@mail.ru

² PhD student (NAO «Eurasian National University named after L. N. Gumilev»), Astana, Kazakhstan; Bakeshova.z@yandex.ru

³ Masters (NAO «L. N. Gumilev Eurasian National University»), Astana, Kazakhstan; Abay.thn@mail.ru

⁴ Doctor of Biological Sciences, Professor (NAO «L. N. Gumilev Eurasian National University»), Astana, Kazakhstan; ab_akhan@mail.ru

⁵ Senior Researcher (NAO «Eurasian National University named after L. N. Gumilev»), Astana, Kazakhstan; evdior1@gmail.com

⁶ PhD (JSC «Kazakh University of Technology and Business named after K. Kulzhanov»), Astana, Kazakhstan; mamytovanur@gmail.com

SANITARY AND MICROBIOLOGICAL ASSESSMENT OF BIG TALDYKOL AND ZHALTYRKOL LAKES

Abstract. Hydrochemical, bacteriological, and parasitological parameters were studied in Big Taldykol and Zhaltyrkol lakes: pH, suspended solids, oxygen conditions (dissolved oxygen, BOD5, COD); mineralization (dry residue, chlorides, sulfates, total hardness, total alkalinity); biogenic substances (phosphates, ammonium nitrogen, nitrites, nitrates, boron); metals (iron, copper, chromium, nickel, zinc, manganese, molybdenum); organic substances (fluorides, synthetic surfactants, oil products). According to the results of hydrochemical analyses Big Taldykol Lake belongs to the sixth class of water quality, where high value of COD 42.8 mg O₂/l, suspended solids - 46.0 mg/l, total iron 0.83 mg/l were observed. In Lake Zhaltyrkol suspended solids were 18.62 mg/l, so Lake Zhaltyrkol also belongs to the sixth class of water quality. According to other indicators in the lakes there is no toxicological hazard. The excess of a number of components may be related to the natural xenobiotic profile of the environment. According to the results of bacteriological studies, the content of lactose-positive *Escherichia coli* and coliphages did not exceed permissible levels. According to the results of parasitological studies, no viable eggs of ascarids, vlagoslav, toxocaria, fasciola, oncospheres of tennidae, or cysts of pathogenic intestinal protozoa were found in the water of the lakes. A large number of infusoria, rotifers, and gastrotrichia, along with the dominance of diatom algae, indicate eutrophication of the water body and a high risk of water blooms.

Keywords: hydrochemistry, microbiology, concentration, pollutants, eutrophication, saprophytic microorganisms, coliphages, pathogenic flora.

*Земельные ресурсы, ландшафтоведение
и рациональное природопользование
Жер ресурстары, ландшафттану
және қоршаған ортаны басқару
Land resources, landscape science
and environmental management*

<https://doi.org/10.55764/2957-9856/2025-1-88-96.9>

МРНТИ 38.47.01
УДК 911.5

С. К. Вейсов^{*1}, Г. О. Хамраев²

^{1*}К. г. н., ведущий научный сотрудник (Национальный институт пустынь, растительного и животного мира Министерства охраны окружающей среды, Ашхабад, Туркменистан; wsultan@mail.ru)

²К. г. н., заведующий кафедрой гидрометеорологии (Туркменский государственный университет им. Махтумкули, Ашхабад, Туркменистан; gapur2013@mail.ru)

**ВЛИЯНИЕ ЛИТОЛОГИЧЕСКОГО
И ГРАНУЛОМЕТРИЧЕСКОГО СОСТАВА ПЕСКОВ
НА СТЕПЕНЬ РАЗВИТИЯ ДЕФЛЯЦИОННЫХ ПРОЦЕССОВ
В ЗАПАДНОМ ТУРКМЕНИСТАНЕ**

Аннотация. На основе полевых исследований раскрыты вопросы зависимости и активизации дефляционных процессов от литологического и гранулометрического состава песков с влиянием многолетнего режима ветра на территории Западного Туркменистана. Кроме того, под влиянием сильных ветров пески в разной степени подвергаются процессам выдувания, переноса и аккумуляции. Знание этих особенностей развития дефляционных процессов позволяет правильно разместить различные типы инженерных объектов в барханных формах эолового рельефа и разработать эффективные методы по их защите от песчаных заносов и выдувания.

Ключевые слова: литологический и гранулометрический состав песков, многолетний ветровой режим, процессы дефляции, размещение и защита различных инженерных объектов от подвижных песков, Западный Туркменистан.

Исследованная нами территория Туркменистана включает достаточно большую часть Западных Каракумов: Западно-Туркменскую впадину, районы Прикарабогазья, западные отроги Копетдага, Большой Балхан и Тувергыр. Ее большая часть сложена морскими осадочными отложениями. Небольшие участки занимают магматические породы палеозоя в районе Большого Балхана, Тувергыра и Красноводского полуострова.

На базе накопленных геолого-геофизических материалов были заложены основы современных представлений о геологии и тектонике равнинных пространств Туркменистана. В послевоенные годы широко развернулись геофизические работы. Изучение палеозойских магматических и осадочных пород, вскрытых буровыми скважинами, позволило обработать и систематизировать обширный материал по палеозою Каракумов и Прикарабогазья. В результате разработаны детальные палеонтологические стратиграфические схемы морских отложений, что продвинуло познание стратиграфии континентальных толщ и их литолого-фациальных особенностей.

Труды большого количества специалистов позволили выявить основные черты геологического строения Западного Туркменистана. Проследить хронологическую историю геологического развития территории Туркменистана можно с юрского периода. Тектонические процессы обусловили изменения в распределении суши и моря, областей сноса и аккумуляции. С изменением климатической обстановки связаны изменения в процессах осадконакопления, характере органического мира и условиях образования полезных ископаемых в этом регионе.

Отложения палеогена почти повсеместно перекрыты толщей пород неоген-четвертичного возраста. Морской режим в меловое время продолжался без перерыва. Восходящие движения земной коры, начавшиеся в конце мелового периода, продолжались и в начале палеогеновой эпохи. Они привели к временному сокращению размеров морского бассейна и выразились в перерыве между отложениями верхнего мела и палеогена.

Палеогеновый разрез на большей части исследуемой территории начинается с глинистых карбонатных отложений, которые залегают на датских известняках со следами перерыва. Верхняя часть разреза представлена глинами и мергелями. Отложения богаты остатками микрофауны. Во время осадконакопления в центральной части Каракумов происходило образование разрывных тектонических нарушений. Разрез палеогена рассматриваемой территории заканчивается мощной толщей глин. Образование осадков происходило при неравномерном погружении, что обусловило значительные колебания их мощности. К середине палеогенового времени активно проявилась и вулканическая деятельность.

Неогеновая эпоха характеризуется сокращением морского бассейна. Разрез неогена сложен морскими миоценовыми и континентальными отложениями. Отложения миоценового отдела несогласно перекрывают породы мела и палеогена. Нижняя часть неогеновых отложений представлена толщей гипсоносных глин с прослоями мергелей, переполненных раковинами. Верхней отдел (плиоцен) выполнен в основном глинами и песками.

В общих чертах неогеновая эпоха была временем интенсивной тектонической деятельности, которая определила основные черты современных ландшафтов. Значительную роль в образовании современных отложений сыграла древняя Амударья, которая создала обширную аллювиальную равнину на большей части Каракумов. Формирование эоловых песчаных гряд происходило в верхнеплиоценовое время.

Отложения четвертичного возраста широко развиты на изучаемой территории. Они представлены серыми, желтовато-серыми песками с прослоями глин и суглинков. В районе Дарвазы широко распространены эоловые отложения, из которых образовались песчаные гряды. Четвертичный период характеризуется постепенным ослаблением тектонической деятельности и является временем активного формирования эолового рельефа Каракумов, где имеются бессточные впадины и различные типы эолового рельефа. Весьма характерно для этой территории наличие самого крупного тектонического элемента Туранской плиты – Каракумского свода. На своде выделяется система тектонических разрывных нарушений. Региону свойственно образование древнего русла Амударьи, которое сейчас называется Узбой. Южная часть региона весьма обширна по площади, она известна как Западная Туркменская впадина. Осадочный чехол впадины состоит из отложений мелового, палеогенового и неоген-четвертичного возраста. Впадина представлена системой тектонических разрывов. Их большая глубинность подтверждается грязевым вулканизмом и термальными минерализованными водами.

Для комплексного изучения дефляционных процессов большое значение имеет степень ветроэрозионной устойчивости подстилаемых песков. В зависимости от литологического и гранулометрического состава они в разной степени подвержены процессам выдувания, переноса и аккумуляции. Следовательно, интенсивность развития дефляционных процессов напрямую зависит от строения исходного песчаного материала и многолетнего ветрового режима этой территории, поскольку перечисленные факторы определяют образование и динамику природных, и техногенных песков [1, 2, 6, 7, 9-11].

Западный Туркменистан отличается накоплением мощных толщ четвертичных отложений. Наиболее древними, выходящими на дневную поверхность отложениями являются верхнеплиоценовые, представленные песчаными и песчано-глинистыми осадками. Они обнажаются только в некоторых геоморфологических структурах: Монджуклы, Челекен, Боядаг. В них песчаные осадки залегают неравномерно: в Монджуклы – 76%, Челекене – 50%, а в Боядаге – всего 34%. Процессы

выдувания и разрушения останцов в районе их обнажений ясно свидетельствуют, что красноцветные толщи неустойчивы к воздействию сильных ветров.

Небольшое распространение получили и акчагыльские отложения, которые состоят в основном из глинистых пород. Так, в массиве Монджуклы они составляют более 70% от общей мощности отложений. Преобладание глин придаёт акчагыльским отложениям значительную устойчивость от воздействия дефляционных процессов (рисунок 1).

Нами составлена почвенная карта Западного Туркменистана. На ней нами выделены шестнадцать типов почв.

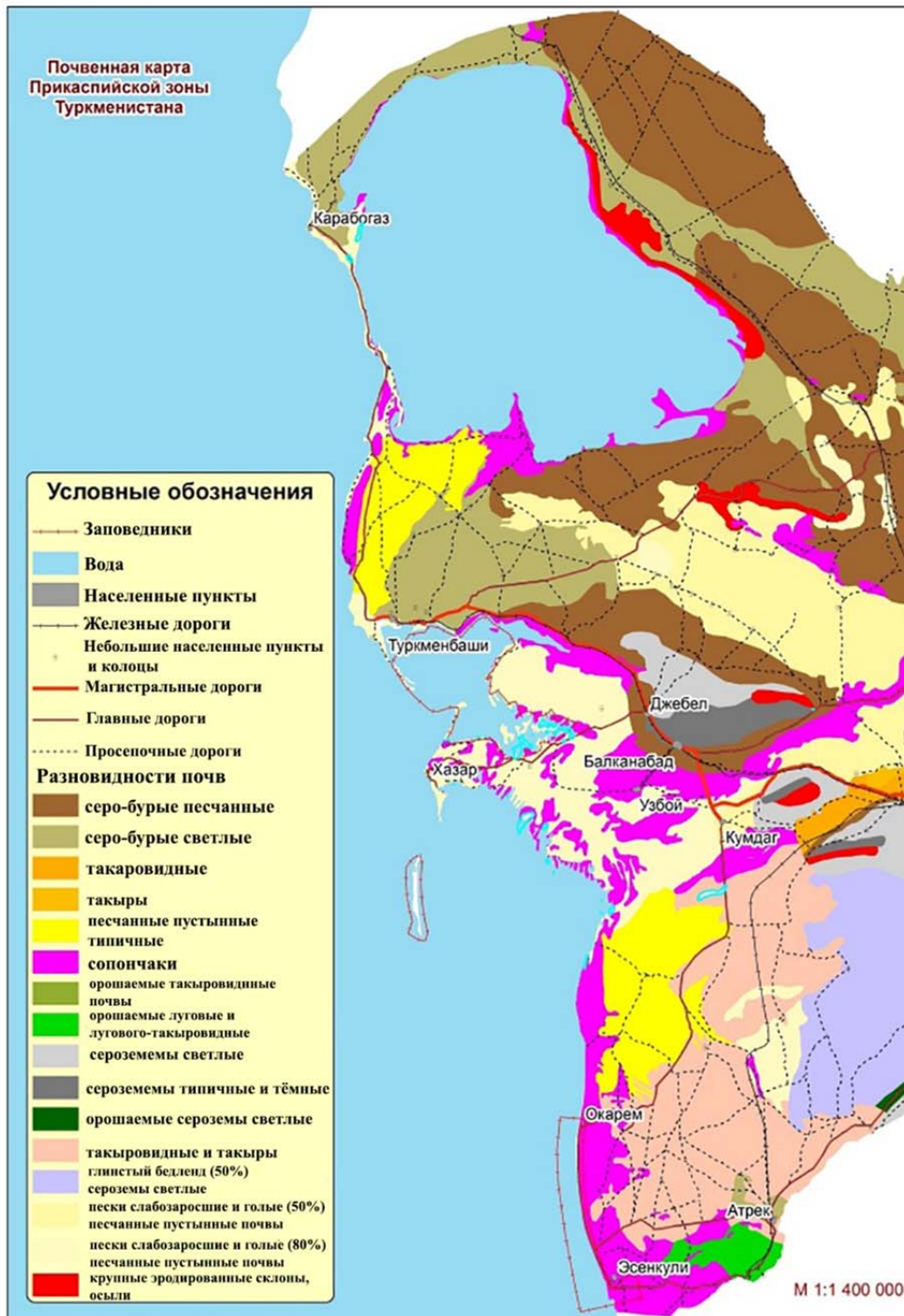


Рисунок 1 – Почвенная карта Западного Туркменистана

Figure 1 – Soil map of Western Turkmenistan

В нашем регионе наиболее широко распространены четвертичные отложения, которые условно можно разделить на пять ярусов.

Любая природная поверхность не является идеально гладкой плоскостью, а имеет какие-либо выступы и понижения. Для песчаных поверхностей характерным выступающим элементом является песчинка. Она же элементарная форма рельефа, которая вступает в контакт с движущимся воздухом. В зависимости от размеров зерен песка выделяют пять основных фракций.

Песок представляет собой физическое тело, отличающееся стабильностью параметров. Законы переноса песка в ветропесчаном потоке, законы образования эоловых форм и их динамики остаются одинаковыми для всех пустынь.

В зависимости от происхождения исходного материала, подвергающегося эоловой переработке, выделяют следующие эоловые пески: 1) эолово-аллювиальные; 2) эолово-пролювиальные; 3) эолово-дельтовые; 4) эолово-прибрежно-морские и эолово-прибрежно-озерные; 5) эоловые пески каменистых равнин – гаммады; 6) эоловые пески структурных равнин, сложенные песчаниками до четвертичного возраста. Формы распространения эоловых отложений различны. Степень отсортированности эоловых песков различна и зависит от длительности воздействия различных скоростей ветра. Их общей чертой является заметное или резкое преобладание частиц мелкого песка.

Для изучения рыхлопесчаных отложений и их влияния на развитие дефляционных процессов необходимо провести всесторонний анализ гранулометрического состава песчаных массивов Западного Туркменистана. Он является одним из структурных признаков и показывает характеристику пород различного размера и слагающих их минеральных частиц. Анализ гранулометрического состава позволяет установить количество частиц того или иного размера по весу, которое содержится в породе, а также показывает соотношение частиц различной крупности и как они отсортированы.

Образцы песка для анализа отбирались следующим образом: на барханных песках с очень слабым перемещением, перемещенных барханах и задернованных песках. Первые два образца отбирались на глубине 0,2-0,3 м, строго по элементам барханной формы, а на задернованных песках – с помощью бура с глубины 0,6-3,0 м в зависимости от высоких и низких форм эолового рельефа. Глубина отбора образцов на задернованных песках диктуется необходимостью изучить механический состав песков, который был менее затронут процессами дефляции. При этом показатель степени перевеянности, а также однородности песчаных грунтов принимался с учетом, что мощность горизонта, затронутого почвообразованием, не превышает 0,2-0,6 м.

Гранулометрический анализ песка проводился ситовым методом в Национальном институте пустынь, растительного и животного мира Министерства охраны окружающей среды Туркменистана (НИПРЖМ). Были вычислены гранулометрические показатели (коэффициент неоднородности K_H , медианный диаметр M_d). Для расчета гранулометрических показателей мы использовали предложенную П. И. Фадеевым [8] формулу $K_H = \frac{d_{30}}{d_{10}}$, которая позволила изучить пески с большим разнообразием показателей фракционного состава. Песчаные грунты $K_H < 3$ считаются хорошо отсортированными, с $K_H = 3-5$ – средне отсортированными, с $K_H = 5-10$ – плохо отсортированными и с $K_H > 10$ – неотсортированными. Полученные гранулометрические показатели позволили количественно оценить степень неоднородности и перевеянности пород, а также определить характер фракционного состава. Это дало возможность разработать сравнительную классификацию песчаных толщ исследуемого региона.

Анализ гранулометрического состава песков массива Октумкум показал доминирующие фракции, которые в основном полидисперсные. В Октумкумах сумма фракций мелкого и тонкого песка колеблется от 65 до 97%. В южной части фракция тонкого песка замещается фракцией среднезернистого песка, одновременно увеличивается содержание глинистых частиц и ила (0,005 мм) до 6%. Для песчаных грунтов на севере массива характерно наличие трех фракций: мелкозернистой, тонкозернистой и среднезернистой. Отличительной их чертой является уменьшение содержания глинистых фракций и ила до 1-2% по сравнению с Октумкумами (4-6%). Наряду с этим в их составе 6-18% составляют фракции больше 1,0 мм и 3-5% – глинистые частицы и ил.

Особенно обращает на себя внимание полное отсутствие хорошо отсортированных песков, повышение коэффициента неоднородности в Октумкумах и северных песчаных массивах.

На юге Октумкумов коэффициент неоднородности песков возрастает до 8,6, так как в них отмечается больше среднезернистых и глинистых частиц.

Барханные пески региона отличаются преобладанием мелкозернистой фракции – 0,25-0,1 мм. Их содержание в неперемещенных песках изменяется с юга на север и составляет в барханных песках на юго-востоке Октумкумов 96,2%, на северо-западе Октумкумов 81,9, а в барханных массивах к востоку и северу от Кендырли – Каясанского плато (пески Сюра-Дурдуль, Кур-Кызыл, Кургузульские) уменьшается соответственно до 76,1; 62 и 70%.

Лучшей отсортированностью отличаются подвижные барханные пески. Анализируя их состав, вынесенный на плато со стороны барханных массивов Сюра-Дурдуля и Кургузульский, можно отметить, что содержание преобладающей фракции от 0,25 до 0,1 мм в первом случае возрастает от 77,9 до 95,8 и 95,2%, во втором случае – от 69,8 до 79,8 и 85,1%. Здесь песок становится мелкозернистым, более выдержанным и однородным по составу.

Общим для них является то, что песчаные толщи региона очень разнообразны по гранулометрическому составу. Особенностью песчаных отложений является незначительная доля хорошо перевеянных однородных песков. В барханных песках большинства массивов содержание фракций 0,2-0,1 мм – меньше 90 или даже 80 %. Исключение составляет массив на юго-восточной границе Октумкумов, песок которого отличается содержанием фракции 0,25-0,1 мм до 96,2% и коэффициентом неоднородности 2,0. Коэффициент неоднородности для барханных песков на севере района возрастает до 3,4, что соответствует категории средне отсортированных песков. Степень эоловой переработки уменьшается от песчаных грунтов Октумкумов по сравнению с грунтами задернованных участков массивов Сюра-Дурдуль, Кур-Кызыл, изменяется от средне отсортированных массивов к плохо отсортированным. Коэффициент неоднородности при этом увеличивается от 4,2 до 6,4. Возрастание этого коэффициента повышает диаметр песчаных зерен, что соответствует росту фракций средне- и крупнозернистого песка.

Отложения древней Амударьи тоже отличаются преобладанием легкой фракции – 99,68% (рисунки 2, 3). В них преобладают кварц (54%) и полевой шпат (37%). Кроме того, у амударьинских песков в составе больше минералов группы эпидота (до 30%) и гранита (до 18%).

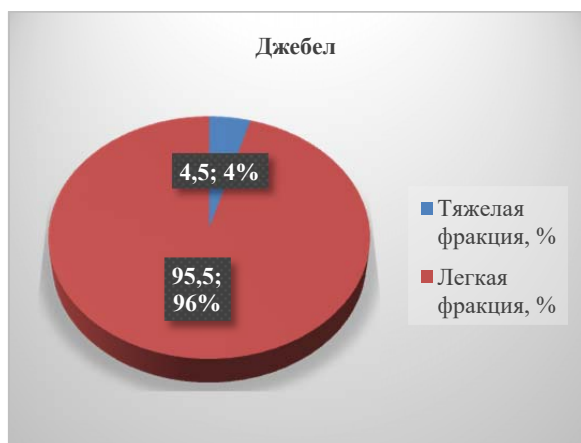


Рисунок 2 – Преобладание легкой фракции на песчаном массиве Джебел

Figure 2 – Predominance of light fraction in the Jebel sand massif



Рисунок 3 – Доминирование легкой фракции на песчаном массиве Окарем

Figure 3 – Dominance of the light fraction in the Okarem sand massif

Исследования гранулометрического состава эоловых песков Прибалханского района показали, что одним из критериев для выявления источников питания и установления генетической связи эоловых песков с исходными отложениями являются частицы более 0,25 мм. Они индицируют источники выноса песчаного материала. В нашем регионе частицы крупнее 0,25 мм распределяются крайне неравномерно. В основном песчаный материал поступал и продолжает поступать благодаря активному развеванию исходных новокаспийских отложений.

Следовательно, литологические особенности Западных Каракумов ясно показывают неблагоприятную инженерно-геологическую обстановку, так как пески в основном легко перевеваемые и размещены в зоне активных ветров, что и обуславливает их высокую подвижность. Образующие формы эолового рельефа не обладают даже частичным динамическим равновесием [3, 4].

На развитие эоловых процессов большое влияние оказывает функциональная зависимость количества переносимого песка от скорости ветра. С увеличением скорости ветра большее число песчаных частиц вовлекается в движение, а при скорости примерно 15-16 м/с (на высоте флюгера) весь поверхностный слой песка приходит в движение (рисунок 4).

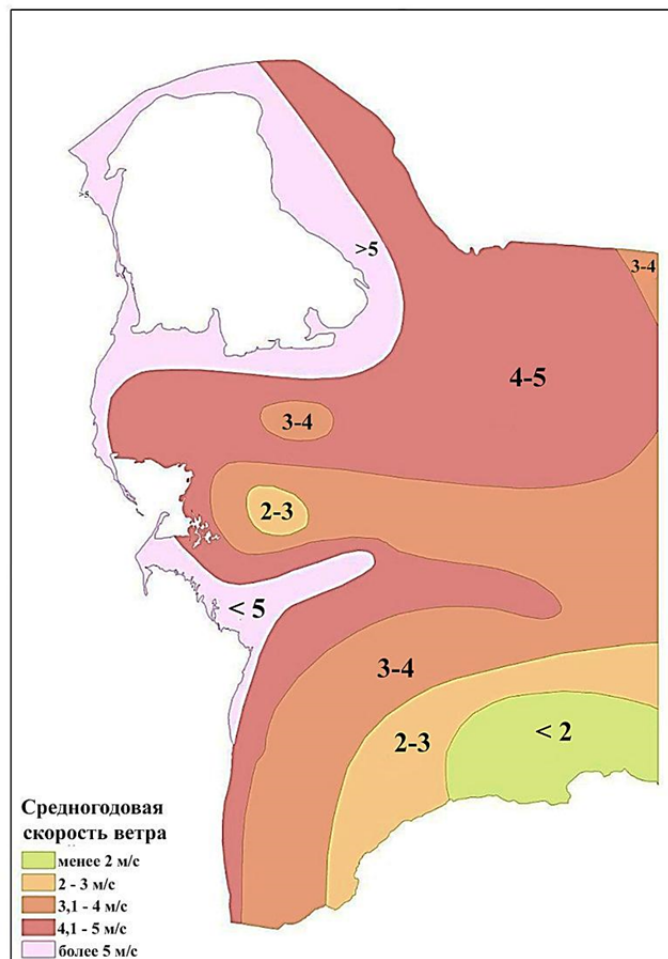


Рисунок 4 – Многолетние показатели скорости ветра изучаемой территории

Figure 4 – Long-term wind speed indicators for this area

Для определения степени угрозы выдувания или песчаных заносов на инженерных сооружениях, возводимых в условиях песчаной пустыни Каракум, используется величина переноса песка за единицу времени через линию фронта шириной 1 м, выражаемая в кубометрах при определенной скорости ветра. Интенсивность переноса связана со скоростью ветра, шероховатостью поверхности, обтекаемостью элементов эолового рельефа. Так, при самых слабых ветрах (0-3,5 м/с) переноса не наблюдается, но при 4-5 м/с отмечается перекачивание частиц песка [5]. При более высоких скоростях ветра песчаные частицы передвигаются скачками, а частицы мельче 0,05 мм переносятся ветром во взвешенном состоянии на большие расстояния. На такырах песок из ветропесчаного потока не отлагается, но наблюдается отложение песка на пухлом солончаке. Аккумуляция песка и пыли встречается там, где происходит резкое падение скорости ветра, которое может быть вызвано любым препятствием, образующим ветровую тень. Перенос песка происходит при каждом активном ветре, однако преобладающее направление переноса осуществляется сезонными ветрами направлений. Перемещение барханных форм наблюдается при каждом активном ветре (рисунки 5, 6).

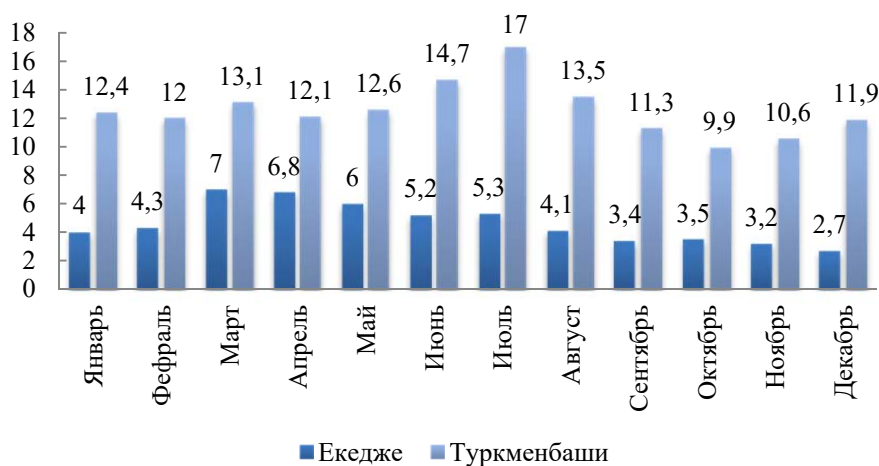


Рисунок 5 – Среднее число дней со скоростью ветра, равной или выше 8 м/с
 Figure 5 – Average number of days with wind speed equal to or greater than 8 m/s

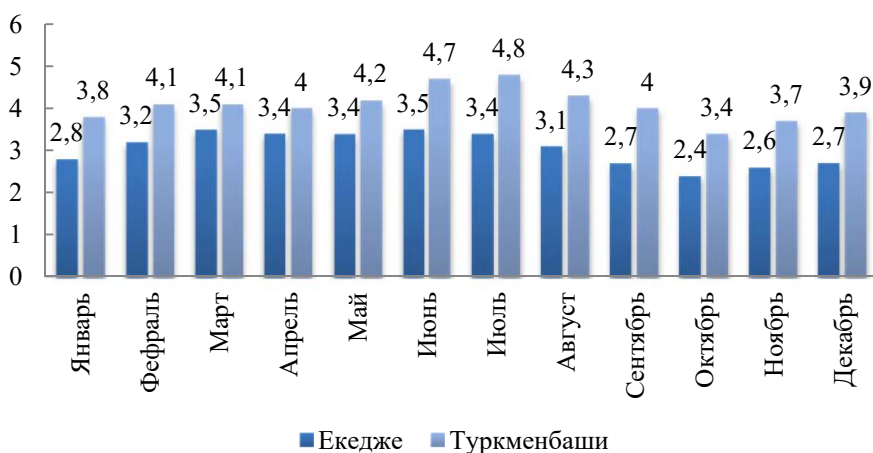


Рисунок 6 – Средняя месячная и годовая скорость ветра (высота флюгера 10-11 м)
 Figure 6 – Average monthly and annual wind speed (weather vane height 10-11 m)

В растительном покрове Прибалханского региона кустарники занимают 34%, эфемеры – 27, эфемероиды – 46%. Эдификаторами являются 65, а субэдификаторами – 57 видов растений. Выделяются типичные растительные виды (полынные, солянковые, саксауловые и др.) и солянки на такырных поверхностях. Подвижные пески Прибалханского района обладают рядом неблагоприятных свойств, затрудняющих их зарастание и проведение фитомелиоративных мероприятий. На подвижных песках, такырах и шорах растительность большей частью отсутствует или сильно изрежена, что тоже способствует высокой подвижности песков.

Кроме того, интенсивность и продолжительность засух приводит к сильному нагреванию поверхности песка, что усиливает степень подвижности, а следовательно, способствует увеличению масштабов развития дефляционных процессов.

Заключение. Практическое использование математических методов расчета переноса различных объемов песка позволяет применить наиболее эффективные методы закрепления техногенных песков, что особенно актуально для этого региона. В настоящее время ведется активное освоение новых месторождений нефти в Западных Каракумах, что сопровождается строительством различных типов инженерных объектов: железных и автомобильных дорог, магистральных и кольцевых трубопроводов, ЛЭП и других объектов. Однако главное остается неизменным, а именно экологическая безопасность и сохранение уникальных пустынных экосистем Западного Туркменистана.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Бабаев А. Г. Проблемы освоения пустынь. – Ашхабад: Ылым, 1995. – 340 с.
 [2] Бабаев А. Г. Проблемы пустынь и опустынивания. – Ашхабад: Туркменская государственная издательская служба, 2012. – 408 с.
 [3] Вейсов С. К., Хамраев Г. О., Акыниязов А. Д. Динамика барханного рельефа Западного Туркменистана // Проблемы пустынь и опустынивания. – Ашхабад, 2008. – № 4. – С. 16-19.
 [4] Вейсов С. К., Курбанов О. Р., Хамраев Г. О., Акыниязов А. Д. Эоловые равнинные ландшафты Каракумов // Проблемы освоения пустынь. – 2009. – № 1-2. – С. 18-23.
 [5] Иванов А. П. Формирование профилей эоловых форм рельефа песчаных пустынь. – Ашхабад: Ылым, 1989. – 67 с.
 [6] Иванов А. П. Физические основы дефляции песков пустынь. – Ашхабад: Ылым, 1972. – 112 с.
 [7] Леваднюк А. Т. Инженерно-геоморфологический анализ равнинных территорий. – Кишинев: Штиинца, 1983. – 254 с.
 [8] Фадеев П. И. Об интерпретации данных гранулометрического состава песков // Лабораторные методы исследования физико-механических свойств горных пород в инженерно-геологических целях. – Ленинград, 1963. – С. 38-45.
 [9] Чередниченко В. П., Дарымов В. Я. Геоморфологические основы индустриального освоения песчаных пустынь Туркменистана. – Ашхабад: Ылым, 1985. – 152 с.
 [10] Дрегне Х. Э. Почвы засушливых регионов // Развитие почвоведения, 6. – Амстердам – Оксфорд – Нью-Йорк: Издательство Elsevier, 1976. – 237 с.
 [11] Экхольм Э. П. Опустынивание: мировая проблема // Ambio. – 1975. – № 4(4). – С. 137-145.

REFERENCES

- [1] Babaev A. G. Problems of desert development. Ashgabat: Ylym, 1995. 340 p. (in Russ.).
 [2] Babayev A. G. Problems of deserts and desertification. Ashkhabad: Turkmen state publishing service, 2012. 408 c. (in Russ.).
 [3] Veysov S. K., Hamrayev G. O., Akyniyazov A. D. Dynamics of the dune relief of Western Turkmenistan // Problems of deserts and desertification. Ashkhabad, 2008. No. 4. P. 16-19 (in Russ.).
 [4] Veysov S. K., Kurbanov O. R., Hamraev G. O., Akyniyazov A. D. Eolian plain landscapes of Karakums // Problems of desert development. 2009. No. 1. P. 18-23 (in Russ.).
 [5] Ivanov A. P. Formation of profiles of eolian forms of relief of sandy deserts. Ashkhabad: Ylym, 1989. 67 p. (in Russ.).
 [6] Ivanov A. P. Physical bases of deflation of sands of deserts. Ashkhabad: Ylym, 1972. 112 p. (in Russ.).
 [7] Levadnyuk A. T. Engineering-geomorphological analysis of the flat territories. Kishinev: Shtiinca, 1983. 254 p. (in Russ.).
 [8] Fadeev P. I. On the interpretation of data on the granulometric composition of sands // Laboratory methods for studying the physical and mechanical properties of rocks for engineering and geological purposes. Leningrad, 1963. P. 38-45 (in Russ.).
 [9] Cherednichenko V. P., Darymov V. Ya. Geomorphological bases of industrial development of sandy deserts of Turkmenistan. Ashgabat: Ylym, 1985. 152 p. (in Russ.).
 [10] Dregne H. E. Soils of Arid Regions // Developments in Soil Science, 6. Amsterdam – Oxford – New York: Elsevier Publisher, 1976. 237 p.
 [11] Eckholm E. P. Desertification: A world problem // Ambio. 1975. No. 4(4). P. 137-145.

С. К. Вейсов^{*1}, Г. О. Хамраев²

¹ Г. ф. к., Ұлттық институтының жетекші ғылыми қызметкері

(Ұлттық шөлдер, флора және жабайы табиғат институты Ауыл шаруашылығы және қоршаған ортаны қорғау министрлігі, Ашхабад, Түрікменстан; wsultan@mail.ru)

² Г. ф. к., гидрометеорология кафедрасының меңгерушісі

(Магтымгулы атындағы Түркмен мемлекеттік университеті, Ашхабад, Түрікменстан; gapur2013@mail.ru)

БАТЫС ТҮРКМЕНИСТАНДАҒЫ ДЕФЛЯЦИЯЛЫҚ ПРОЦЕСТЕРДІҢ ДАМУ ҚАРҚЫМЫНА ҚҰМДАРДЫҢ ЛИТОЛОГИЯЛЫҚ ЖӘНЕ ГРАНУЛОМЕТРИЯЛЫҚ ҚҰРАМЫНЫҢ ӘСЕРІ

Аннотация. Далалық зерттеулердің негізінде Батыс Түркіменстан аумағында ұзақ мерзімді жел жағдайларының әсерімен құмдардан литологиялық және гранулометриялық құрамына дефляциялық процестердің тәуелділігі мен белсендіру мәселелері анықталды. Сонымен қатар, қатты желдің әсерінен құмдар әртүрлі дәрежеде соғу, тасымалдау және жиналу процестеріне ұшырайды. Дефляциялық процестердің дамуының осы ерекшеліктерін білу эолдық рельефтің шағылды пішіндерінде әртүрлі типтегі инженерлік объектілерді дұрыс орналастыруға және оларды құмның жылжуы мен үрлеуінен қорғаудың тиімді әдістерін жасауға мүмкіндік береді.

Түйін сөздер: құмдардың литологиялық және гранулометриялық құрамы, ұзақ мерзімді жел жағдайлары, дефляция процестері, әртүрлі инженерлік құрылыстарды қозғалатын құмдардан орналастыру және қорғау, Батыс Түркіменстан.

S. K. Veysov^{*1}, G. O. Hamrayev²

^{1*} Candidate of geographical sciences, lead research worker (National Institute of Deserts, Flora and Wildlife Ministry of Agriculture and Environmental Protection, Ashgabat, Turkmenistan; wsultan@mail.ru)

² Candidate of geographical sciences, head of a chair of hydrometeorology (Turkmen State University named after Magtymguly, Ashgabat, Turkmenistan; gapur2013@mail.ru)

INFLUENCE OF LITHOLOGICAL AND GRANULOMETRIC COMPOSITION OF SANDS ON THE DEGREE OF DEFLATIONARY PROCESSES IN WESTERN TURKMENISTAN

Abstract. Based on field research, the issues of dependence and activation of deflationary processes on the lithological and granulometric composition of sands with the influence of long-term wind conditions on the territory of Western Turkmenistan are revealed. In addition, under the influence of strong winds, sands are subject to processes of blowing, transport and accumulation to varying degrees. Knowledge of these features of the development of deflationary processes allows one to correctly place various types of engineering objects in the dune forms of aeolian relief and develop effective methods for their protection from sand drifts and blowing out.

Keywords: lithological and granulometric composition of sands, long-term wind regime, deflation processes, placement and protection of various engineering structures from moving sands, Western Turkmenistan.

<https://doi.org/10.55764/2957-9856/2025-1-97-108.10>

FTAMP 39.19.27

ӘОЖ 911.52

**Т. А. Базарбаева¹, А. А. Ошакбай*², Г. А. Мұқанова³,
Б. Е. Шимшиков⁴, Қ. Т. Қырғызбай⁵, А. Әлимұратқызы⁶**

¹ Г. ф. к., доцент, тұрақты даму бойынша ЮНЕСКО кафедрасының меңгерушісі (Әл-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университеті, Алматы, Қазақстан; tursynkul.bazarbayeva@gmail.com)

^{2*} Докторант (Әл-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университеті, Алматы, Қазақстан; aitu.oshakbay@gmail.com)

³ Б. ф. к., доцент, профессор м.а. (Әл-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университеті, Алматы, Қазақстан; gulzhanatmukanova@gmail.com)

⁴ Б. ф. к., доцент (Әл-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университеті, Алматы, Қазақстан; bshimshikov@gmail.com)

⁵ Жаратылыстану ғылымдары магистрі, оқытушы (Әл-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университеті, Алматы, Қазақстан; kyrgyzbay.kudaibergen@gmail.com)

⁶ Докторант (Әл-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университеті, Алматы, Қазақстан; aitolkynalimurat@gmail.com)

АТЫРАУ ОБЛЫСЫ ТОПЫРАҚ ЖАМЫЛҒЫСЫНЫҢ ТАРАЛУ ЕРЕКШЕЛІКТЕРІ

Аннотация. Атырау облысы топырақ жамылғысының таралу ерекшеліктері зерттеледі. Атырау облысы Қазақстанның батысында орналасқан және оның топырақ жамылғысы ерекше табиғи-климаттық жағдайларға байланысты қалыптасқан. Облыс климатының құрғақ континентальды сипаты мен Каспий теңізінің жақын орналасуы топырақ типтерінің әркелкі таралуына әсер етеді. Зерттеуде шөлейт және жарғылай шөлейт аймақтардағы топырақтың түрлері, олардың минералдық құрамы, тұздану деңгейі және құнарлылығы талданады. Топырақ жамылғысының қалыптасуына ықпал ететін табиғи және антропогендік факторлар қарастырылады. Атырау облысы топырақ жамылғысының құрылымы, құрамындағы минералдар мен органикалық заттар, сондай-ақ олардың экологиялық және ауыл шаруашылығына ықпалы туралы талқыланады. Далалық зерттеулер мен зертханалық талдаулар негізінде климат, жер бедері, су ресурстары және антропогендік әсер сияқты аймақтағы топырақ түрлеріне әсер ететін негізгі факторлар зерттелді. Зерттеу нәтижелері топырақ жамылғысының қалыптасу механизмдерін және оның аймақтың экожүйелеріндегі рөлін жақсы түсінуге мүмкіндік береді. Нәтижелер Атырау облысындағы табиғи ресурстарды басқару және қоршаған ортаны қорғау стратегияларын әзірлеу үшін маңызды болып табылады.

Түйін сөздер: топырақ, климат, топырақ кескіні, жер бедері.

Кіріспе. Топырақ жамылғысының қалыптасуы - бұл климат, рельеф, биота және геологиялық негіз сияқты көптеген факторларға байланысты күрделі процесс. Қазақстанның батысында орналасқан Атырау облысы әртүрлі табиғи-климаттық жағдайлардың әсерінен қалыптасқан топырақ жамылғысының әртүрлілігімен ерекшеленетін бірегей экожүйе болып табылады.

Атырау облысы Каспий маңы ойпатында, Каспий теңізінің солтүстігі мен шығысында, солтүстік-батысында Еділ өзенінің төменгі ағысында және оңтүстік-шығысында Үстірт жотасының аралығында орналасқан. Жер беті тегіс, солтүстігінде шағын таулар бар. Климаты күрт континентті, өте құрғақ, жазы ыстық, қысы орташа суық. Топырақ түзілу жағдайларының әртүрлілігі және аумақтың әртүрлі бөліктерінде олардың қалыптасу тарихының өзгешеліктері салдарынан Атырау облысының топырақ жамылғысы айтарлықтай әртүрлілікпен сипатталады. Биоклиматтық аудандастырудың жалпы принциптері бойынша аймақта екі негізгі белдеуге бөлінеді: шөлді дала және шөл [1].

Бұл мақалада Атырау облысының топырақ жамылғысының таралу ерекшеліктері зерттеледі, ол тек агрономиялық аспектілермен шектелмей, аймақтың экологиялық тұрақтылығын бағалау үшін де маңызды болып табылады. Аймақтың құба және сортаң топырақтары белгілі бір климаттық жағдайлар мен антропогендік факторлардың әсерінен қалыптасады.

Солтүстік Каспийдің топырақ жамылғысы әртүрлі топырақ түзілу жағдайларымен байланысты гетерогенділігімен ерекшеленеді. Осыған байланысты, зерттелетін аймақтың ішінде топырақ жамылғысының қалыптасуы мен құрылымының ерекшеліктері бойынша айтарлықтай ерекшеленетін бірқатар ірі табиғи аймақтарды бөлуге болады. Жайық өзенінің қазіргі атырауының топырақ жамылғысының құрылымы жер бедерін құрайтын процестердің жоғары динамикасында топырақ түзілуінің гидрологиялық факторларының жетекші рөліне байланысты гетерогенділікпен сипатталады. Дельта топырақтары өзен ағындарымен келген шаймалардың тұнуы арқылы үнемі жасарып отырады, ал жағалау аймағында – және теңіз шөгінділері, олардың эрозиясы мен шөгінділерімен кезектесіп отырады. Сонымен қатар, дельта топырақтары гидроморфтықтан өтпелі (шөлейттену) автоморфтық шөлге дейінгі топырақ дамуының эволюциялық бағытын анықтайтын аймақтық топырақ түзілу факторларының әсерінен болады. Әр түрлі дәрежедегі және тұздану сипатындағы топырақтың кең таралуы климаттың құрғақтығымен байланысты [2].

Топырақ түзуші тау жыныстарының тұздану дәрежесінің жоғары болуы, олардың оң тұз балансының нәтижесі ретінде, аймақты тұрақты тұз жинау аймағы ретінде сипаттайды. Бұл процесс, сонымен қатар, аллювиальды-дельталық аймақтарда теңіз шөгінділерінің тұздылығымен байланысты. Теңіз және аллювиальды-дельта генезисінің топырақ түзуші тау жыныстары жоғары карбонаттылықпен ерекшеленеді. Аллювиальды генезисінің топырақ түзуші жыныстарының айрықша ерекшелігі – олардың құнарлылық элементтерімен байытылуы, бұл топырақ түзілу процестерінің үзілуі аясында топырақ пен жыныс арасындағы шекараны анықтауды қиындатады. Топырақ түзуші тау жыныстары негізінен жеңіл механикалық құрамды аралас (теңіз және аллювиальды-дельта) генезистің қабатты шөгінділерінен тұрады [3].

Жалпы алғанда, қазіргі дельта аймағында топырақ түзілуі үшін басым процестер батпақты, шалғынды және сортаңды процестер болып табылады. Бұл процестердің қабаттасуы мен үйлесуі топырақтың морфологиялық және химиялық қасиеттерінің жоғары вариабельдігін анықтайды. Көптеген топырақтар дамудың алдыңғы кезеңдерінің белгілерін және уақытша топырақ түзілу процестерімен байланысты ерекшеліктерді көрсететін профильдермен ерекшеленеді.

Топырақ жамылғысы негізінен гидроморфты және жартылай гидроморфты топырақтардан тұрады, олардың тұздану дәрежесі әртүрлі болып келеді. Төмен жайылмалы террасалардың топырақ жамылғысының басым компоненттері шалғынды-батпақты және батпақты сазды топырақтар болып табылады. Бұл топырақтар теңізге жақындаған сайын теңіз жағасындағы шалғынды-батпақты және батпақты топырақтармен алмастырылады [1, 2]. Жайылмалы террасалардың биік беттері, сондай-ақ кеуіп жатқан каналдардың түбі жайылмалы шалғынды топырақтармен, ал кейбір жерлерде шалғынды сортаңдармен жабылған. Жұмыс істеп тұрған және кебетін арналарды бөлетін дельта жазықтарының көтерілген учаскелерін шалғынды-құба сортаң топырақтар алып жатыр.

Қазіргі уақытта облыстың негізгі бөлігінде топырақ жамылғысы негізінен сор және сортаңдану дәрежесі әртүрлі шалғынды сағалық топырақтармен, шалғынды-құба сортаң топырақтармен, шалғынды сортаңдармен, кәдімгі және ашық топырақтармен сипатталады. Су басқан бірнеше арналармен шектелген жайылма шалғынды және ішінара шалғынды-батпақты сортаң топырақтар да кездеседі. Биік кең жазықтарда шөл сор және сортаңдар қалыптасқан. Жағалау жазығына іргелес жатқан белдеуде, түбі жазық көл тәрізді ойпаңдарда жағалық және құрғақ сортаңдар, ал жеңіл механикалық құрамды шөгінділерден құралған жер бетінің салыстырмалы түрде көтерілген учаскелерін қалдық гидроморфизм белгілері бар қоңыр шөлді сортаң топырақтар таралған.

Облыста топырақтың келесі түрлері таралған:

бозғылт;

қоңыр;

шалғынды-боз (сор және сортаң);

аздап сортаңдау шалғынды-батпақты топырақтар;

жағалаудағы батпақтар;

батпақ;

сортаңдар (жағалық, кәдімгі және сор) [4].

Топырақ жамылғысының таралу ерекшеліктерін зерттеу олардың құрылымын, қасиеттерін және таралуын анықтауға мүмкіндік береді, бұл өз кезегінде жер ресурстарын тиімді пайдалану, ауыл шаруашылығын басқару және қоршаған ортаны қорғау үшін маңызды. Осы заңдылықтарды

түсіну климаттың өзгеруі мен адам әсерінің артуы жағдайында аймақтың тұрақты дамуы үшін стратегияларды жасауға көмектеседі.

Зерттеу материалдары мен әдістері. Зерттеу Атырау облысының топырақ жамылғысының таралу ерекшеліктерін анықтауға бағытталған. Далалық зерттеулер барысында топырақ кескіндері қазылып, Атырау облысының топырақ жамылғысының таралу ерекшеліктерін анықтау үшін әртүрлі табиғи және антропогендік аймақтардан топырақ үлгілері алынды. Зерттеу материалдары ретінде облыстың әртүрлі аудандарындағы шөлейт және жартылай шөлейт аймақтардағы топырақ түрлері, оның ішінде сортаң, тұзды және құмды топырақтар пайдаланылды.

Зерттеу әдістері: мақалада Атырау облысының топырақ жамылғысының қалыптасу заңдылықтарын зерттеу барысында қолданылған бірнеше әдістерді қамтиды.

Далалық зерттеу әдісі: Бұл әдіс арқылы нақты топырақ кескіндері қазылып, морфологиялық талдау жүргізілді. Мысалы, Жайық өзенінің оң жағалауында және басқа аудандарда топырақ құрылымы мен қасиеттері зерттелген.

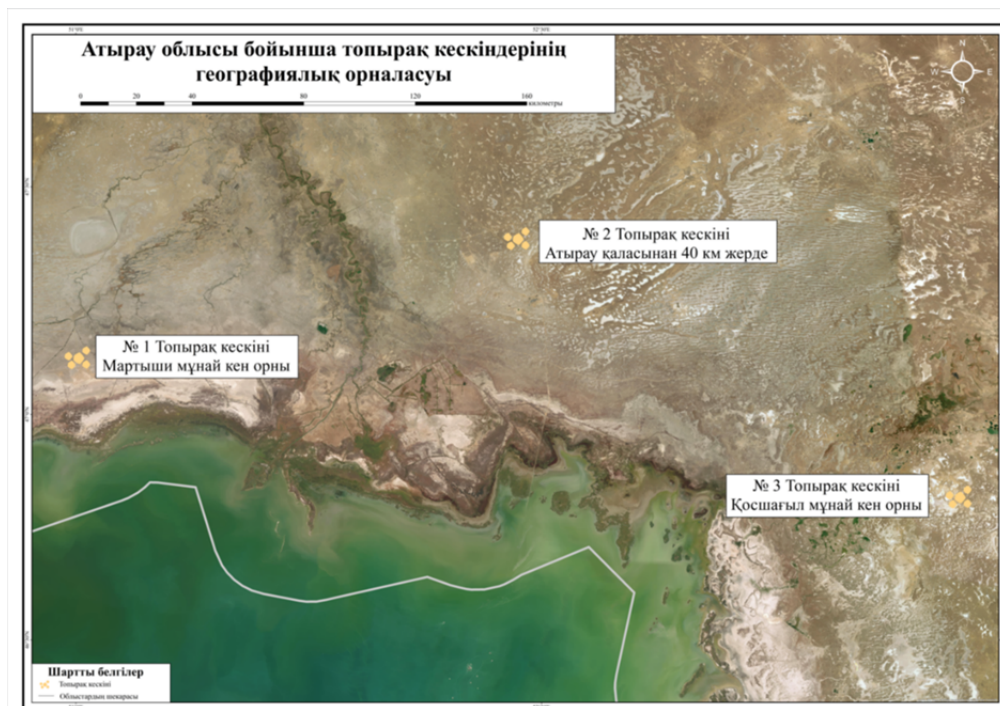
Зертханалық талдау: Топырақ қабаттарының физикалық және химиялық қасиеттерін анықтау мақсатында зертханалық талдаулар жасалды. Топырақтың құрамындағы элементтер, тұздар, карбонаттар және гумус мөлшері зерттелді.

Геоақпараттық жүйелер (ГАЗ) және карта жасау: Топырақтың кеңістіктік таралуын анықтау және картаға түсіру үшін ГАЗ технологиялары қолданылды. Бұл әдіс топырақтың әртүрлілігі мен таралу заңдылықтарын түсінуге мүмкіндік береді.

Статистикалық талдау: Топырақтың физикалық-химиялық көрсеткіштерін сандық талдау арқылы олардың өзара байланысын және жер бедері, климаттық жағдайлар сияқты факторлардың әсерін анықтауға қолданылды.

Бұл әдістер зерттеліп отырған аймақтағы топырақтың ерекшеліктерін, оның экологиялық маңыздылығын және ресурстарды басқарудағы рөлін түсінуге мүмкіндік береді.

Зерттеу нәтижелері және талқылау. Жүргізілген далалық зерттеулер барысында Атырау облысында 3 топырақ кескіні қазылып, морфологиялық талдаулар жасалды. Олар Жайық өзенінің оң жағалауында Мартыши кен орнының солтүстік-батыс жағында № 1 топырақ кескіні, Атырау қаласынан 40 км. шығыс бағытта № 2 топырақ кескіні, Атырау облысы Қосшағыл елді мекенінен 5 км қашықтықта № 3 топырақ кескіні қазылды (1-сурет).



1-сурет – Топырақ кескіндерінің географиялық орналасуы

Figure 1 – Geographical location of soil images

Алғашқы зерттеулер Жайық өзенінің оң жағалауында Мартыши кен орнының мұнай кен орындарында жүргізілді. Мұнай кен орындарының солтүстік-батыс жағында №1-топырақ кескіні қазылды (координаттары: N- 43°07'097" / E- 51°00'001", абсолютті биіктігі: - 28 м). №1 топырақ кесіні ойпатты жазықта шалғынды-батпақты топырақта орналасқан.



2-сурет – №1 топырақ кескіні

Figure 2 – Soil image №1

Топырақ кесіні	Орналасу тереңдігі, см	Қабаттың сипаттамасы
Кескін №1	A 0 – 11	Сұр түсті, құрғақ, борпылдақ, кесек-шанды, аздап тамырлы, орташа сазды, келесі горизонтқа айқын ауысу байқалады
	B 11 – 27	Құба-қоңыр иллювиальды горизонт, құрғақ, өте тығыз, ұсақ тамырлар, ауыр саздақты, келесі горизонтқа біртіндеп ауысу байқалады
	C ₁ 27 – 44	Қоңыр, тығыз, тұз дақтары бар, сирек тамыр түктері, ауыр саздақты, келесі горизонтқа ауысу айқын байқалады
	C ₂ 44 – 85	Құба-қоңыр, ылғалданған, тығыз, тамырлар кездеспейді, ауыр саздақты, ақ тұз дақтары кездеседі [8]

1-кестедегі деректер №1 топырақ кескінінің әртүрлі тереңдіктегі гранулометриялық құрамын сипаттайды. Кестеден топырақтың әртүрлі тереңдіктерінде оның физикалық қасиеттерінің өзгеретіні және әр қабаттың ерекшелігі көрінеді.

1-кесте – № 1 топырақ кескінінің гранулометриялық құрамы

Table 1 – Granulometric composition of soil image № 1

№	Топырақ кесіні	Тереңдігі, см	H ₂ O, %	Абсолютті құрғақ топырақтағы фракция мөлшері, %						
				Бөлшек өлшемдері, мм						
				Құм		Шаң			Тұнба	3-х
				1,0-0,25	0,25-0,05	0,05-0,01	0,01-0,005	0,005-0,001	<0,001	Фракциялар < 0,01
1	К-№1	0-11	2,70	0,308	33,094	19,733	10,277	32,477	4,111	46,865
2		11-27	2,68	0,144	26,284	5,754	9,042	55,898	2,877	67,818
3		27-44	2,40	0,266	23,094	15,574	10,246	44,262	6,557	61,066
4		44-85	3,16	15,097	17,162	25,609	22,305	6,609	13,218	42,131

Топырақтың гранулометриялық құрамындағы өзгерістер:

Тереңдігі 0–11 см аралығындағы жоғарғы қабатта құм фракциясы (1,0–0,25 мм) 33,094 % құрайды, бұл осы қабаттың құмды екенін және жақсы дренаждық қасиеттерге ие екенін көрсетеді. Бұл қабатта ұсақ бөлшектердің (<0,01 мм) жалпы үлесі 46,865 % құрайды.

Тереңдігі 11–27 см аралығындағы қабатта ұсақ бөлшектердің мөлшері айтарлықтай артады (67,818 %). Бұл қабатта шаң және ұсақ бөлшектердің үлесінің жоғары болуы оның су сіңіру және сақтау қасиеттерін жақсартады.

Тереңдігі 27–44 см қабатта да ұсақ фракциялардың (61,066 %) жоғары болуы байқалады. Бұл қабатта ылғал жақсы сақталады, өйткені оның құрамында ұсақ бөлшектер көп [5].

Төменгі қабат (44–85 см) тығыздығы жоғары (3,16 г/см³) және ылғалдылығы да едәуір жоғары (15,097 %). Бұл қабаттағы құм мөлшері (17,162 %) азайып, тұнба мөлшері (13,218 %) артады. Бұл оның су өткізу қабілетін төмендетіп, ылғалды ұзақ уақыт бойы сақтауға қабілеттілігін көрсетеді.

Топырақ қабаттарының су сіңіру және сақтау қабілеті:

Топырақ қабатының су сақтау қасиеттері оның ұсақ бөлшектерінің құрамына байланысты. Ұсақ бөлшектердің мөлшері жоғарылаған сайын, топырақ су мен ылғалды жақсы сақтайды.

11–27 см және 27–44 см қабаттарында <0,01 мм фракциялар өте жоғары (67,818 және 61,066%). Бұл қабаттарда ылғал сіңіру және сақтау қабілеті жоғары, бұл өсімдіктердің суды тиімді пайдалануына септігін тигізеді.

Төменгі қабатта (44–85 см) тығыздық жоғары, бұл қабатта ылғал жиналып, ұзақ уақыт бойы сақталады. Ол өсімдіктердің құрғақшылық жағдайында суды төменгі қабаттан алуына мүмкіндік береді [6].

Топырақтың агрономиялық қасиеттері бойынша қорытынды:

Жоғарғы қабаттардағы құм мөлшерінің жоғары болуы және ұсақ фракциялардың төмен болуы, бұл қабаттардың жақсы аэрацияға ие екендігін және тамыр жүйесінің дамуына қолайлы екендігін көрсетеді.

Ортаңғы қабаттарда ұсақ бөлшектердің көп болуы топырақтың су және қоректік заттарды ұстау қабілетін арттырады, бұл өсімдікке қажет ресурстарды тиімді сақтайды.

Төменгі қабатта тығыздық пен ылғалдылық жоғары болғандықтан, ол ұзақ мерзімді ылғал көзі бола алады.

Бұл топырақтың кескіні әртүрлі тереңдіктердегі қабаттардың құрылымдық және физикалық ерекшеліктерін көрсетеді. Жоғарғы қабаттар дренаждық қабілетімен ерекшеленсе, ортаңғы және төменгі қабаттар су мен қоректік заттарды сақтауға бейім. Топырақтың бұл құрылымы ауыл шаруашылығында тиімді пайдалануға мүмкіндік береді, өйткені әр қабат өсімдік тамырларының дамуына және су мен қоректік заттардың сақталуына қолайлы жағдай жасайды [7].

2-кестеде №1 топырақ кескініндегі әртүрлі тереңдіктегі топырақ қабаттарының тығыздығын анықтау үшін бірнеше көрсеткіштер берілген. Бұл көрсеткіштер әр қабаттың физикалық қасиеттерін зерттеп, олардың тығыздық деңгейін, ылғалдылығын және құрғақ салмақтарын бағалауға мүмкіндік береді.

2-кесте – №1 топырақ кескіні қабаттарының тығыздық көрсеткіштері

Table 2 – Density indicators of layers of soil image № 1

Объект	Тереңдігі, см	Бюкстің салмағы, г (ылғалды топырақ)	Бюкстің салмағы, г (құрғақ топырақ)	Бос бюкстің салмағы, г	Құрғақ топырақтың салмағы, г	Топырақ ылғалдылығы, %		Топырақтың тығыздығы, г/см ³	Топырақтың тығыздығы, г/см ³
К-№1	0-11	203,64	199,75	56,64	143,11	3,89	2,72	1,45	1,45
	11-27	223,74	210,12	58,47	151,65	13,62	8,98	1,54	1,55
	11-27	224,31	210,59	56,9	153,69	13,72	8,93	1,56	

Бюкстің салмағы — топырақтың бастапқы ылғалды күйіндегі салмағы. Кестеде бұл көрсеткіш екі түрлі тереңдік үшін берілген: 0–11 см және 11–27 см. Беттік қабат (0–11 см) үшін бюкстің салмағы 203,64 г, ал төменгі қабатта (11–27 см) бұл көрсеткіш сәл жоғарылап, 223,74–224,31 г-ға дейін жетеді. Бұл төменгі қабаттың тығыздығы мен ылғалдылығының артуымен байланысты болуы мүмкін.

Құрғақ топырақ үшін бюкстің салмағы оның бастапқы ылғалынан айырылғаннан кейінгі салмағын көрсетеді. 0–11 см тереңдікте құрғақ топырақтың салмағы 199,75 г болса, 11–27 см тереңдікте ол 210,12–210,59 г-ға дейін артады. Бұл терең қабатта тығыздық жоғары екенін

білдіреді, өйткені ылғал жоғалтқаннан кейін де массасы салыстырмалы түрде жоғары болып қала береді.

Құрғақ топырақтың салмағы — бұл топырақтағы барлық ылғалды жойғаннан кейін қалған массасы. Бұл көрсеткіш топырақтың құрамындағы минералдар мен органикалық заттардың жалпы массасын көрсетеді. 0–11 см қабатта құрғақ топырақтың салмағы 143,11 г болса, 11–27 см қабаттарында бұл көрсеткіш жоғарырақ – 151,65 және 153,69 г Тереңдегі топырақтарда минералдар немесе басқа элементтердің жинақталуы көп болуы мүмкін [8].

Топырақ тығыздығы топырақтың белгілі бір көлемге шаққандағы массасын көрсетеді және оның тығыздығын білдіреді. Беттік қабатта (0–11 см) тығыздық 1,45 г/см³, ал тереңірек қабаттарда (11–27 см) ол 1,54 және 1,56 г/см³-ға дейін артады. Тығыздықтың артуы тереңдегі қабаттардың құрылымының тығыздалғанын көрсетеді, бұл табиғи қысылу немесе қабаттардың механикалық қасиеттерінің өзгеруімен түсіндіріледі.

Тереңдеген сайын топырақ қабаттарының тығыздығы мен ылғалдылығы артып отырады, бұл тереңдегі қабаттардың тығыз орналасқанын және ылғалдылықты көбірек ұстайтынын көрсетеді. Беттік қабат (0–11 см) салыстырмалы түрде жеңіл және құрғақ болса, тереңдегі қабаттар (11–27 см) тығыздығы мен массасы бойынша жоғары және ылғалдылықты көбірек сақтайды [9].

Атырау қаласынан 40 км шығыс бағытта № 2 топырақ кескіні (1-сурет) қазылды (координаталары: N- 47°22'976" / E- 52°25'273", абсолюттік биіктігі: - 28 м). Кескін тегіс жазықтықта орналасқан. Топырақтың беті жарылған, өсімдік жамылғысымен 50-55%-бен жабылған (2-сурет). Кескінің барлық қабаттары бойынша топырақтың НС1-мен әрекеттесу кезінде қайнау байқалды.



3-сурет –№ 2 топырақ кескіні

Figure 3 – Soil image № 2

Топырақ кесіні	Орналасу тереңдігі, см	Қабаттың сипаттамасы
Кескін №2	A 0 – 10	Сұр- құба түсті, құрғақ, борпылдақ, шаңды-жұмсақ кесек, өсімдік тамырлары кездеседі, жеңіл саздақ, келесі горизонтқа ауысуы анық
	B ₁ 10 – 26	Құба-коңыр түсті, құрғақ, өте тығыз, жанғақ-түйіршікті, сирек жұқа тамырлар кездеседі, саздақ, келесі горизонтқа тығыз айқын ауысу байқалады
	B ₂ 26 – 54	Сарғыш-коңыр түсті, ылғалды, тығыздалған, сәл тамырлы, карбонаттардың сирек ұсақ дақтары кездеседі, орташа саздақ, келесі горизонтқа біртіндеп ауысу байқалады
	C 54 – 85	Сары-коңыр түсті, ылғалды, тығыздалған, ұсақ кристалды гипстің тамырлары, кесек, орташа саздақ [8]

3-кесте № 2 топырақ кескінінің топырақтың гранулометриялық құрамының әр түрлі тереңдікте өзгеруін сипаттайды, әр тереңдік үшін топырақтың ылғалдылығы мен бөлшек мөлшерлерінің үлесі көрсетілген.

3-кесте – № 2 топырақ кескінінің гранулометриялық құрамы

Table 3 – Granulometric composition of soil image № 2

№	Топырақ кесіні	Тереңдігі, см	H ₂ O, %	Абсолютті құрғақ топырақтағы фракция мөлшері, %						
				Бөлшек өлшемдері, мм						
				Құм		Шаң			Тұнба	3-х
				1,0-0,25	0,25-0,05	0,05-0,01	0,01-0,005	0,005-0,001	<0,001	Фракциялар <0,01
1	К-№2	0-10	0,22	0,521	65,003	13,229	1,604	12,427	7,216	21,247
2		10-26	5,92	4,741	48,065	17,007	4,252	18,282	7,653	30,187
3		26-54	6,74	0,558	56,552	12,009	5,576	13,296	12,009	30,881
4		54-85	1,42	22,033	43,072	28,403	2,435	2,029	2,029	6,492

Топырақ ылғалдылығы (H₂O, %): Топырақтың ылғалдылығы тереңдікке байланысты өзгеріп отырады. Мысалы, 10-26 см тереңдіктегі қабатта ылғалдылық 5.92% болса, 26-54 см қабатта бұл көрсеткіш 6,74%-ға дейін артады. Бұл қабаттардың ылғалдырақ екенін және суды жақсы ұстайтынын көрсетеді. Ең төменгі ылғалдылық 0-10 см қабатта (0,22%) байқалады, бұл беткі қабаттардың ылғалды тез жоғалтатынын білдіреді [10].

Бөлшектердің мөлшері және құрамының өзгерісіне тоқталатын болсақ, құм фракциясы (1,0 мм және 0,25 мм): беткі қабатта (0-10 см) құм үлесі ең аз (0,521%), ал 10-26 см және 26-54 см қабаттарында құмның үлесі айтарлықтай жоғары (4,74% және 0,558%). Шаң фракциясы (0,05 мм және 0,01 мм): Шаң фракциясының үлесі тереңдіктер бойынша әртүрлі, 0-10 см қабатта 13,229% болса, 10-26 см қабатта 17,007%, бұл көрсеткіш төменгі қабаттарда тағы да арта түседі. Шаң бөлшектері топырақтың құрылымын нығайтады және ылғалдылықты жақсы сақтайды. Тұнба фракциясы (<0,001 мм): Тұнба фракциясы ең кіші бөлшектерді құрайды және суды жақсы сіңіреді. 10-26 см қабатта тұнба үлесі 7,653% құрайды, бұл басқа қабаттарға қарағанда жоғары.

Жалпы <0,01 мм фракциясы: 10-26 см тереңдік қабатында <0,01 мм бөлшектердің үлесі ең жоғары (30.187%). Бұл топырақтың сазды құрамының көп екенін және осы қабатта су өткізгіштігінің төмен болуын көрсетеді. 54-85 см тереңдікте бұл көрсеткіш ең төмен (6,492%), бұл қабаттың құрылымының үлкен бөлшектерден құралғанын және су өткізгіштігінің жоғары екенін білдіреді [11].

Бөлшектердің топырақ құрылымына әсері әртүрлі:

Үлкен бөлшектерден (құм) тұратын қабаттар ылғалды аз сіңіреді және оны тез жоғалтады, ал ұсақ бөлшектерден (шаң, тұнба) құралған қабаттар ылғалды жақсы сақтайды.

10-26 см және 26-54 см қабаттарда шаң және тұнба үлесінің көптігі олардың құрылымын нығайтып, су өткізгіштігін азайтады.

Бұл талдау бойынша, 10-26 см және 26-54 см қабаттарында ылғалдылық пен ұсақ бөлшектердің көп болуы олардың су сіңіру және сақтау қасиеттерінің жоғары екенін көрсетеді, ал 54-85 см тереңдік қабатында үлкен бөлшектердің үлесі көп болғандықтан, су өткізгіштігі жоғары екендігін көрсетеді.

4-кестеде № 2 топырақ кескініндегі әртүрлі тереңдіктегі топырақ қабаттарының тығыздығы мен физикалық сипаттамалары көрсетілген.

4-кесте – № 2 топырақ кескіні қабаттарының тығыздық көрсеткіштері

Table 4 – Density indicators of layers of soil image № 2

Объект	Тереңдігі, см	Бюкстің салмағы, г (ылғалды топырақ)	Бюкстің салмағы, г (құрғақ топырақ)	Бос бюкстің салмағы, г	Құрғақ топырақтың салмағы, г	Топырақ ылғалдылығы, %		Топырақтың тығыздығы, г/см ³	Топырақтың тығыздығы, г/см ³
К-№2	0-10	207,08	193,55	57,01	136,54	13,53	8,27	1,38	1,38
	10-26	200,69	199,11	56,9	142,21	1,58	1,11	1,44	1,45
	10-26	201,22	199,26	55,63	143,63	1,96	1,36	1,46	

Алынған нәтижелерге сәйкес, әр қабаттың өзіндік ерекшеліктері анықталды, және олар топырақтың су өткізгіштігі мен ауа өткізгіштігіне әсер ететін факторлар ретінде қарастырылды.

Жоғарғы қабатта (0-10 см) ылғалдылық деңгейі (13.53%) жоғары болды, бұл оның атмосфералық ылғалды жақсы сіңіретінін және ұстап тұратынын көрсетеді. Мұндай қабат өсімдіктердің тамырларына қажетті су мен қоректік заттарды жеткізуде маңызды рөл атқарады. Терең қабаттарда (10-26 см және 26-30 см) ылғалдылық деңгейі айтарлықтай төмен (1,58-1,96%), бұл қабаттардың ылғал сақтауының аз екенін және өсімдіктердің тамырлары бұл қабаттардан жеткілікті ылғал ала алмайтынын білдіреді [12].

Жоғарғы қабаттың тығыздығы $1,38 \text{ г/см}^3$ шамасында, бұл оның құрылымы кеуекті және ауа айналымы үшін қолайлы екенін көрсетеді. Мұндай қабатта микробиологиялық белсенділік жоғары болуы мүмкін, бұл өсімдіктерге қолайлы орта туғызады. Төменгі қабаттардың тығыздығы жоғарырақ ($1,44-1,45 \text{ г/см}^3$), бұл қабаттардың құрылымы тығыздалған және су мен ауа өткізгіштігі төмен екенін білдіреді. Мұндай тығыздалған қабаттарда тамырдың енуі және өсімдіктердің қоректік заттарды сіңіруі қиын болуы мүмкін.

Атырау облысы Қосшағыл елді мекенінен 5 км қашықтықта № 3 топырақ кескіні (3-сурет) қазылды (координаттары: N- $46^{\circ}49'135''$ / E- $53^{\circ}49'884''$, абс. биіктігі: - 22 м). № 3 топырақ кескіні қазылған аймақтың жер бедері – аздап толқынды жазық, бір-бірінен үйінділермен бөлінген (4-сурет). Топырағы құба, карбонатты, жеңіл сазды. Өсімдік жамылғысы: шөл жусаны, түйе тікенегі, қураған мартөк және т.б. Кескіннің барлық қабаттары бойынша топырақтың НС1-мен әрекеттесу кезінде қайнау байқалды [13].



4-сурет – № 3 топырақ кескіні

Figure 4 – Soil image № 3

Топырақ кесіні	Орналасу тереңдігі, см	Қабаттың сипаттамасы
Кескін №3	A 0 – 12	Құба түсті, құрғақ, борпылдақ, өсімдік тамырлары кездеседі, шаңды, жеңіл сазды, келесі горизонтқа ауысуы біртіндеп жүреді
	B12 – 33	Сұр-қоңыр түсті, құрғақ, әлсіз тығыздалған, шаңды-түйіршікті, өсімдіктердің қысқа тамырлары кездеседі, жеңіл сазды, келесі горизонтқа айқын ауысу байқалады
	C ₁ 33 – 52	Сарғыш-қоңыр түсті, өте тығыз, тамырлар сирек, ауыр саздақ, ауысу біртіндеп жүреді
	C ₂ 52 – 80	Сары-қоңыр, өте тығыз, кесек, сирек кездесетін ақ карбонат дақтары кездеседі [8]

5-кестеде №3 топырақ кескінінің әртүрлі тереңдіктегі гранулометриялық құрамы мен ылғалдылығы көрсетілген. Талдау барысында тереңдікке байланысты топырақ құрамындағы құм, шаң және саз бөлшектерінің мөлшерінің өзгеру тенденциясы байқалады.

5-кесте –№ 3 топырақ кескінінің гранулометриялық құрамы

Table 5 – Granulometric composition of soil image № 3

№	Топырақ кесіні	Тереңдігі, см	H ₂ O, %	Абсолютті құрғақ топырақтағы фракция мөлшері, %						
				Бөлшек өлшемдері, мм						
				Құм		Шаң			Тұңба	3-х
				1,0-0,25	0,25-0,05	0,05-0,01	0,01-0,005	0,005-0,001	<0,001	Фракциялар < 0,01
1	К-№3	0-12	0,36	13,689	60,217	9,233	4,817	2,810	9,233	16,861
2		12-	0,64	18,539	68,981	4,026	2,013	1,610	4,831	8,454
3		33-52	0,74	17,892	55,914	6,448	2,418	4,836	12,492	19,746
4		52-80	0,74	32,702	47,955	9,672	1,209	2,418	6,045	9,672

Ылғалдылықтың артуы: Тереңдік артқан сайын топырақтың ылғалдылық деңгейі өседі. Мысалы, 0-12 см қабатында ылғалдылық 0,36% болса, 52-80 см қабатында бұл көрсеткіш 0,74%-ға дейін көтеріледі. Бұл терең қабаттарда ылғалдың сақталуымен және топырақтың суды жақсы сіңіруімен байланысты болуы мүмкін.

Құм мөлшерінің өзгерісі: Тереңдіктің артуымен құм фракциясының (1,0-0,25 мм) мөлшері де артып отырады. Бұл қабаттағы ірі бөлшектердің артуын және топырақтың құрылымының төменгі қабаттарда тығыздау болу ықтималдығын көрсетеді.

Шаң мөлшерінің динамикасы: Шаң фракциясының мөлшері (0,25-0,001 мм) тереңдікке байланысты тұрақты емес және әртүрлі қабаттарда өзгереді. Мысалы, 0-12 см қабатында шаңның мөлшері 60,217% болса, 12-32 см қабатында 68,951% дейін жоғарылайды, ал 32-52 см тереңдікте қайтадан азаяды. Бұл, әртүрлі минералдық құрам мен құрылымның нәтижесінде болады [14].

Саз мөлшері (Тұңба фракциясы): Тереңдік артуымен <0,001 мм саз бөлшектерінің үлесі де артып, төменгі қабаттарда максималды мәнге жетеді. Бұл саздың жиналу үрдісі және топырақ құрылымының тұтастығына әсерін тигізеді.

Топырақтың жалпы құрамы:

Жоғары қабаттарда құм және шаң фракциялары басым болып келеді, ал төменгі қабаттарда саздың артуы байқалады. Бұл топырақтың әр қабатында әртүрлі физикалық қасиеттер болатынын көрсетеді, яғни жоғарғы қабаттар су өткізгіш болса, төменгі қабаттар тығыз және ылғалды сақтауға қабілетті.

Тереңдікке байланысты топырақ құрамында гранулометриялық фракциялардың өзгеруі байқалады, бұл оның су өткізу, су сақтау және механикалық қасиеттеріне әсер етуі мүмкін. Ылғалдың төмен қабаттарда артуы және саздың жиналуы топырақтың төменгі қабаттарының су сақтағыш қасиетін арттырып, ал жоғары қабаттарда құм мен шаңның басымдығы су өткізу қабілетін жақсартады [15].

Қорытынды. Қорытындылай келе, Атырау облысының топырақ жамылғысы өзінің күрделі құрылымы мен алуан түрлілігімен ерекшеленеді. Зерттеу нәтижелері көрсеткендей, аймақтың топырақтары бозғылт, қоңыр, шалғынды-боз, сортаң және батпақты топырақ түрлеріне бөлінеді. Әрбір топырақ типінің өзіндік ерекшеліктері бар, бұл ерекшеліктер олардың құнарлылығы, құрамындағы тұздар мөлшері, құрылымы және басқа да қасиеттерімен анықталады.

Атырау облысының климаты қатаң, континенталды сипатқа ие, бұл өз кезегінде топырақтың химиялық және физикалық қасиеттеріне әсер етеді. Топырақтардың құрамындағы тұз мөлшері жоғары болуы ауыл шаруашылығына қолайсыз жағдай тудырады. Дегенмен, аймақтың кейбір бөліктерінде топырақтың құнарлылық деңгейі жеткілікті болғандықтан, оны тиімді пайдаланған жағдайда ауыл шаруашылығы өнімділігін арттыруға мүмкіндік бар. Осы мақсатта жергілікті топырақтардың ерекшеліктерін ескере отырып, тыңайтқыштарды қолдану, жер жырту әдістерін өзгерту және суландыру сияқты агротехникалық шараларды жүзеге асыру маңызды.

Аймақтың табиғи ресурстарын тиімді пайдалану үшін топырақты сақтау және оның құнарлылығын арттыру мақсатында мелиорация шараларын қолдану қажет. Мелиоративтік шаралар тұзды топырақтарды игеру және жақсарту, сондай-ақ тұздандудың алдын алу үшін маңызды.

Сонымен қатар, аймақтың экологиялық жағдайын жақсарту, табиғи ресурстарды тиімді пайдалану және ауыл шаруашылығын дамыту үшін топырақтарды қорғау, оларды қалпына келтіру және құнарлылығын сақтау жұмыстары тұрақты түрде жүргізілуі тиіс.

Атырау облысының топырақ жамылғысын зерттеу нәтижелері көрсеткендей, аймақтың ауыл шаруашылығын дамытуға үлкен мүмкіндіктері бар. Алайда, топырақтың табиғи ерекшеліктерін және оның деградация қаупін ескере отырып, ғылыми негізделген агротехникалық және экологиялық шараларды қолдану қажет. Бұл шаралар аймақтың экономикалық әлеуетін арттыруға, халықтың тұрмыс жағдайын жақсартуға және экологиялық тұрақтылықты қамтамасыз етуге мүмкіндік береді.

Қаржыландыру. Бұл ғылыми зерттеу Қазақстан Республикасы Ғылым және жоғары білім министрлігі Ғылым комитетінің № BR21882122 «Жасыл даму контекстінде Батыс Қазақстан өңірінің табиғи-шаруашылық және әлеуметтік-экономикалық жүйелерінің тұрақты дамуы: кешенді талдау, тұжырымдама, болжамдық бағалау және сценарийлер» бағдарламалық-мақсатты қаржыландыру негізінде жасалды.

ӘДЕБИЕТ

- [1] Кенжебаев А. Топырақтану негіздері. – Алматы: Қазақ университеті, 2017. – 58-59-бб.
- [2] Сәрсенов С. Атырау облысының топырақ жамылғысы: ерекшеліктері мен жағдайы // Қазақстанның географиялық журналы. – 2020. – № 1. – 45-50-бб.
- [3] Александров В. И. География почв: учебное пособие. – Москва: Издательство «Юрайт», 2015. – С. 79-84.
- [4] Ерохин О. Г., Пачикин К. М. Основные закономерности формирования и структура почвенного покрова Северо-Восточного Прикаспия // Почвоведение и агрохимия. – 2010. – № 4. – С. 5-14.
- [5] Копылов С. Основы почвенной картографии. – Москва: АГРУ, 2018. – С. 45-65.
- [6] Oshakbay A., Bazarbayeva T., Mukanova G., Kakimzhanov Y., Shimshikov B., Kyrgyzbay K., Zhumatayev S., Aldassugurova C. 2024. Influence of industrial, production and economic activities on the ecological state of the soil cover of the Atyrau region, Kazakhstan // Caspian Journal of Environmental Sciences, 22. 831-839.
- [7] Hillel D. Soil in the Environment: Crucible of Terrestrial Life. – New York: Academic Press, 1998. – P. 156-160.
- [8] Фаизов К. Ш. Почвы Казахской ССР. – Алматы, 1970. – С. 20-40.
- [9] Касенова А. Шөлейт және жартылай шөлейт аймақтардағы топырақтың динамикасы // Жер және экология. – 2019. – № 5(2). – 120-125-бб.
- [10] Chen Y., Ma J., Miao C., Ruan X. 2020. Occurrence and environmental impact of industrial agglomeration on regional soil heavy metalloid accumulation: A case study of the Zhengzhou Economic and Technological Development Zone (ZETZ), China // Journal of Cleaner Production, 245: 118676.
- [11] Семенов А. А., Кузнецова О. А. Формирование почвенного покрова в условиях Казахстана // Почвоведение. – 2018. – № 3. – С. 25-32.
- [12] Brady N. C., Weil R. R. The Nature and Properties of Soils, 14th ed. Upper Saddle River, NJ: Pearson, 2010. P. 89-92.
- [13] Christine A., Pasquale B., Katrin M., Panos P. Using the USLE: Chances, challenges and limitations of soil erosion modelling // International Soil and Water Conservation Research, 7, 2019, 203-225.
- [14] Ritz K., Young I.M. Soil Biodiversity and Soil Function // European Journal of Soil Science, 2004, 55(4), 569-580.
- [15] Xin Dou, Xiaofei Ma, Chengyi Zhao, Juyan Li, Yingyu Yan, Jianting Zhu. Risk assessment of soil erosion in Central Asia under global warming // CATENA. – 2022. – Vol. 212.

REFERENCES

- [1] Kenzhebaev A. Basics of soil science. Almaty: Kazakh University, 2017. P. 58-59 (in Kaz.).
- [2] Sarsenov S. Soil cover of Atyrau region: characteristics and condition // Geographical journal of Kazakhstan. 2020. No. 3(1). P. 45-50 (in Kaz.).
- [3] Alexandrov V. I. Geografiya pochv: textbook. Moscow: Izdatelstvo «Yurayt», 2015. P. 79-84 (in Russ.).
- [4] Erokhin O. G., Pachikin K. M. Basic patterns of formation and structure of the soil cover of the North-Eastern Caspian Sea // Pochvedenie i argokhimiya. 2010. No. 4. P. 5-14 (in Russ.).
- [5] Kopylov S. Basic soil mapping. Moscow: AGRU, 2018. P. 45-65 (in Russ.).
- [6] Oshakbay A., Bazarbayeva T., Mukanova G., Kakimzhanov Y., Shimshikov B., Kyrgyzbay K., Zhumatayev S., Aldassugurova C. 2024. Influence of industrial, production and economic activities on the ecological state of the soil cover of the Atyrau region, Kazakhstan // Caspian Journal of Environmental Sciences, 22. P. 831-839.
- [7] Hillel D. Soil in the Environment: Crucible of Terrestrial Life. New York: Academic Press, 1998. P. 156-160.

- [8] Faizov K. Sh. Soils of the Kazakh SSR. Almaty, 1970. P. 20-40 (in Russ.).
- [9] Kasenova A. Soil dynamics in desert and semi-desert regions // Earth and Ecology. 2019. No. 5(2). P. 120-125 (in Kaz.).
- [10] Chen Y., Ma J., Miao C., Ruan X. 2020. Occurrence and environmental impact of industrial agglomeration on regional soil heavy metalloid accumulation: A case study of the Zhengzhou Economic and Technological Development Zone (ZETZ), China // Journal of Cleaner Production, 245: 118676.
- [11] Semenov A. A., Kuznetsova O. A. Formation of soil cover in the conditions of Kazakhstan // Soil science. 2018. No 3. P. 25-32 (in Russ.).
- [12] Brady N.C., Weil R.R. The Nature and Properties of Soils, 14th ed. Upper Saddle River, NJ: Pearson, 2010. P. 89-92.
- [13] Christine A., Pasquale B., Katrin M., Panos P. Using the USLE: Chances, challenges and limitations of soil erosion modelling // International Soil and Water Conservation Research 7, 2019. P. 203-225.
- [14] Ritz K., Young I.M. Soil Biodiversity and Soil Function // European Journal of Soil Science, 2004, No. 55(4), 569-580.
- [15] Xin Dou, Xiaofei Ma, Chengyi Zhao, Juyan Li, Yingyu Yan, Jianting Zhu. Risk assessment of soil erosion in Central Asia under global warming // CATENA. 2022. Vol. 212.

**Т. А. Базарбаева¹, А. А. Ошақбай*², Г. А. Мұқанова³,
Б. Е. Шимшиков⁴, Қ. Т. Қыргызбай⁵, А. Әлімұратқызы⁶**

¹ К. г. н., доцент, зав. кафедрой ЮНЕСКО по устойчивому развитию
(Казахский национальный университет им. аль-Фараби, Алматы, Казахстан;
tursynkul.bazarbayeva@gmail.com)

^{2*} Докторант (Казахский национальный университет им. аль-Фараби,
Алматы, Казахстан; *aitu.oshakbay@gmail.com*)

³ К. б. н., доцент, и.о. профессора
(Казахский национальный университет им. аль-Фараби, Алматы, Казахстан;
gulzhanatmukanova@gmail.com)

⁴ К. б. н., доцент (Казахский национальный университет им. аль-Фараби,
Алматы, Казахстан; *bshimshikov@gmail.com*)

⁵ Магистр естественных наук, преподаватель
(Казахский национальный университет им. аль-Фараби, Алматы, Казахстан;
kyrgyzbay.kudaibergen@gmail.com)

⁶ Докторант (Казахский национальный университет им. аль-Фараби,
Алматы, Казахстан; *aitolkynalimurat@gmail.com*)

ОСОБЕННОСТИ РАСПРОСТРАНЕНИЯ ПОЧВЕННОГО ПОКРОВА АТЫРАУСКОЙ ОБЛАСТИ

Аннотация. Исследуются особенности распространения почвенного покрова Атырауской области. Она расположена на западе Казахстана и ее почвенный покров сформирован в связи с особыми природно-климатическими условиями. Сухой континентальный характер климата области и близость Каспийского моря влияют на неравномерное распределение типов почв. Анализируются типы почв в полупустынных и полупустынных регионах, их минеральный состав, уровень засоления и плодородие. Рассматриваются природные и антропогенные факторы, способствующие формированию почвенного покрова. Обсуждаются структура почвенного покрова Атырауской области, содержащиеся в нем минералы и органические вещества, а также их влияние на экологическое и сельское хозяйство. На основе полевых исследований и лабораторных анализов изучены основные факторы, влияющие на типы почв в регионе, такие, как климат, топография, водные ресурсы и антропогенное воздействие. Результаты исследования позволяют лучше понять механизмы формирования почвенного покрова и его роль в экосистемах региона. Результаты важны для разработки стратегий управления природными ресурсами и охраны окружающей среды в Атырауской области.

Ключевые слова: почва, климат, профиль почвы, рельеф.

**T. A. Bazarbayeva¹, A. A. Oshakbay^{*2}, G. A. Mukanova³,
B. E. Shimshikov⁴, K. T. Kyrgyzbay⁵, A. Alimuratkyzy⁶**

¹ Candidate of Geographical Sciences, Associate Professor,
Head of the UNESCO Department of Sustainable Development
(Al-Farabi Kazakh National University, Almaty, Kazakhstan;
tursynkul.bazarbayeva@gmail.com)

^{2*} PhD student (Al-Farabi Kazakh National University,
Almaty, Kazakhstan; *aitu.oshakbay@gmail.com*)

³ Candidate of Biological Sciences, Associate Professor, Acting Professor
(Al-Farabi Kazakh National University, Almaty, Kazakhstan;
gulzhanatmukanova@gmail.com)

⁴ Candidate of Biological Sciences, Associate Professor
(Al-Farabi Kazakh National University, Almaty, Kazakhstan; *bshimshikov@gmail.com*)

⁵ Master of Natural Sciences, lecturer (Al-Farabi Kazakh National University, Almaty, Kazakhstan;
kyrgyzbay.kudaibergen@gmail.com)

⁶ PhD student (Al-Farabi Kazakh National University, Almaty, Kazakhstan;
aitolkynalimurat@gmail.com)

FEATURES OF DISTRIBUTION OF SOIL COVER IN ATYRAU REGION

Abstract. The article examines the features of the distribution of the soil cover of the Atyrau region. The Atyrau region is located in the west of Kazakhstan and its soil cover is formed due to special natural and climatic conditions. The dry continental climate of the region and the proximity of the Caspian Sea affect the uneven distribution of soil types. The study analyzes the types of soils in semi-desert and semi-desert regions, their mineral composition, salinity level and fertility. Natural and anthropogenic factors contributing to the formation of the soil cover are considered. The structure of the soil cover of the Atyrau region, the minerals and organic matter contained in it, as well as their impact on the environment and agriculture are discussed. Based on field studies and laboratory analyzes, the main factors influencing the types of soil in the region, such as climate, topography, water resources and anthropogenic impact, were studied. The results of the study allow us to better understand the mechanisms of soil cover formation and its role in the ecosystems of the region. The results are important for developing strategies for natural resource management and environmental protection in the Atyrau region.

Keywords: soil, climate, soil profile, relief.

Климатология и метеорология

Климатология және метеорология

Climatology and meteorology

<https://doi.org/10.55764/2957-9856/2025-1-109-124.11>

МРНТИ 39.23.15

УДК 551.583

Ж. К. Наурозбаева*¹, Г. Е. Монкаева², М. А. Жунисова³,
Н. Е. Рахматулла⁴, Г. А. Еркинова⁵

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; gulsara.monkayeva@mail.ru)

³ Научный сотрудник лаборатории региональных климатических изменений

(АО «Институт географии и водной безопасности», Алматы, Казахстан; makpal80@mail.ru)

⁴ Младший научный сотрудник лаборатории региональных климатических изменений

(АО «Институт географии и водной безопасности», Алматы, Казахстан; nurkanat.rakhmatulla@mail.ru)

⁵ Ведущий инженер лаборатории региональных климатических изменений

(АО «Институт географии и водной безопасности», Алматы, Казахстан; yerkinova.gaukhar@mail.ru)

ОЖИДАЕМЫЕ ИЗМЕНЕНИЯ ТЕМПЕРАТУРЫ ВОЗДУХА И ОСАДКОВ ПО КЛИМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ВСС-CSM1-2 ДЛЯ БАССЕЙНА РЕКИ СЫРДАРΙΑ

Аннотация. Проведен анализ режима температуры воздуха и осадков бассейна реки Сырдария за период с 1941 по 2021 г., выявлены тенденции их роста, увеличение выпадения осадков зимой и незначительные уменьшения летом. Превышение температуры воздуха за базовый период 1961-1990 гг. составило 2,2-2,6°C, а за современный период 1991-2020 гг. – более 1 °C, что больше в сравнении с другими регионами Казахстана. Также проведена аналитическая работа по отбору подходящих климатических моделей из ансамбля CMIP6 на основе детализации и адаптации к местным орографическим условиям. Наиболее подходящей оказалась китайская модель ВСС-CSM1-2. Согласно результатам модели определены ожидаемые изменения температуры и осадков до конца столетия. По сценарию SSP4.5 зимой средняя температура воздуха может достигнуть от – 2,8 до +1,5 °C, а летом – до 33,7 °C. Режим осадков также будет претерпевать изменения. В зимний период и марте ожидается наибольшее количество осадков в предгорной части, в частности будут преобладать жидкие осадки и значительное их уменьшение в теплое полугодие на равнинной территории.

Ключевые слова: бассейн реки Сырдария, изменение климата, климатические модели, температура воздуха, атмосферные осадки.

Введение. Территория Центральной Азии, к которой относится Казахстан, наиболее чувствительна к глобальному потеплению климата из-за географического положения. Средняя скорость роста температуры воздуха в странах Центральной Азии наибольшая в Туркменистане и составляет около 0,46 °C каждые 10 лет, а в Казахстане – 0,32 °C за каждые 10 лет, что имеет непосредственное влияние на различные сферы деятельности человека, водные ресурсы, экономику страны [1]. Также претерпевают изменения атмосферные осадки, особенно в летний период. Исследуемый регион относится к засушливому району, который уже в данный момент испытывает дефицит осадков [2].

Бассейн реки Сырдария является одним из наиболее уязвимых регионов Казахстана к изменению климата [3]. Река обеспечивает водой сельское хозяйство, промышленность региона и население, а также играет важную роль в поддержании экосистемы Северного Аральского моря [4]. В условиях глобального потепления возникает необходимость изучения возможных изменений температуры и осадков на перспективу, так как эти факторы напрямую влияют на водные ресурсы региона и его устойчивое развитие [5]. Актуальность и проблематика данного региона отражены в работах [6, 7], где показаны результаты изменения стока реки, его влияния на деятельность человека в регионе, а также проблемы Аральского моря.

Для выявления ожидаемых изменений температуры и осадков на перспективу была использована модель из ансамбля CMIP6 - BCC-CSM1-2, которая дает возможность спрогнозировать будущие изменения климата с учетом глобальных процессов [8].

При долгосрочном прогнозировании климатических параметров для Казахстана в рамках CMIP6 и IPCC наиболее часто используются периоды [9]:

2030–2050 гг. (среднесрочный прогноз) – позволяет оценить ближайшие изменения климата, имеющие практическую значимость для адаптации;

2050–2070 гг. (долгосрочный прогноз) – подходит для анализа устойчивых трендов и оценки сценариев изменения климата;

2070–2100 гг. (конец XXI века) – используется для стратегического планирования и оценки сценариев глобального потепления.

Выбор базового периода является ключевым этапом при проведении долгосрочных климатических прогнозов. Для территории Казахстана наиболее обоснованными периодами являются:

1961–1990 гг. – используется в ряде климатических исследований как исторический референтный период, но с учетом изменения климата этот интервал может устаревать;

1981–2010 гг. – стандартный период Всемирной метеорологической организации (ВМО) для климатического нормирования;

1991–2020 гг. – более актуальный период, предложенный ВМО, который отражает современные климатические изменения, но обладает меньшей статистической устойчивостью по сравнению с более длительными интервалами [10].

Этот выбор обеспечивает баланс между доступностью данных, актуальностью климатических изменений и необходимостью учитывать долгосрочные тренды.

Целью исследования являются проведение анализа и оценки основных климатических условий бассейна реки Сырдария, а также выявление ожидаемых изменений температуры и осадков с применением адаптированной климатической модели BCC-CSM1-2.

Материалы и методы исследования. Территория бассейна реки Сырдария по административному делению относится к Кызылординской и Туркестанской областям. Были использованы данные по температуре воздуха и атмосферным осадкам метеорологических станций, которые расположены в данных областях, гидрометеорологический мониторинг наблюдений проводит РГП «Казгидромет» [11]. Период исследования 1941–2021 гг. (рисунок 1, таблица 1).

Для формирования качественной базы данных по температуре воздуха и осадкам проведены статистические расчеты и критические проверки на однородность данных, которые приняты в климатической практике. При оценке однородности эмпирических рядов метеорологических параметров использованы критерии Стьюдента, Фишера, Калмыкова-Граббса. В соответствии с принятой международной практикой при проверке однородности метеорологических рядов наблюдений признано наиболее целесообразным использовать комбинированный статистический подход для оценки однородности рядов [12]. Для оценки будущих значений метеорологических параметров были использованы климатические модели, разработанные МГЭИК, взятые из базы данных Европейского центра среднесрочных прогнозов погоды (ECMWF) [13].

Общее количество моделей, которые используются в CMIP6, более 30 [14]. Для Казахстана были отобраны наиболее подходящие, которые отличаются высокой детализацией, отражают и улавливают региональные климатические условия страны. Одной из таких моделей является модель Китайского метеорологического агентства BCC-CSM1-2 [8] с разрешением 100 км (1,1x1,1°), основанная на глобальной модели циркуляции атмосферы и океана, включающая данные спутниковых наблюдений, атмосферного давления, осадков и парниковых газов.

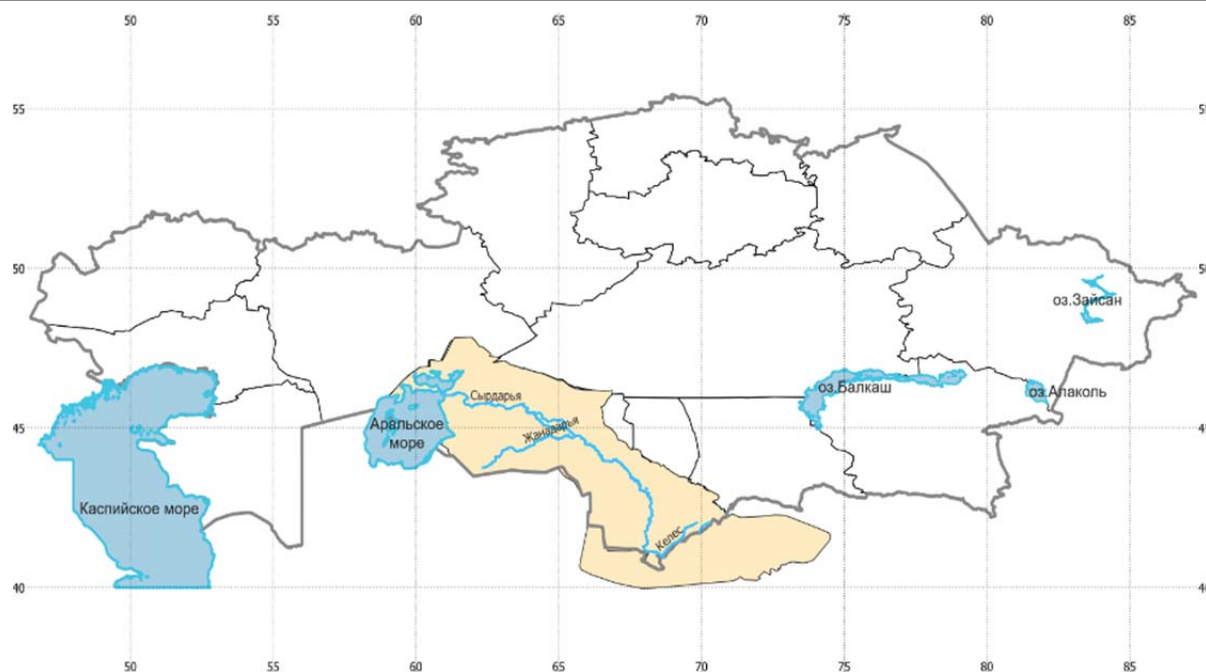


Рисунок 1 – Карта-схема бассейна реки Сырдария

Figure 1 – Map-scheme of the Syrdarya River basin

Таблица 1 – Перечень метеорологических станции бассейна реки Сырдария

Table 1 – List of meteorological stations in the Syrdarya River basin

№ п/п	Метеорологическая станция	Широта, град.мин	Долгота, град.мин	Высота над уровнем моря, м
1	Казалы	45.8	62.1	66
2	Жосалы	45.5	64.1	101
3	Кызылорда	44.8	65.5	128
4	Злиха	45.2	66.9	138
5	Карак	44.8	63.2	144
6	Шиели	44.2	66.8	152
7	Тасты	44.8	69.2	191
8	Шардара	41.4	68.0	271
9	Арыс	42.4	68.8	238
10	Казыгурт	41.7	69.4	575
11	Тасарык	42.2	70.2	1122

В ходе обработки данных выявлены систематические погрешности модели при сравнениях с фактическими наблюдаемыми данными по температуре воздуха и атмосферным осадкам, которые связаны с недоучетом азональных факторов. Вполне естественно, что эти погрешности будут проявляться и в сценарных оценках. Поэтому необходимо корректировать сценарные средние температуры воздуха и вводить как систематическую, так градиентную поправки, как было предложено и реализовано в работах [15, 16]. Градиентная поправка основывается на расчете среднего градиента между тремя сценарными нормами и сопоставлении его с градиентом норм последнего периода наблюдений и первого сценарного периода.

Средний сценарный градиент норм температуры (dT) вычисляется по формуле:

$$dT = (T_{н3} - T_{н1}) / 2, \quad (1)$$

где $T_{н1}$, $T_{н3}$ – нормы температур за периоды 2014-2040 и 2071-2100 гг., а градиент между наблюдаемыми и сценарными нормами (dT') рассчитывался как:

$$dT' = (T_{n1} - T_{n0}), \quad (2)$$

где T_{n0} – нормы температур за последний наблюдаемый период 1981-2010 гг.

И если $dT' - dT > 1^\circ\text{C}$, то сценарные нормы уменьшались на эту разность, а если $T_{n1} - T_{n0} < 0$, т.е. сценарные нормы были меньше наблюдаемых, то градиентная поправка определялась как $T_{n0} - T_{n1} + dT$ и соответственно на нее сценарные нормы увеличивались.

Результаты и их обсуждение. Термический режим. Климат рассматриваемой территории формируется под воздействием арктических полярных и тропических воздушных масс и отличается характерными чертами континентальности, особенно резко выраженной в его равнинной части. В холодное время года, с ноября по март, территория находится под влиянием западного отрога Сибирского антициклона. Зимний период времени года характерен не только воздействием Сибирского антициклона, но и частыми вторжениями с северо-запада, севера и северо-востока. Как правило, это холодные воздушные массы Арктики и умеренных широт. В теплое время года территория находится главным образом под воздействием вторгающегося теплого и влажного континентального воздуха умеренных широт, формирующегося в летние месяцы над Средней Азией и Ираном. Особенностью циркуляционного режима весеннего периода является неустойчивость погоды, что связано с северо-западными и западными циклонами, приносящими влажные воздушные массы. Летом, особенно в августе, в связи с проникновением с юга тропического воздуха над значительной территорией Южного Казахстана и Средней Азией формируется термическая депрессия, определяющая малооблачную сухую погоду. В осенний период учащаются холодные вторжения. Переход к зиме осуществляется в короткий период и сопровождается спадом температуры воздуха [17, 18].

В целях оценки основных климатических условий бассейна р. Сырдария рассмотрен временной ход аномалии среднегодовых температур воздуха, сумм осадков за зиму и лето и их тенденции, а также рассчитаны коэффициенты линейного тренда среднегодовой температуры воздуха за период 1976-2021 гг. Этот период был выбран с учетом изменений термического режима на всех станциях Казахстана [19] (рисунки 2, 3).

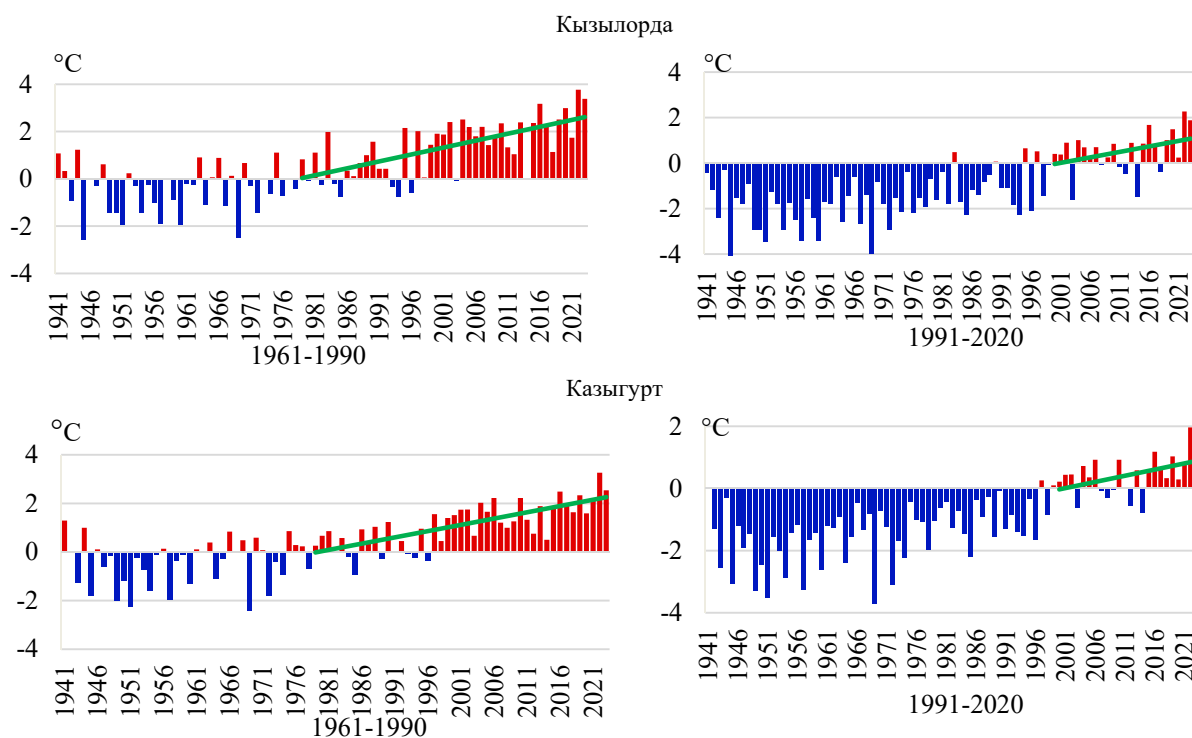


Рисунок 2 – Временной ход аномалий среднегодовой температуры воздуха, рассчитанных относительно периодов 1961-1990 и 1991-2020 гг.

Figure 2 – Time course of the anomaly of average annual air temperature, calculated relative to the periods 1961-1990 and 1991-2020

Южная часть Казахстана, где расположен бассейн реки Сырдария, которая в большей степени занята пустынными и полупустынными территориями, значительно подвержена прогреву, прирост составляет в среднем 1,3-1,6 °С.

Исходя из рисунка 2 аномалия температуры воздуха положительна в основном с 1976 г. и составляет 2,2-2,6 °С. Она рассчитана относительно 1961-1990 гг., что наиболее значимо по сравнению с другими регионами Казахстана. Аномалия за современный период 1991-2020 гг. составляет более 1 °С.

При рассмотрении холодного и теплого периодов отмечено, что особо холодные зимние периоды были в 1944-1945, 1953-1954, 1968-1969, 1995-1996, 2011-2012 гг. Также отмечаются два зимних периода с наиболее высокими температурами – это зима 2000-2001 и 2016-2017 гг. Из теплых полугодий отмечались холодные в конце 50-х годов, в 1993 году, а в остальные периоды температура была выше 20 °С.

Важно также рассмотреть коэффициенты линейного тренда по температуре воздуха, для того чтобы выявить, на сколько происходят изменения за каждые 10 лет. В таблице 2 представленные сезонные и годовые значения коэффициентов линейного тренда, осредненные по территории бассейна р. Сырдария за 1976-2021 гг.

Таблица 2 – Коэффициент линейного тренда среднегодовой температуры воздуха, °С/10 лет, рассчитанный за 1976-2021 гг.

Table 2 – Linear trend coefficient of average annual air temperature, °C/10 years, calculated for 1976-2021

Год	Зима	Весна	Лето	Осень
0,44	0,38	0,76	0,32	0,26

По результатам таблицы 2 коэффициент линейного тренда температуры воздуха за год составляет 0,44°С/10 лет. В сравнении с другими бассейнами Казахстана эти значения высокие, наибольший показатель в Жайык-Каспийском бассейне (0,51°С/10 лет) [19]. Максимальные скорости роста температуры воздуха по сезонам наблюдаются весной, скорость достигает 0,76 °С/10 лет, а летом и осенью минимальные скорости составляют 0,32 и 0,26 °С/10 лет соответственно. Зимой температура увеличивается на 0,38 °С/10 лет.

Атмосферные осадки. Особенности распределения осадков определяются расположением региона в глубине обширного материка, большим разнообразием и сложностью рельефа. Засушливостью отличается равнинная территория, где среднее годовое количество осадков составляет 360 мм. От равнины к предгорьям осадки возрастают. В горной юго-восточной части бассейна р. Сырдария может выпадать до 1000 мм осадков. Характер зависимости месячных сумм осадков от высоты местности определяется направлениями движения воздушных масс, которые приносят влагу. В зимнее время, когда преобладают северные вторжения, задерживаемые горными хребтами, линия зависимости в верхней части имеет нулевой или обратный градиент осадков. В теплый период года градиент осадков положителен на всех высотах, так как воздушные массы, принятые с западными вторжениями, беспрепятственно проникают до больших высот [20].

Количество осадков увеличивается с высотой местности от 450 мм на высоте 575 м до 880 мм на высоте 1950 м. В гляциальной зоне выпадает до 1500 мм осадков и более. Максимум осадков приходится на март-май. В этот период выпадает 30–45 % их годовой суммы. Очень мало осадков с июля по сентябрь. Так, в зоне высот 575–1950 м на эти месяцы приходится всего от 12 до 60 мм. На значительной части территории преобладают жидкие осадки. Их повторяемость составляет около 60–70 % от общего числа суток с осадками. Однако в январе и феврале дожди в ряде лет бывают не ежегодно.

Такое распределение подтверждают и графики на рисунке 3, кроме того, представлены и тенденции изменения во временном ходе на примере двух станций.

Наблюдается увеличение зимних осадков, летом есть незначительное уменьшение, но не во все года. Есть отдельные годы с избытком увлажнения. В исследуемом регионе с 1941 по 2021 г. на большей части рассматриваемых станций сильно уменьшилось количество выпадающих осадков летнего периода – около 35-50 мм и менее за все лето.

Кызылорда

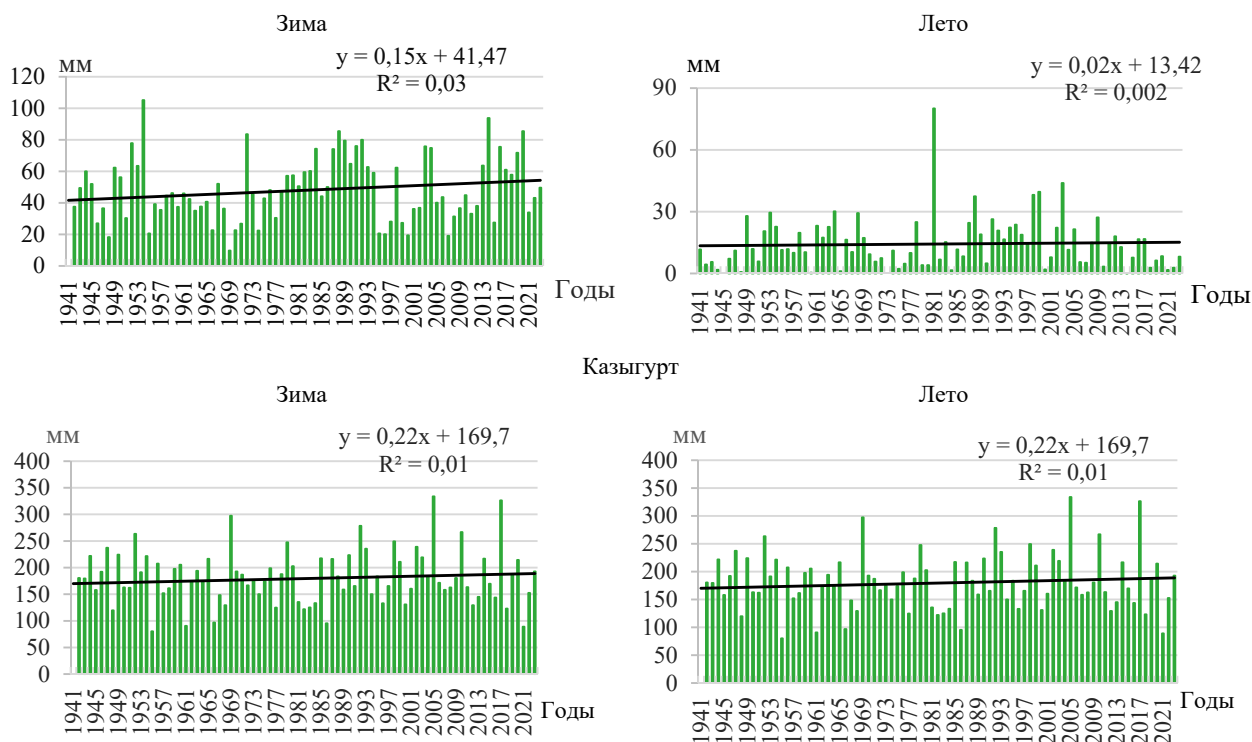


Рисунок 3 – Временной ход и тенденции атмосферных осадков зимой и летом

Figure 3 – Time course and trend of precipitation in winter and summer

Особое внимание привлекает 1981 г., когда превышение количества выпавших осадков было в несколько раз больше, чем среднееголетние значения. Так, в Шиели выпало около 100 мм за весенне-летний период. Такая ситуация была отмечена и на других станциях региона.

В Кызылординской области в год выпадает в среднем 130-140 мм осадков, в Туркестанской области – 240-280 мм, наибольшее количество осадков отмечается на МС Казыгурт – 485 мм.

Оценка изменения температуры воздуха и осадков в будущем. Стоит отметить, что для более точного оценивания на перспективу периоды были поделены по 20-летиям. Таким образом, получены 4 равных промежутка времени до конца века. Также разница базового и современного периодов несколько отличается на перспективу ввиду интенсивного роста температуры воздуха в XXI веке и увеличения среднего значения.

На рисунках 4 и 5 представлены примеры корректировки сценарных норм температур января и июля на метеостанциях Кызылорда и Казыгурт для сценария SSP4.5. Эти станции выбраны на разных высотах – 128 и 598 м над уровнем моря соответственно. На графиках отмечены данные исторического анализа как (HIST) и фактические наблюдаемые (FACT). При сравнении совокупности данных модели и фактически наблюдаемых практически не отмечается, что подтверждает обоснованность применения этой модели. Для ее выбора были проведены подобные расчеты по 10 моделям и отобраны те, где разница между историческими данными модели и фактическими была минимальная. Методика отбора приведена в работе [15, 16].

На рисунке 4 представлено изменение температуры воздуха за январь и июль на перспективу по модели, без внесения каких-либо корректировок как (прогноз 2) и изменения после корректировки, то есть с учетом погрешности представлено как (прогноз 1).

На станциях, расположенных на высотах 52-144 м над уровнем моря (Арал тенизи, Жосалы, Кызылорда, Карак, Казалы, Злиха), модель дает хорошие и близкие значения исторических данных в сравнении с фактическими наблюдаемыми. На примере МС Кызылорда в январе эта разница оценивалась в 0,1 °C за базовый и 0,3 °C за современный период. При расчете на перспективу, согласно SSP-4.5 температура воздуха будет возрастать к концу столетия и достигнет минус 2,2 °C относительно базового периода и минус 0,7 °C относительно современного. Относительно современного периода модель несколько занижает значения, примерно на 1,5 °C. В целом согласно обоим периодам температура уменьшится с – 7 до – 2 °C к концу века.

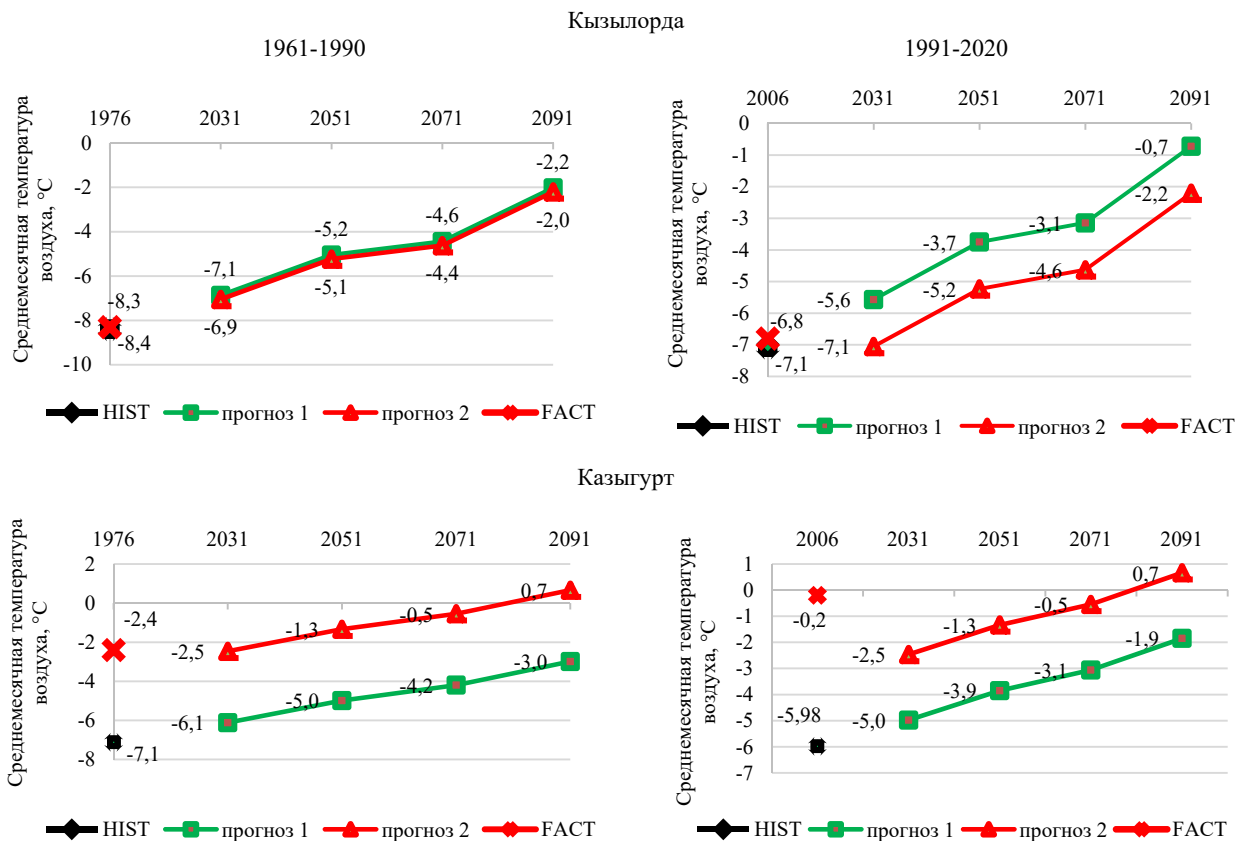


Рисунок 4 – Среднемесячная температура воздуха за январь на станциях Кызылорда и Казыгурт на перспективу по сценарию SSP-4.5 относительно базового и современного периодов по модели BCC-CSM1

Figure 4 – Average monthly air temperature for January at the Kyzylorda and Kazygurt stations for the future according to the SSP-4.5 scenario relative to the baseline and modern periods according to the BCC-CSM1 model

На станции Казыгурт также ожидается увеличение январской температуры воздуха до $-3,0$ °C в среднем за последнее двадцатилетие XXI века. Станция располагается на высоте 598 м над уровнем моря и в горной местности. Разница в исторических данных модели и фактических объясняется тем, что модель не учитывает местные особенности орографии. Таким образом, очевидна необходимость введения корректировки в прогностические значения, иначе разница ожидается в среднем 3-4 °C. Хотя при использовании других моделей, которые менее подходят для региона, эта разница может достигать 8-10 °C и более, что увеличивает ошибку на перспективу, в особенности в последнем двадцатилетии.

К концу столетия на станциях, расположенных в южных регионах Туркестанской области, ожидаются в среднем за 20 лет положительные температуры за январь, а на станциях, расположенных в пустынных регионах Кызылординской области, эти значения будут не ниже -3 °C. По жесткому сценарию фиксируется повышение температуры в период до 2080 года, а к концу столетия, наоборот, ожидается понижение.

Согласно рисунку 5, модель весьма неплохо показывает разницу между историческими и фактическими данными в предгорных и горных районах. Увеличение средней температуры воздуха за июль весьма ощутимо на равнине – до 33,7 °C, а в горных районах – до 29 °C. Третий период с 2060-2080 гг. будет характеризоваться более ощутимой скоростью увеличения температуры воздуха. Четвертый период примечателен меньшей скоростью нарастания значений, а на некоторых станциях отмечается их падение – в холодное полугодие в высокогорье.

В таблице 3 представлены сравнительные значения между историческими данными модели и фактическими наблюдаемыми, для простоты понимания станции расположены по мере возрастания над уровнем моря. Таблица позволяет выявить различия между фактическими наблюдаемыми

ными значениями температуры воздуха и историческими значениями, основанными на модели циркуляции атмосферы и океана, атмосферного давления, осадков и парниковых газов, а также на использовании данных спутниковых наблюдений.

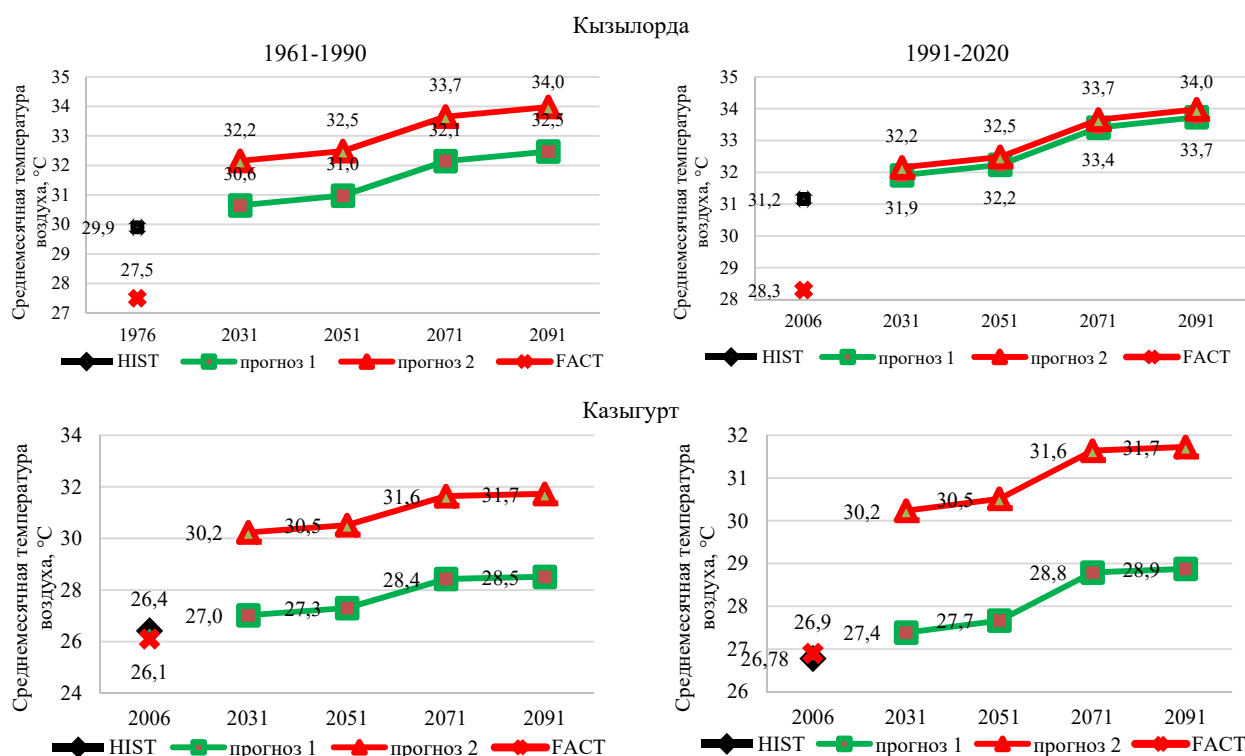


Рисунок 5 – Среднемесячная температура воздуха за июль на станциях Кызылорда и Казыгурт на перспективу по сценарию SSP4.5 относительно базового и современного периодов по модели BCC-CSM1

Figure 5 – Average monthly air temperature for July at the Kyzylorda and Kazygurt stations for the future according to the SSP4.5 scenario relative to the baseline and modern periods according to the BCC-CSM1 model

Таблица 3 – Сравнительные сведения исторических данных модели BCC-CSM1 и фактических наблюдаемых значений за период 1991-2020 гг. по основным среднесезонным месяцам

Table 3 – Comparative information of historical data of the BCC-CSM1 model and actual observed values for the period 1991-2020 for the main average seasonal months

Станция	Исторический период модели				Фактические наблюдаемые				T* (hist-fact)			
	01	04	07	10	01	04	07	10	01	04	07	10
Казалы	-8,5	11,1	30,7	7,6	-8,9	12,4	26,9	9,3	0,4	-1,3	3,8	-1,7
Жосалы	-7,2	12,6	30,2	9,1	-9,1	12,6	28,1	9,4	1,9	0,0	2,1	-0,3
Кызылорда	-7,1	13,0	31,2	9,1	-6,8	13,9	28,3	10,6	-0,3	-0,9	2,9	-1,5
Злиха	-8,4	12,9	27,4	9,3	-8,2	11,4	30,7	10,5	-0,2	1,5	-3,3	-1,2
Карак	-5,3	13,7	30,1	10,5	-7,8	13,2	28,3	9,8	2,5	0,5	1,8	0,7
Шиели	-5,0	13,6	29,0	9,5	-4,5	14,4	27,2	11,0	-0,5	-0,8	1,8	-1,5
Тасты	-8,2	12,9	28,7	9,6	-8,1	13,4	27,7	10,0	-0,1	-0,5	1,0	-0,4
Шардара	-5,0	11,3	27,1	9,4	-0,2	15,6	29,2	14,3	-4,8	-4,3	-2,1	-4,9
Арыс	-5,7	10,2	27,8	10,2	-2,1	15,0	29,3	12,9	-3,6	-4,8	-1,5	-2,7
Казыгурт	-6,0	12,6	26,8	10,2	-0,2	13,8	26,9	12,9	-5,8	-1,2	-0,1	-2,7
Тасарык	-5,6	11,1	25,6	8,3	-2,4	10,7	22,2	9,7	-3,2	0,4	3,4	-1,4

*T – разница между историческими данными модели и фактическими наблюдаемыми.

Из таблицы 3 можно заметить, что в колонке T' (hist-fact) представлена разница между значениями, красным жирным шрифтом показаны превышающие 2,5 град. разницы, хотя при сравнении со всеми моделями такая разница оценивается как хорошая и модель применима для региона. Тем не менее при подобном анализе особо отличаются станции, расположенные в горной местности, и для января наиболее значимы показатели. Также большими значениями отличаются переходные месяцы ввиду неустойчивости барико-циркуляционных процессов в эти периоды. Это отражается и в фактических данных.

Таблица 4 и рисунок 6 показывают результаты моделирования по климатическому сценарию SSP-4.5.

Рост температуры воздуха будет наблюдаться по всему региону, но скорость увеличения на станциях ниже и выше течения реки Сырдарии будет отлична в зависимости от орографии и времени года. При рассмотрении зимнего периода наибольшее повышение ожидается в горной местности, что приведет в будущем к более интенсивному таянию снежного покрова в высокогорье, среднемесячная температура воздуха превысит 0 °C за 20 лет.

Таблица 4 – Вероятное повышение средней температуры воздуха (°C) в соответствии со сценариями SSP-4.5 и SSP-8.5 до конца столетия по модели BCC-CSM1

Table 4 – Probable increase in average air temperature (°C) in accordance with the SSP-4.5 and SSP-8.5 scenarios by the end of the century according to the BCC-CSM1 model

МС	Месяцы / период															
	Январь				Апрель				Июль				Октябрь			
	2021-2040	2041-2060	2061-2080	2081-2100	2021-2040	2041-2060	2061-2080	2081-2100	2021-2040	2041-2060	2061-2080	2081-2100	2021-2040	2041-2060	2061-2080	2081-2100
	SSP-4.5															
Казалы	-7	-4,6	-4,3	-1,5	12,3	12,2	13,2	14,5	31,5	31,9	33	33,6	7,9	10,1	9,3	10,9
Жосалы	-5,7	-3,7	-3,2	-0,6	13,9	13,8	14,9	16,2	31	31,4	32,5	32,9	9,6	11,8	10,9	12,7
Кызылорда	-5,6	-3,8	-3,1	-0,7	14,2	14,1	15,4	16,7	31,9	32,2	33,4	33,7	9,6	11,8	11	12,8
Злиха	-6,8	-5,2	-4,5	-2,4	12,7	12,6	14,1	15,3	31,4	31,7	33	33,1	11,1	13,2	12,5	14,4
Карак	-3,7	-1,6	-1,1	1,5	14,8	14,7	15,8	17,1	30,9	31,3	32,3	32,9	10,9	13,1	12,2	13,9
Шиели	-3,7	-2,3	-1,6	0,3	14,9	14,8	16,2	17,3	29,7	30	31,2	31,4	10,1	12,1	11,4	13,3
Тасты	-6,9	-5,4	-4,5	-2,8	14,2	14,1	15,7	16,7	29,4	29,6	31	31	10,3	12,3	11,7	13,6
Шардара	-4	-3	-2,1	-0,9	12,3	12,5	14	14,5	27,7	28	29	29,2	10,2	11,6	10,9	13,1
Арыс	-4,7	-3,6	-2,8	-1,6	11,2	11,3	12,8	13,4	28,4	28,7	29,8	29,9	10,9	12,5	11,8	13,9
Казыгурт	-5	-3,9	-3,1	-1,9	13,7	13,7	15,2	15,8	27,4	27,7	28,8	28,9	10,9	12,5	11,8	13,9
Тасарык	-4,6	-3,4	-2,7	-1,5	12,1	12,2	13,7	14,2	26,2	26,4	27,5	27,6	9	10,5	9,9	12
	SSP-8,5															
Казалы	-7,7	-5	-4,1	-3,3	11,8	15	15,2	16,3	32,4	34	36,5	37,4	8,9	10,5	12,5	13,1
Жосалы	-6,5	-4	-3,3	-2,6	13,2	16,6	16,6	17,6	31,9	33,5	36	36,8	10,6	11,8	14,1	14,7
Кызылорда	-6,4	-3,9	-3,2	-2,5	13,5	16,9	16,9	17,9	32,9	34,5	37,1	37,9	10,6	11,7	14,1	14,7
Злиха	-7,6	-5,2	-4,6	-3,9	11,9	15	15,2	16,1	32,4	34,1	36,6	37,5	12,1	13	15,6	16,2
Карак	-4,6	-2	-1,3	-0,6	14,2	17,6	17,6	18,7	31,8	33,4	36	36,8	11,9	13,1	15,4	16
Шиели	-4,5	-2,3	-1,9	-1,4	14,3	17,3	17,4	18,5	30,7	32,3	34,7	35,6	11	11,9	14,4	15
Тасты	-7,6	-5,4	-4,9	-4,3	13,5	16,3	16,4	17,5	30,4	32,1	34,5	35,5	11,2	12	14,6	15,2
Шардара	-4,4	-2,9	-2,4	-1,7	12	14,7	14,6	16,1	28,8	30,4	32,6	33,6	11,1	11,5	14,2	15
Арыс	-5,2	-3,6	-3,2	-2,5	10,9	13,6	13,4	15	29,4	31	33,2	34,3	11,9	12,3	15	15,8
Казыгурт	-5,4	-3,9	-3,4	-2,7	13,3	16	15,9	17,4	28,4	30,1	32,2	33,3	11,9	12,3	15	15,7
Тасарык	-4,9	-3,5	-2,9	-2,2	11,8	14,4	14,3	15,8	27,2	28,8	30,9	32	10	10,3	13	13,8

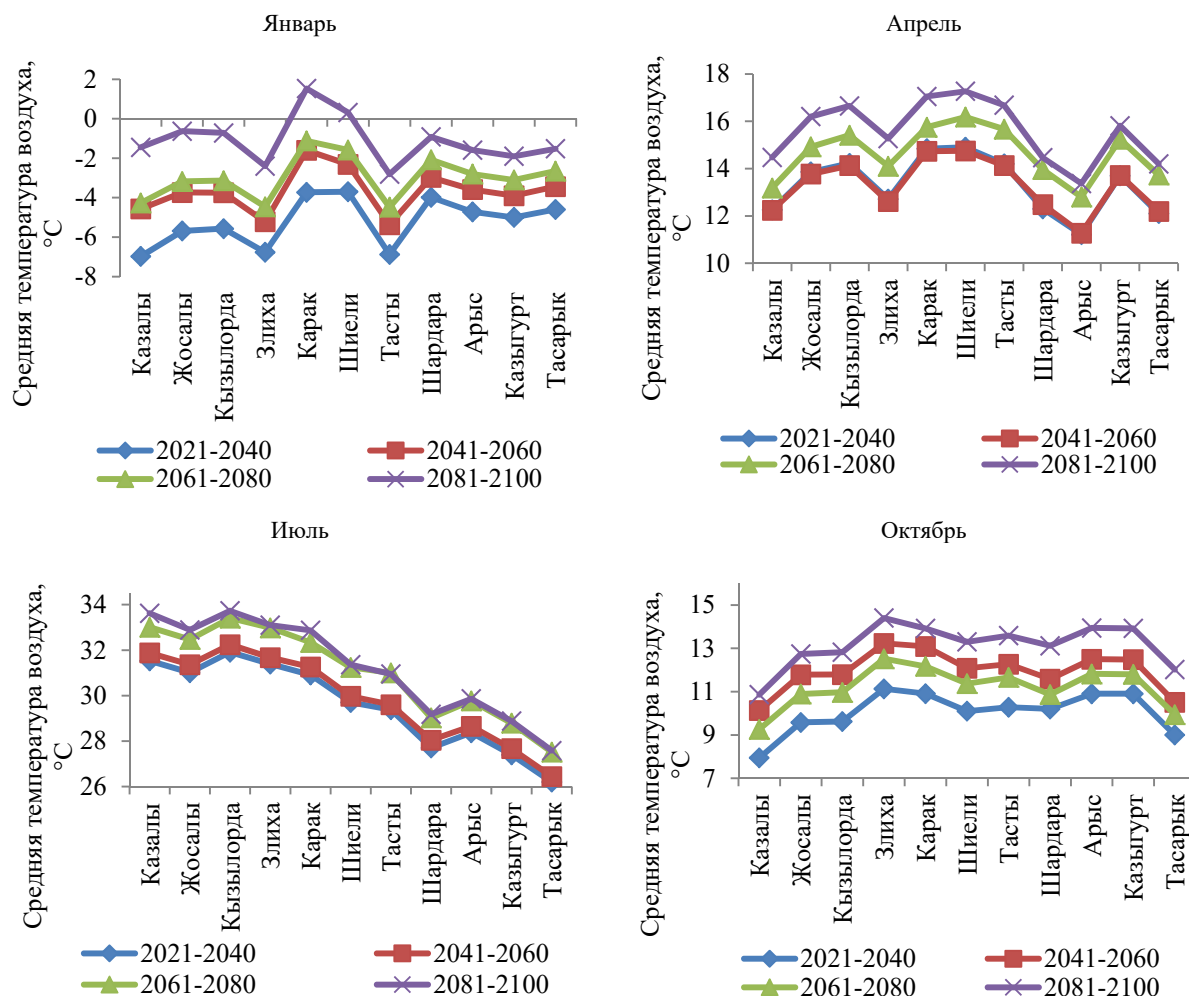


Рисунок 6 – Распределение среднemesячной температуры воздуха по сценарию SSP4.5 на исследуемых станциях до конца столетия

Figure 6 – Distribution of average monthly air temperature according to the SSP4.5 scenario at the studied stations until the end of the century

Все рисунки объединяют не только тенденция роста температуры воздуха, но и различные темпы: в первые два периода 2021-2040 и 2041-2060 гг. интенсивность повышения небольшая, но третий период отличается быстрым ростом. Так, в январе в период 2021-2040 гг. по SSP4.5 температуры воздуха составляют от -7 до $-3,7$ °C, а концу периода 2081-2100 гг. – от $-2,8$ до $+1,5$ °C. В июле также наблюдается увеличение средних показателей от $26,2-31,9$ до $27,6-33,7$ °C. По сценарию SSP8.5 температура воздуха в июле будет достигать $37,9$ °C в среднем (рисунок 7). В переходные сезоны превышение к концу века составит 2-3 °C. Стоит предположить, что в отдельные годы температура воздуха летом может быть намного больше средних за 20 лет и это может привести к усилению повторяемости засухи, ее интенсивности и, конечно, к увеличению повторяемости дней с температурой выше 35 °C.

При оценке вероятностного изменения по жесткому сценарию 8.5 необходимо сделать особый акцент на летних месяцах. Так, средние значения могут достигать 37 °C и выше, что крайне неблагоприятно для данного региона. Учитывая, что июль как самый жаркий месяц лета может иметь такие значения, следует упомянуть и об августе, который отличается не менее низкими значениями. Тенденция повторяемости засушливого периода и его увеличения по количеству дней особенно будет критична в третьем и четвертом десятилетиях текущего века для всего летнего периода, в частности для пустынных и полупустынных регионов. Следует предположить, что с ростом летних температур будет наблюдаться интенсивный рост испаряемости с водной поверхности, что будет иметь значение при расчете водного баланса, стока и пр. [20].

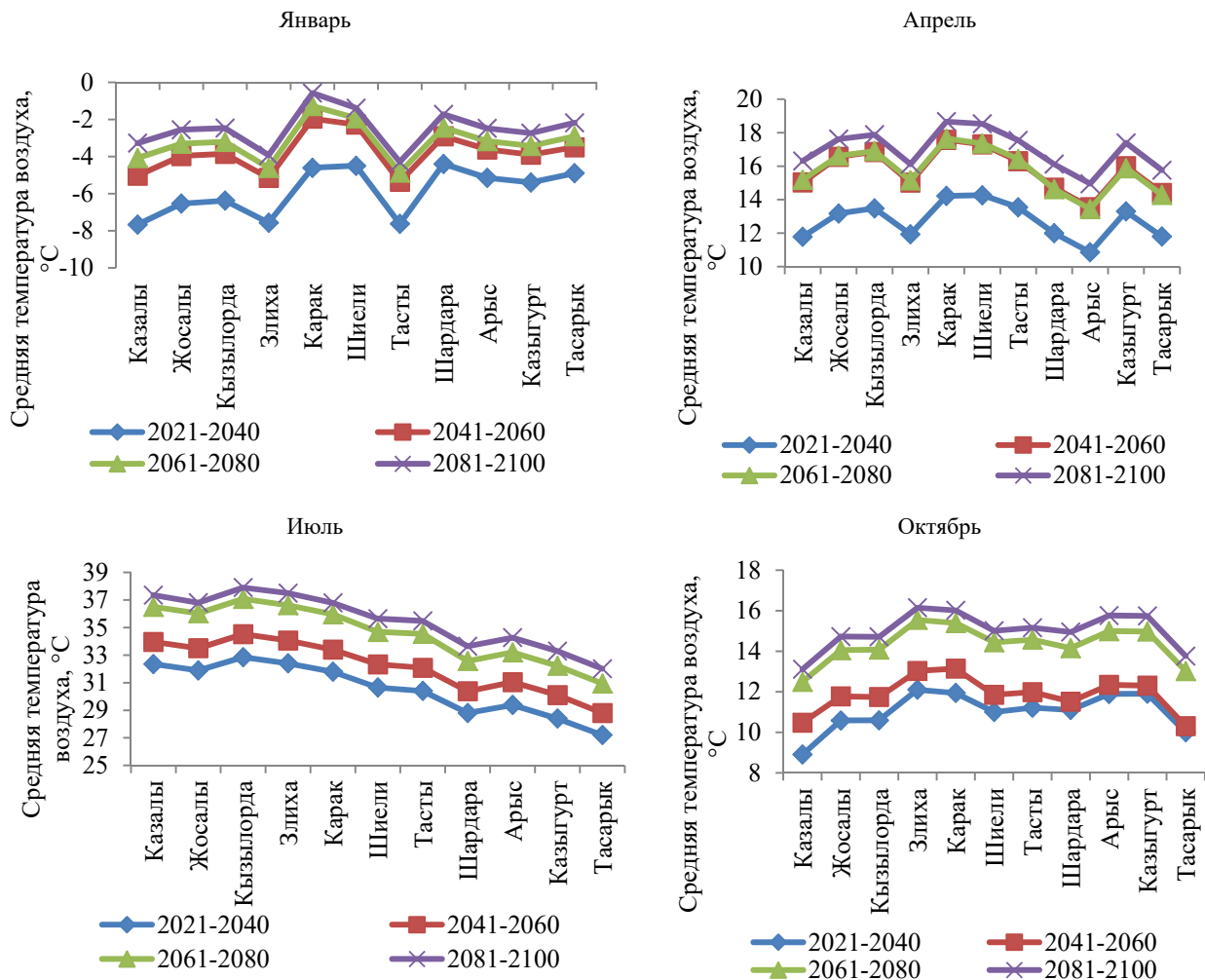


Рисунок 7 – Распределение среднемесячной температуры воздуха по сценарию SSP-8.5 на исследуемых станциях до конца столетия

Figure 7 – Distribution of average monthly air temperature according to the SSP-8.5 scenario at the studied stations until the end of the century

Возможное изменение сумм осадков по модели BCC-CSM1, рассчитанное относительно базового периода 1991-2020 гг. по сценариям SSP4.5, SSP8.5, представлено в таблице 5. Таким образом, изменения количества выпадения атмосферных осадков на перспективу в исследуемом регионе ожидается:

1. В годовом разрезе – уменьшение сумм осадков к концу столетия на станциях, расположенных в пустынных и полупустынных регионах и незначительное увеличение на станциях, расположенных в горных и предгорных районах. Анализ годового распределения осадков и тем более осредненных по 20-летиям, дает лишь определение общей тенденции изменения параметра в зависимости от региональной особенности орографии. Наиболее детальный анализ показателен будет в сезонном разрезе.

2. Зимний период отличается ростом выпадения осадков, за исключением станций Кызылорда, Казалы. Значимый вклад вносит февраль, когда выпадает больше осадков. Однако увеличение температуры воздуха способствует росту повторяемости выпадения осадков в жидком виде, что в целом приводит к увеличению количества осадков. Такая тенденция характерна для региона гор и предгорья. Данное заключение позволяет предположить, что выпадение жидких осадков зимой, рост температуры воздуха в среднем за данный период ускорят темпы таяния ледников, схода снежного покрова, вскрытия рек ото льда уже в феврале.

3. Весенний период 2041-2026 гг. отмечен некоторым ростом сумм осадков, вклад данного увеличения происходит за счет марта. К концу столетия тенденция уменьшения в пустынных регионах сохраняется.

Таблица 5 – Осредненная сумма осадков (мм) по сезонам и за год по модели BCC-CSM1, рассчитанная относительно базового периода 1991-2020 гг. по сценариям SSP-4.5, SSP-8.5

Table 5 – Average precipitation (mm) by season and per year according to the BCC-CSM1 model calculated relative to the base period 1991-2020 according to the SSP-4.5, SS-P8.5 scenarios

МС	Месяцы / период							
	Год				Зима			
	2021-2040	2041-2060	2061-2080	2081-2100	2021-2040	2041-2060	2061-2080	2081-2100
1	2	3	4	5	6	7	8	9
SSP-4.5								
Жосалы	112	154	151	136	42	45	52	49
Кызылорда	138	129	116	123	50	36	35	38
Шиели	149	144	177	152	50	60	69	66
Шардара	232	220	257	224	95	95	101	94
Арыс	316	323	330	310	118	124	126	125
Казыгурт	496	500	533	512	198	201	210	211
SSP-8.5								
Жосалы	92	45	23	-10	26	3	6	-22
Кызылорда	135	80	115	59	42	27	36	5
Шиели	280	284	290	257	115	118	126	113
Шардара	216	204	179	176	92	86	79	78
Арыс	279	269	268	240	115	125	121	122
Казыгурт	478	490	485	472	195	199	202	205

Продолжение таблицы 5

МС	Месяцы / период											
	Весна				Лето				Осень			
	2021-2040	2041-2060	2061-2080	2081-2100	2021-2040	2041-2060	2061-2080	2081-2100	2021-2040	2041-2060	2061-2080	2081-2100
1	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21
SSP-4.5												
Жосалы	44	53	47	56	9	19	16	8	18	37	36	22
Кызылорда	51	62	56	58	8	4	3	-2	29	27	21	29
Шиели	61	61	74	77	10	1	11	-10	27	22	24	19
Шардара	85	85	103	83	9	5	10	6	43	35	43	41
Арыс	127	138	136	123	16	10	19	8	55	52	50	54
Казыгурт	169	173	180	173	28	27	37	28	88	86	91	92
SSP-8.5												
Жосалы	30	8	7	-16	12	8	3	4	24	26	7	24
Кызылорда	59	36	61	46	7	2	-2	-6	27	15	20	13
Шиели	99	104	113	91	13	8	6	0	53	53	45	53
Шардара	83	73	66	67	4	5	-1	-4	37	41	34	35
Арыс	100	83	96	71	13	9	4	0	51	53	47	47
Казыгурт	176	178	179	169	23	23	21	14	83	89	83	85

4. Лето. Практически на всех станциях исследуемого региона наблюдается снижение общего количества осадков, в особенности в засушливых регионах, достигая отрицательных значений. Учитывая, что в мае уже наблюдается спад количества осадков с дальнейшим развитием в летние месяцы, стоит предположить, что засушливый период в данном регионе будет наблюдаться с мая по август. Такая ситуация благоприятна для засухи, в настоящее время период засушливости в южных регионах растет, в будущем стоит ожидать еще большего роста.

5. Осень – ярко выраженной тенденции увеличения или уменьшения не будет наблюдаться.

По жесткому сценарию SSP-8.5 выпадение осадков заметно снижается в годовом разрезе, практически в 2 раза меньше в пустынных районах. Летний период будет крайне засушлив, даже в горных районах.

Заключение. В условиях изменяющегося климата и нарастающей антропогенной нагрузки на природные ресурсы систематическое изучение факторов, влияющих на гидрологический режим реки Сырдария, на устойчивое развитие региона в целом, приобретает критическое значение. Анализ климатических характеристик позволяет не только понимать современную ситуацию, но и прогнозировать их динамику. С использованием общепринятых методов и подходов, на основе наиболее полных и однородных рядов метеорологических наблюдений оценены современные условия и тенденции изменения основных элементов климата, влияющие на формирование ресурсов тепла и влаги, как основные причинно-следственные факторы формирования водных ресурсов на исследуемой территории.

При оценке текущего состояния и изменения климата получены следующие выводы:

1. На протяжении последних десятилетий наблюдается устойчивая тенденция к росту температуры воздуха, даже в горных и предгорных районах. Наибольшая интенсивность отмечается в пустынных и полупустынных районах.

2. В количестве атмосферных осадков отмечаются разнонаправленные линейные тренды. Скорость роста и уменьшения осадков различается в зависимости от местности и сезонов года. В целом в бассейне количество осадков уменьшается в среднем на 2,1 мм каждые 10 лет. Рост осадков наблюдается в зимние месяцы и в марте, в предгорном районе.

3. Среднегодовые и среднемесячные температуры воздуха увеличиваются согласно адаптированной модели ансамбля CMIP6 BCC-CSM1, скорость изменения различна в зависимости от района и времени года. Так, в январе 2021-2040 гг. по SSP-4.5 температура воздуха будет от -7 до $-3,7$ °C, а концу периода 2081-2100 гг. – от $-2,8$ до $+1,5$ °C. В июле также наблюдаются увеличения средних показателей – от 26,2 до 31,9 и от 27,6 до 33,7 °C. По сценарию SSP-8.5 температура воздуха в июле будет достигать 37,9 °C в среднем. В переходные сезоны превышение к концу века составит 2-3 °C.

4. В годовом разрезе отмечается уменьшение сумм осадков к концу столетия на станциях, расположенных в пустынных и полупустынных регионах. Зимний период обусловлен ростом сумм осадков, за исключением станций Кызылорда, Казалы. Такая тенденция характерна для гор и предгорья. Летом практически на всех станциях наблюдается снижение общего количества осадков, в особенности в засушливых регионах, достигая отрицательных значений. Учитывая, что в мае уже наблюдается спад значений с дальнейшим развитием в летние месяцы, стоит предположить, что засушливый период будет наблюдаться с мая по август. Такая ситуация благоприятна для засухи. Если в настоящее время период засушливости в южных регионах растет, то в будущем стоит ожидать еще большего роста. По жесткому сценарию SSP8.5 выпадение осадков заметно уменьшается в годовом разрезе, практически в 2 раза меньше в пустынных районах. Летний период будет крайне засушлив, даже в горных районах.

Полученные выводы являются основой для оценок воздействий изменения климата на климатозависимые отрасли экономики региона и позволяют выработать эффективные меры их адаптации. Это является первостепенной задачей для обеспечения водной и продовольственной безопасности Арало-Сырдаринского бассейна.

Финансирование. Исследование проводилось в рамках программы BR23791322 НТП «Научно-техническое обеспечение сохранения, воспроизводства и эффективного распределения водных ресурсов для обеспечения водной безопасности РК» по теме «Оценка и прогноз наличия ежегодно возобновляемых поверхностных водных ресурсов по годам различной водообеспеченности по всем водохозяйственным бассейнам Республики Казахстан».

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Национальная стратегия Республики Туркменистан об изменении климата https://www.undp.org/sites/g/files/zskgke326/files/migration/tm/undp-tm-NCCS_RUS.pdf
- [2] Национальное сообщение Туркменистана по Рамочной конвенции по изменению климата ООН (2012–2015 гг.) https://unfccc.int/sites/default/files/NDC/2023-01/NDC_Turkmenistan_12-05-2022_approv.%20by%20Decree_Rus.pdf
- [3] Bissenbayeva S., Abuduwaili J., Shokparova D., Saparova A. Variation in Runoff of the Arys River and Keles River Watersheds (Kazakhstan), as Influenced by Climate Variation and Human Activity/ Sustainability 2019, 11, 4788; doi:10.3390/su11174788
- [4] Сапарова А. А., Алимкулов С. К. Современное состояние водных ресурсов Арало-Сырдарьинского водохозяйственного бассейна и его антропогенное изменение // Вопросы географии и геоэкологии. – 2020. – Вып. 3. – С. 24-25.
- [5] Долгих С. А., Белдеубаев Е. Е., Турумова Г. Е. Ожидаемые изменения в режиме температуры в бассейне реки Амударья по данным модели СМIP6 к середине текущего столетия // География и водные ресурсы. – 2024. – Вып. 3. – С. 125-138.
- [6] Бурлибаев М.Ж., Сапарова А.А. Особенности минерализации казахстанской части реки Сырдарья // Гидрометеорология и экология. – 2022. – Вып. 1. – С. 115-128. DOI:10.54668/2789-6323-2022-104-1-115-128
- [7] Достай Ж.Д., Алимкулов С.К., Сапарова А.А. Оценка водных ресурсов на современном этапе развития Арало-Сырдарьинского природно-хозяйственного комплекса // Гидрометеорология и экология. – 2016. – Вып. 1. – С. 95-96.
- [8] Wu T., Song L., Li W., Wang Z., Zhang H., Xin X., ... Liu Y. (2014). An overview of BCC climate system model development and application for climate change studies // Journal of Meteorological Research, 28(1), 34-56.
- [9] Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) (Ed.), 2023. Climate Change Information for Regional Impact and for Risk Assessment, in: Climate Change 2021 // The Physical Science Basis: Working Group I Contribution to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press, Cambridge, pp. 1767-1926. <https://doi.org/10.1017/9781009157896.014>
- [10] Moss R. H., Edmonds J. A., Hibbard K. A., Manning M. R., Rose S. K., van Vuuren D. P., Wilbanks T. J. (2010). The next generation of scenarios for climate change research and assessment // Nature, 463(7282), 747-756.
- [11] База данных для открытого использования результатов наблюдений на метеорологических станциях РГП «Казгидромет»: https://meteo.kazhydromet.kz/database_meteo/
- [12] Закс Л. Статистическое оценивание. – М.: Статистика, 1976. – 598 с.
- [13] Европейский центр среднесрочных прогнозов погоды (ECMWF). (n.d.) // Copernicus Climate Data Store (CDS). – Retrieved from <https://cds.climate.copernicus.eu>
- [14] Eyring V., Bony S., Meehl G. A., Senior C. A., Stevens B., Stouffer R. J., Taylor K. E. (2016). Overview of the Coupled Model Intercomparison Project Phase 6 (CMIP6) experimental design and organization // Geoscientific Model Development, 9(5), 1937-1958.
- [15] Лобанов В. А., Наурызбаева Ж. К. О возможных изменениях толщины морского льда в Каспийском море в текущем столетии // Гидрометеорология и экология. Ученые записки РГГМУ. – 2021. – № 62. – С. 75-95. DOI:10.33933/2074-2762-2021-62-75-95
- [16] Zhanar Naurozbayeva, Aziza Baubekova, Anastasia Kvasha, Vladimir Lobanov, Bjorn Kløve, Ali Torabi Haghghi (2023) Determining factors for changes in the ice regime of the Caspian Sea // International Journal of Water Resources Development. DOI: 10.1080/07900627.2023.2231099 <https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/07900627.2023.2231099?tab=permissions&scroll=top&role=tab>
- [17] Лобанов В. А. Лекции по климатологии. Ч. 2. Динамика климата. Кн. 1. В 2 кн.: учебник. – СПб.: РГГМУ, 2016. – 332 с.
- [18] Климат Казахстана / Под ред. А. С. Утешева. – Л.: Гидрометеиздат, 1959. – 366 с.
- [19] Ежегодный бюллетень мониторинга изменения климата Казахстана 2023. – Астана: РГП «Казгидромет». – 65 с.
- [20] Наурызбаева Ж.К. Климатические характеристики осадков и температуры воздуха на территории Южного и Юго-Восточного Казахстана в тёплый период // Гидрометеорология и экология. – 2011. – Вып. 3. – С. 95-102.
- [21] 8-е Национальное сообщение и 5-й Двухгодичный доклад Республики Казахстан по Рамочной конвенции ООН об изменении климата. <https://ecogofond.kz/wp-content/uploads/2023/09/NDMJеK-1.2022.pdf>

REFERENCES

- [1] National Strategy of the Republic of Turkmenistan on Climate Change https://www.undp.org/sites/g/files/zskgke326/files/migration/tm/undp-tm-NCCS_RUS.pdf (in Russ.).
- [2] National Communication of Turkmenistan on the UN Framework Convention on Climate Change (2012-2015) https://unfccc.int/sites/default/files/NDC/2023-01/NDC_Turkmenistan_12-05-2022_approv.%20by%20Decree_Rus.pdf (in Russ.).
- [3] Bissenbayeva S., Abuduwaili J., Shokparova D., Saparova A. Variation in Runoff of the Arys River and Keles River Watersheds (Kazakhstan), as Influenced by Climate Variation and Human Activity/Sustainability 2019, 11, 4788; doi:10.3390/su11174788
- [4] Saparova A. A., Alimkulov S. K. The current state of water resources of the Aral-Syrdarya water basin and its anthropogenic change // Voprosy geografii i geoeologii. 2020. Issue 3. P. 24-25 (in Russ.).
- [5] Dolgikh S. A., Beldeubaev E. E., Turumova G. E. Expected changes in the temperature regime in the Amudarya river basin according to the CMIP6 model data by the middle of the current century // Geography and Water Resources. 2024. Issue 3. P. 125-138 (in Russ.).

- [6] Burlibayev M.J., Saparova A.A. Features of mineralisation of the Kazakh part of the Syrdarya River // Hydrometeorology and Ecology. 2022. Issue 1. P. 115-128. DOI:10.54668/2789-6323-2022-104-1-115-128 (in Russ.).
- [7] Dostay J.D., Alimkulov S.K., Saparova A.A. Assessment of water resources at the current stage of development of the Aral-Syrdarya natural-economic complex // Hydrometeorology and Ecology. 2016. Issue 1. P. 95-96 (in Russ.).
- [8] Wu T., Song L., Li W., Wang Z., Zhang H., Xin X., ... Liu Y. (2014). An overview of BCC climate system model development and application for climate change studies // Journal of Meteorological Research, 28(1), 34-56.
- [9] Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) (Ed.), 2023. Climate Change Information for Regional Impact and for Risk Assessment, in: Climate Change 2021 - The Physical Science Basis: Working Group I Contribution to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press, Cambridge, pp. 1767-1926. <https://doi.org/10.1017/9781009157896.014>. <https://doi.org/10.1017/9781009157896.014>.
- [10] Moss R. H., Edmonds J. A., Hibbard K. A., Manning M. R., Rose S. K., van Vuuren D. P., Wilbanks T. J. (2010). The next generation of scenarios for climate change research and assessment // Nature, 463(7282), 747-756.
- [11] Database for open use of the results of observations at meteorological stations of RSE 'Kazhydromet': https://meteo.kazhydromet.kz/database_meteo/ (in Russ.).
- [12] Zaks L. Statistical estimation. Moscow: Statistics, 1976. 598 c. (in Russ.).
- [13] European Centre for Medium-Term Weather Forecasts (ECMWF). (n.d.). Copernicus Climate Data Store (CDS). Retrieved from <https://cds.climate.copernicus.eu>
- [14] Eyring V., Bony S., Meehl G. A., Senior C. A., Stevens B., Stouffer R. J., Taylor K. E. (2016). Overview of the Coupled Model Intercomparison Project Phase 6 (CMIP6) experimental design and organisation // Geoscientific Model Development, 9(5), 1937-1958.
- [15] Lobanov V. A., Naurozbayeva Zh. K. On possible changes in sea ice thickness in the Caspian Sea in the current century // Hydrometeorology and Ecology. Scientific Notes of the Russian State Hydrometeorological University. 2021. No. 62. P. 75-95. DOI:10.33933/2074-2762-2021-62-75-95 (in Russ.).
- [16] Zhanar Naurozbayeva, Aziza Baubekova, Anastasia Kvasha, Vladimir Lobanov, Bjorn Kløve, Ali Torabi Haghighi (2023) Determining factors for changes in the ice regime of the Caspian Sea // International Journal of Water Resources Development. DOI: 10.1080/07900627.2023.2231099?tab=permissions&scroll=top&role=tab <https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/07900627.2023.2231099?tab=permissions&scroll=top&role=tab>
- [17] Lobanov V. A. Lectures on climatology. Ch. 2. Climate dynamics. Book 1. In 2 books: textbook. SPb.: RSHMU, 2016. 332 c. (in Russ.).
- [18] Climate of Kazakhstan / Edited by A. S. Uteshev. L.: Gidrometeoizdat. 1959. 366 c. (in Russ.).
- [19] Annual bulletin of climate change monitoring of Kazakhstan 2023. Astana: RGP 'Kazhydromet'. 65 c. (in Russ.).
- [20] Naurozbayeva J.K. Climatic characteristics of precipitation and air temperature on the territory of southern and southeastern Kazakhstan in the warm perio. // Hydrometeorology and ecology. 2011. Issue 3. P. 95-102 (in Russ.).
- [21] 8th National Communication and 5th Biennial Report of the Republic of Kazakhstan to the UN Framework Convention on Climate Change. <https://ecogofond.kz/wp-content/uploads/2023/09/NDMJek-1.2022.pdf>

**Ж. К. Наурызбаева*¹, Г. Е. Монкаева², М. А. Жунисова³,
Н. Е. Рахматулла⁴, Г. А. Еркінова⁵**

- ¹ PhD, Өңірлік климаттық өзгерістер зертханасының меңгерушісі
(«География және су қауіпсіздігі институты» АҚ, Алматы, Қазақстан; naurozbaeva.zhanar@mail.ru)
- ² Өңірлік климаттық өзгерістер зертханасының ғылыми қызметкері
(«География және су қауіпсіздігі институты» АҚ, Алматы, Қазақстан; gulsara.monkayeva@mail.ru)
- ³ Өңірлік климаттық өзгерістер зертханасының ғылыми қызметкері
(«География және су қауіпсіздігі институты» АҚ, Алматы, Қазақстан; makpal80@mail.ru)
- ⁴ Өңірлік климаттық өзгерістер зертханасының кіші ғылыми қызметкері,
(«География және су қауіпсіздігі институты» АҚ, Алматы, Қазақстан, nurkanat.rakhmatulla@mail.ru)
- ⁵ Өңірлік климаттық өзгерістер зертханасының жетекші инженері,
(«География және су қауіпсіздігі институты» АҚ, Алматы, Қазақстан; yerkinova.gaukhar@mail.ru)

СЫРДАРИЯ ӨЗЕНІНІҢ БАССЕЙІНІ БОЙЫНША ВСС-CSM1-2 КЛИМАТТЫҚ МОДЕЛІ АРҚЫЛЫ АУА ТЕМПЕРАТУРАСЫ МЕН ЖАУЫН-ШАШЫН ӨЗГЕРІСІНІҢ БОЛЖАМЫ

Аннотация. Сырдария өзені алабындағы ауа температурасы мен жауын-шашын режиміне 1941 жылдан 2021 жылға дейінгі кезеңге талдау жүргізілді, онда олардың өсу тенденциялары, қыста жауын-шашынның көбеюі және жазда аздап азаюы анықталды. 1961-1990 жж. базалық кезеңдегі ауа температурасының асып кетуі. 2,2 - 2,6°C болды, ал қазіргі кезең үшін 1991-2020 жж. 1 °C-тан жоғары, бұл Қазақстанның басқа аймақтарымен салыстырғанда жоғары. Сондай-ақ, жергілікті орографиялық жағдайларға егжей-тегжейлі және бейімделу негізінде CMIP6 ансамблінен қолайлы климаттық модельдерді таңдау бойынша аналитикалық жұмыстар жүргізілді. Зерттелетін аймақ үшін ең қолайлы модель қытайлық ВСС-CSM1-2 моделі болды. Модельдік нәтижелер бойынша ғасырдың соңына дейін температура мен жауын-шашынның күтілетін

өзгерістері анықталды. SSP-4.5 сценарийі бойынша қыста ауаның орташа температурасы -2,8-ден +1,5 °C-қа дейін, ал жазда 33,7 °C-қа дейін жетуі мүмкін. Жауын-шашын режимі де өзгереді, әсіресе қыста және наурызда жауын-шашынның ең көп мөлшері тау етегінде күтіледі, атап айтқанда сұйық жауын-шашын басым болады және жазық аймақта жылдың жылы жартысында айтарлықтай азаяды.

Түйін сөздер: Сырдария өзені алабы, климаттың өзгеруі, климаттық модельдер, ауа температурасы, жауын-шашын мөлшері

**Zh. K. Naurozbaeva^{*1}, G. E. Monkayeva², M. A. Zhunissova³,
N. E. Rakhmatulla⁴, G. A. Yerkinova⁵**

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; gulsara.monkayeva@mail.ru)

³ Research Associate, Regional Climate Change Laboratory

(JSC 'Institute of Geography and Water Security', Almaty, Kazakhstan; makpal80@mail.ru)

⁴ Junior Researcher, Regional Climate Change Laboratory,

(JSC 'Institute of Geography and Water Security', Almaty, Kazakhstan, nurkanat.rakhmatulla@mail.ru)

⁵ Lead Engineer, Regional Climate Change Laboratory,

(JSC 'Institute of Geography and Water Security', Almaty, Kazakhstan; yerkinova.gaukhar@mail.ru)

EXPECTED CHANGES IN AIR TEMPERATURE AND PRECIPITATION FROM THE BCC-CSM1-2 CLIMATE MODEL FOR THE SYRDARYA RIVER BASIN

Abstract. The air temperature and precipitation regime of the Syrdarya River basin for the period from 1941 to 2021 has been analysed, revealing increasing trends, and increasing precipitation in winter and insignificant decreases in summer. The excess of air temperature for the baseline period 1961-1990 was 2.2 - 2.6°C, and for the modern period 1991-2020 more than 1 °C, which is more in comparison with other regions of Kazakhstan. Also, the analytical work on selection of suitable climatic models from the CMIP6 ensemble was carried out based on detailing and adaptation to local orographic conditions. The Chinese model BCC-CSM1-2 turned out to be the most suitable model for the studied region. According to the model results, the expected temperature and precipitation changes until the end of the century are determined. According to the SSP-4.5 scenario, the average air temperature in winter may reach from 2.8 to +1.5 °C, and in summer up to 33.7 °C. The precipitation regime will also undergo changes, especially in winter and in March, the highest precipitation is expected in the foothills, with liquid precipitation predominating and a significant decrease in the warm half of the year in the plain area.

Keywords: Syrdarya river basin, climate change, climate models, air temperature, precipitation.

Опасные экзогеодинамические процессы Қауіпті экзогеодинамикалық процестер Dangerous exogeodynamic processes

<https://doi.org/10.55764/2957-9856/2025-1-125-139.12>

МРНТИ 39.03.15 39.00.00
УДК 910.3

Н. В. Попов¹, С. У. Ранова², А. Н. Камалбекова^{*3},
Ұ. Р. Алдаберген⁴, И. Б. Скоринцева⁵

¹ К. г. н., главный научный сотрудник (АО «Институт географии и водной безопасности», Алматы, Казахстан; popovn@mail.ru)

² К. г. н., руководитель лаборатории (АО «Институт географии и водной безопасности», Алматы, Казахстан; sandu2004@mail.ru)

^{3*} PhD докторант, младший научный сотрудник (КазНУ им. аль-Фараби, АО «Институт географии и водной безопасности», Алматы, Казахстан; aidana.kamalbekova@gmail.com)

⁴ PhD докторант, младший научный сотрудник (КазНУ им. аль-Фараби, АО «Институт географии и водной безопасности», Алматы, Казахстан; aldabergen_u@mail.ru)

⁵ Д. г. н., главный научный сотрудник (АО «Институт географии и водной безопасности», Алматы, Казахстан; skorintseva@mail.ru)

АНАЛИТИЧЕСКИЙ ОБЗОР ИССЛЕДОВАНИЙ ПРОРЫВНЫХ ГЛЯЦИАЛЬНЫХ СЕЛЕЙ В КАЗАХСТАНЕ

Аннотация. Активизация гляциальных селей в Казахстане во второй половине прошлого века на фоне деградации современного оледенения привлекла внимание ученых к этому природному феномену. Многочисленные обследования, проведенные по следам селевых катастроф, показали, что причиной возникновения большинства этих опасных природных явлений оказались прорывы ледниковых озер. Основной целью настоящего обзора является создание антологии исследований прорывных гляциальных селей, ретроспективный ситуационный и объектный анализы. Ситуационный анализ включал рассмотрение конкретных ситуаций, приведших к образованию катастрофических гляциальных селей, выстроенных в хронологическом порядке. Объектный анализ проводился по различным направлениям, где объектами послужили научные публикации результатов исследований, напрямую касающиеся генезиса ледниковых озер, их водного режима, строения озерных плотин, механизмов прорывов ледниковых озер, прогнозов и превентивных противо-селевых мероприятий. Показана важная роль исследований, оказавших фундаментальное воздействие на формирование и углубление знаний в этой специфической области наук о Земле.

Ключевые слова: прорывные гляциальные сели, ледниковые озера, деградация оледенения, современная морена, исследования, публикации.

Введение. Исследование прорывных гляциальных селей в Казахстане имеет продолжительную историю, охватывающую как досоветский период в начале XX века, советский период 1951–1991 годы, так и период независимости Казахстана с 1991 года. Понятие «прорывные гляциальные сели» объединяет ряд опасных природных процессов, обусловленных выбросом талых ледниковых вод, формирующих прорывные паводки, которые, при наличии сопутствующих условий, преобразуются в селевые потоки. Среди причин паводков выделяют выбросы талых вод в период максимального таяния ледников в период абляции и опорожнение внутрiledниковых емкостей, обычно скрытых в теле ледников и современных морен. Как правило, масштаб таких явлений незначителен при очень высокой повторяемости. Как показывает статистика, подавляющее число гляциальных селей было вызвано приведенными причинами. В то же время все случаи катастро-

фических гляциальных селей в Казахстане были вызваны прорывами ледниковых озер. Именно поэтому основное внимание в обзоре уделяется исключительно исследованиям прорывов ледниковых озер. Ареной проявления гляциальных селевых процессов стали горные регионы Иле (Заилийского) и Жетысу (Джунгарского) Алатау, где прорывы ледниковых озер привели к образованию выдающихся по масштабам воздействия катастрофических селевых потоков.

По мере накопления фактических данных, полученных в результате исследований, менялось научное осмысление роли ледниковых озер в формировании селевых катастроф. В начальный период изучения селевых потоков в Казахстане приоритет базовых процессов в формировании селей отдавался лишь сейсмическим воздействиям, снеготаянию и ливневым осадкам. Оценка реальной селевой опасности изменилась только после всплеска селевой активности в Иле Алатау во второй половине XX века.

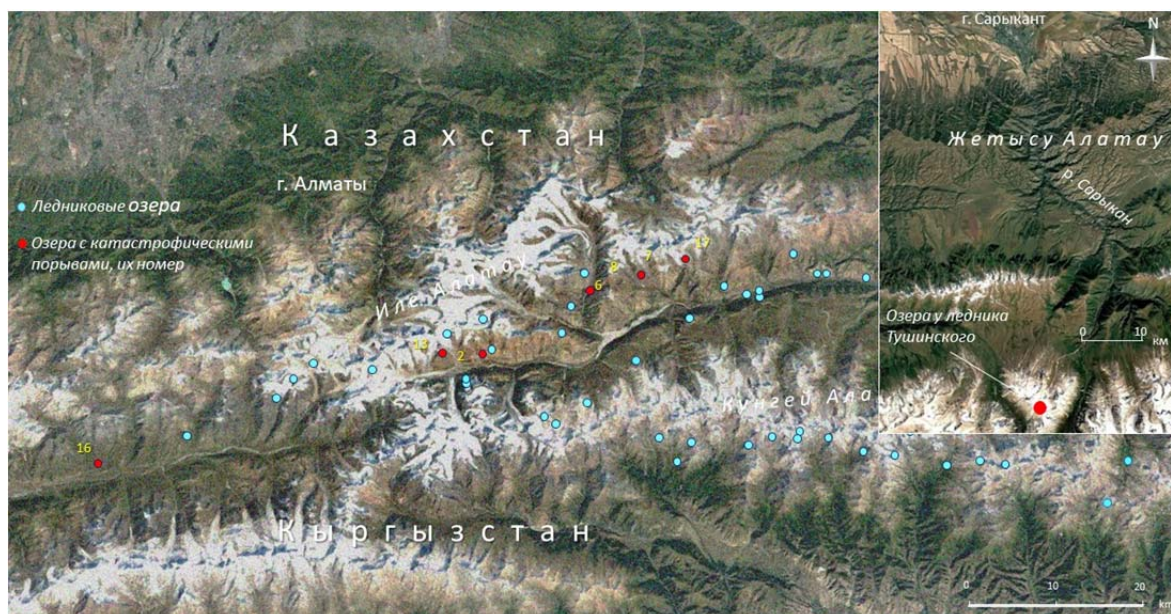
Из обширной массы опубликованного материала по теме исследования для анализа выделены основные работы, внесшие весомый вклад в обследование ледниковых озер, их классификацию, выявление особенностей строения озерных котловин и структуры водоудерживающих плотин, особенности водного режима, оценку и критерии прорывоопасности, механизмы прорывов водоемов. Данные наземных рекогносцировочных обследований, повторных инструментальных съемок ледниковых озер и непосредственные наблюдения за их прорывами позволили выявить связи между объемами прорывных паводков, максимальными прорывными расходами, а также максимальными расходами селей на выходе из селевых очагов (врезов).

Результаты исследований также подготовили обоснование для создания расчетных моделей катастрофических прорывов ледниковых озер. Помимо этого, дана характеристика исследований, касающихся прогнозирования прорывных гляциальных селей, а также обоснования превентивных мероприятий. Показана роль исследований в развитии специфической отрасли науки о селевых потоках, углублении знаний и понимания сложных процессов в гляциальной зоне Казахстана, запущенных изменением климатических условий и деградацией современного оледенения. В ходе подготовки обзора авторы придерживались хронологического подхода в оценке исследований. По мере накопления исходного материала, данных наблюдений происходила принципиальная корректировка общего понимания прорывных процессов, зачастую радикально меняющая общепринятые концепции формирования гляциальных селей в отдельные периоды времени.

Материалы и методы исследования. Настоящий обзор основан на результатах ретроспективного анализа научного материала, посвященного прорывным гляциальным селям Казахстана, и направлен на выявление вклада публикаций в развитие конкретных направлений исследований. Основной упор сделан на исследования прорывов ледниковых озер казахстанских ученых, результаты которых были опубликованы в научной литературе. Исходными данными при подготовке аналитического обзора послужили опубликованные в научных источниках результаты исследований ледниковых озер и прорывных гляциальных селей, проведенных в Казахстане с начала XX века. Статьи, посвященные указанной тематике, опубликованы в различных периодических научных изданиях: трудах институтов, журналах, сборниках, а также в монографиях, материалах научных совещаний, конференций и симпозиумов. Поскольку публикациям результатов исследований обычно предшествовали ведомственные рабочие отчеты, информационные записки, справки и другие материалы, хранящиеся в архивах соответствующих организаций, то некоторые из них также были использованы в настоящем обзоре. При подготовке обзора соблюдался хронологический подход при ситуационном и объектном анализе опубликованных материалов исследований. Ситуационный (ситуативный) анализ основан на рассмотрении конкретных селеопасных ситуаций, приведших к катастрофическим прорывным гляциальным селям. Объектный анализ проводился по отдельным направлениям исследований: генезис и эволюция ледниковых озер, классификация, гидрологический режим и механизмы формирования прорывных паводков, прогнозы, превентивные мероприятия, а также общее развитие знаний о прорывных гляциальных селях.

Настоящий обзор охватывает исследования прорывных гляциальных селей в Иле, большей частью и Жетысу Алатау (см. рисунок).

Место выбора исследований обусловлено тем, что указанные бассейны рек стали ареной развития гляциальных прорывных селей, повлекших огромные материальные ущербы и человеческие жертвы.



Район исследования. Отмечены места формирования катастрофических прорывных гляциальных селей в Иле и Жетысу Алатау (бассейн р. Сарыкан)

Research area. Marked are the locations of catastrophic glacial outburst debris flows formation in the Ile and Zhetysay Alatau (Sarykan River Basin)

Результаты и их обсуждение. В рамках настоящего обзора под определением «ледниковые озера» понимаются все водоемы, расположенные в гляциальной зоне, генетически связанные с современным оледенением. Прорыв озера здесь означает неординарное истечение водной массы из озерной котловины, которое при экстремально высоких параметрах потока формирует опасные прорывные волны.

В Казахстане термин «гляциальные сели» стал широко применяться в научной среде только во второй половине XX века и утвердился в отношении высокогорных селевых потоков [6]. До этого времени предполагалось, что преобладающая роль в формировании селей в условиях региона принадлежит дождям, обоснованием чему послужила селевая катастрофа 1921 г. в Алматы (Верный), вызванная интенсивным ливнем. Обзорная карта селеопасных территорий СССР, составленная в проблемной лаборатории снежных лавин и селей географического факультета МГУ в 1973-1974 гг., относит указанную территорию к «средней степени селеопасности». Считалось, что в Северном Тянь-Шане формировались только ливневые и талодождевые сели [17]. Позднее территория Иле Алатау перешла в категорию «высокой селеопасности» за счет активизации гляциальных селей.

На начальном этапе целью исследований было выявление участия ледниковых озер в формировании прошедших селевых потоков. Как правило, такие исследования ограничивались аэровизуальными или в лучшем случае наземными рекогносцировочными обследованиями. Результаты подобных исследований оформлялись в небольшие по объему информационные сообщения в периодических научных журналах или специализированных сборниках. В некоторых случаях отмечалось возможное участие прорывных озерных вод, что для большей основательности подкреплялось ссылками на другие селеобразующие факторы – опорожнение подледных/подземных емкостей, обрушение морены, выпадение «теплых» ливней на ледник. Ввиду того, что в большинстве случаев исследование ледниковых озер выполнялось в рамках общего обследования по следам прошедших селей, то морфометрические характеристики, количественные оценки образовавшихся прорывных паводков не определялись.

Впервые информация о наличии ледниковых озер в горах Иле Алатау появилась еще в первой половине XX века в результате исследований гляциологов [7, 8]. В силу своих относительно незначительных размеров ледниковые озера в тот период особого беспокойства не вызывали и воспринимались исследователями только как сопутствующий элемент гляциального рельефа.

Ледники тогда только перешли от стационарного состояния к отступанию, интенсивная деградация современного оледенения в явном виде еще не проявилась [9].

Ситуационный анализ исследований гляциальных прорывных селей в Иле и Жетысу Алатау представлен для каждого конкретного катастрофического прорывного гляциального селя в хронологическом порядке.

20 августа 1951 г. по реке К. Алматы прошел грязекаменный поток, разрушивший мосты, автодорогу и коммуникации в нижележащей долине. Селевой поток не вызвал разрушения в селитебной зоне города Алматы (Алма-Аты), но привлек к себе большое внимание, поскольку возник при ясной солнечной погоде, что само по себе казалось тогда фактом исключительным. Наземное рекогносцировочное обследование показало, что сель возник в результате прорыва небольшого озера у ледника Центральный Туйыксу (Туюксу), впоследствии получившего порядковый номер 2. Объем прорывного паводка оценен ориентировочно в 20 тыс. м³, максимальный прорывной расход – 15-18 м³/с, объем селевого потока – 200 тыс. м³ [55].

7 августа 1956 г. по той же р. К. Алматы прошел мощный селевой поток с расходом до 1000 м³/с и объемом 1,1 млн м³. Сель повлек значительный материальный ущерб, разрушил коммуникации, мосты, хозяйственные объекты. Мнения о причинах селевого потока среди исследователей разделились, что на страницах публикаций вылилось в продолжительную дискуссию. Ряд исследователей отмечал, что в формировании селя приняли участие прорывные воды из озера №2 у ледника Ц. Туйыксу. Другие, отмечая в целом недостаточный, по их мнению, объем озера (около 32 тыс. м³), в качестве основных причин указывали на излияние воды из внутриморенных (внутриледниковых) емкостей или обрушение морены. Количественные параметры прорыва озера и селевого потока получены визуально, без проведения геодезических съемок [2, 11, 13, 14, 18, 24].

6 июля 1958 г. в бассейне р. Есек сформировался селевой поток, достигший завального озера Иссык в среднегорной зоне. Сель отложился в вышележащей долине. Поскольку катастрофических последствий и разрушений в селитебной зоне селевой поток, объем которого первоначально был оценен в 0,14 млн м³, не повлек, то внимание к нему было минимальным, а причиной возникновения был просто назван ливень где-то в горах. Без внимания остались результаты наземного обследования УГМС Казахской ССР верховьев р. Есек, где у ледника Жарсай (правый) была обнаружена опустевшая котловина ледникового озера, впоследствии получившего порядковый номер 17. Максимальный расход прорывного паводка оценен в 150 м³/с. К сожалению, эти сведения были забыты и только через много лет повторный анализ исходных материалов позволил окончательно установить причины этого события и рассчитать объем селевого потока, составившего 2,0-4,0 млн м³ [2, 31, 32, 43].

7 июля 1963 г. в бассейне р. Иссык произошла выдающаяся по масштабу селевая катастрофа. Сель, образовавшийся в верховьях р. Жарсай, уничтожил высокогорное озеро Иссык, разрушил коммуникации, жилые и хозяйственные объекты в селе Иссык (позднее город Иссык), повлек многочисленные человеческие жертвы. Тогда возникли сложности при определении причин формирования катастрофического селевого потока. После проведенных аэровизуальных обследований, непосредственно после прохождения селя, в появившихся публикациях в качестве основной причины его формирования приводились выпадение интенсивного локального ливня (что не подтверждено данными), интенсивное таяние льда, обрушение (оползание) крупного массива увлажненного грунта фронтальной древней (верхнечетвертичной) морены ледников Жарсайской группы. Были указания на возможное участие озерных или ледниковых вод. Сотрудники УГМС КазССР провели наземное рекогносцировочное обследование и обнаружили опустевшую котловину озера у ледника Жарсай (правый), ту же, что и в 1958 г., открывшийся грот (вход в подледный туннель), по которому и была сброшена озерная вода в ходе прорыва.

Результаты обследования, включая фотоснимки, были включены в специальный отчет, позже переданный в архив организации. Несмотря на наличие прямого свидетельства прорыва ледникового озера, впоследствии получившего порядковый номер 17, мнение об оползневых или ливневых причинах Иссыкской селевой катастрофы в научных кругах и в прессе держалось в течение многих последующих лет. Основная причина такой ситуации – незначительный, по мнению исследователей, объем ледникового озера. Позднее были установлены количественные характеристики прорывного гляциального селя: объем прорывного паводка – 460 тыс. м³, максимальный расход селевого потока – 6,0-7,0 тыс. м³/с, объем – 5,8 млн м³ [2, 11, 12, 15, 32, 33, 43].

15 июля 1973 г. катастрофический селевой поток прошел по р. К. Алматы после прорыва озера №2 у ледника Ц. Туйыксу. Объем прорывного паводка оценен в 228 тыс. м³, максимальный прорывной расход составил 250-350 м³/с, максимальный расход селевого потока – до 10 тыс. м³/с, объем селя – 3, 8 млн м³. Сель причинил огромный материальный ущерб, повлек человеческие жертвы, что вызвало повышенный интерес к изучению ледниковых озер региона. По следам селя специалистами Сектора географии АН КазССР, УГМС КазССР и КазНИГМИ были проведены геодезические съемки опустевшей котловины озера №2 и селевого очага, выполнены расчеты основных характеристик селя. Публиковались разные значения максимальных расходов воды при прорыве озера, что объясняется расхождениями в данных геодезических съемок. В то же время мнение о причинах прорывного гляциального селя было единым, позднее оформленным различными публикациями [2, 4, 5, 39, 51, 52].

19 августа 1975 г. в верховьях реки Мынжылки (приток р. Кумбелсу) сформировался крупный селевой поток, разрушивший мосты и автодорогу в нижележащей долине реки У. Алматы. О причинах его образования единого мнения у исследователей не сложилось [1, 23, 40]. На фронтальном уступе современной морены у небольшого висячего ледника Кумбель вблизи перевала Молодежный образовался достаточно крупный врез (первичный селевой очаг) глубиной 5-7 м с вертикальными бортами, сложенными мерзлой породой. Утром на следующий день выше вреза обнаружено небольшое озеро №14 объемом 4000 м³. Было зафиксировано 15-сантиметровое понижение уровня воды в котловине. Также имело место небольшое поступление воды с ледника. Таким образом, объем воды в 150-200 м³ все-таки был сброшен во врез. Судя по всему, на фронтальном уступе плотины озера заложился талый массив, обводненный фильтрационными водами озера. Просадка талого участка вызвала дополнительный поверхностный сброс воды из озера и подвижку всего талого массива, объем которого и составил массу селевого потока в несколько десятков тысяч м³ с расходом до 300 м³/с в долине реки У. Алматы. На этом основании можно сделать вывод, что в условиях верховий реки Кумбелсу прорывы даже небольших по объему водоемов способны вызывать процессы селеобразования.

3 августа 1977 г. в долине р. Улкен Алматы сформировался катастрофический селевой поток, разрушивший мосты, коммуникации, автодорогу, ряд производственных, жилых объектов, повлекший человеческие жертвы. Импульсом к возникновению селевого потока послужил прорыв озера №13 у ледника Советов в бассейне р. Кумбелсу – правой составляющей р. У. Алматы. По следам селевого потока были проведены специализированные исследования УГМС КазССР и Казселезащитой, результаты которых позволили оценить количественные характеристики прорывного паводка и селевого потока. Прорыв озера произошел по прорану в талом массиве озерной плотины. Объем прорывного паводка составил 74,5-88,4 тыс. м³, максимальный прорывной расход – около 210 м³/с, максимальный расход селевого потока до – 11,0 тыс. м³/с, объем селя – от 2,5 до 3,2 млн м³. На озере в предыдущие годы выполнялись превентивные работы по снижению объема водной массы с 220 до 96,4 тыс. м³. Если в отношении причин возникновения селя у исследователей разногласий не было, то роль выполненных Казселезащитой превентивных мероприятий вызвала дискуссию. Наряду с положительным фактором общего снижения объема озера №13 существовало мнение о провоцировании прорыва превентивными мероприятиями [1, 10, 41, 42].

21 июня 1979 г. в долине р. Орталык Талгар сформировался прорывной гляциальный сель. По следам селевого потока Казселезащитой и Казгидрометом выполнено специализированное обследование, позволившее установить причину, основные параметры прорывного паводка и селевого потока. Сель возник в результате прорыва ранее не известного озера, расположенного у ледника Спортивный. Объем прорывного паводка составил 82,0 тыс. м³, максимальный прорывной расход – 15 м³/с, максимальный расход селя – 340 м³/с, объем селя – 140 тыс. м³. Обращает на себя внимание кажущееся противоречие между достаточно большим объемом прорывного паводка и небольшим объемом вызванного им селевого потока. Во всех других случаях объемы гляциальных селей намного превышали объемы прорвавшихся озер. Здесь же главной причиной, существенно снизившей размах селевых процессов, оказалось слабое увлажнение участка горного склона долины, который в силу местных особенностей оказался вне зоны воздействия основных фильтрационных потоков с ледников. Дата прохождения этого Талгарского селя является самой ранней для документированных гляциальных селей Иле и Жетысу Алатау. Несмотря на относительно

незначительные масштабы явления, сель нанес большой ущерб, полностью разрушив известный альплагерь «Талгар», действовавший с 1937 г. Из 24 строений 21 здание лагеря оказалось полностью разрушенным. Только благодаря своевременному оповещению удалось избежать человеческих жертв [1, 57].

Селевой поток 23 июля 1980 г. в бассейне р. Каскелен в ряду катастроф Иле Алатау занимает особое место благодаря не только удачному прогнозу прорыва, но и своевременно принятым мерам, что позволило существенно снизить его негативные последствия. Важно отметить неординарность события. Характер рельефа убедительно показывает, что по меньшей мере в течение последних нескольких тысяч лет крупных селевых явлений здесь не было. Исследования выявили, что 23 июля 1980 г. прорвалось ледниковое озеро №16, ранее не входившее в число опасных, поскольку его котловина пустовала. По данным прямых наблюдений за падением уровня воды в озере было установлено, что максимальный прорывной расход воды достигал $23 \text{ м}^3/\text{с}$. Объем прорывного паводка составил 220 тыс. м^3 . Прорвавшаяся после открытия грота озерная вода нашла выход на фронтальном откосе современной морены в 230 м от озерной котловины и на 20 м ниже максимального уровня заполнения озера.

Формирование селевого потока происходило на левом склоне долины ниже на высотах от 2700 до 3000 м над уровнем моря на участке древней морены. Максимальный расход селевого потока составил $510 \text{ м}^3/\text{с}$, а его объем оценен в 1,5 – 2,0 млн м^3 . В результате селя пострадали участки автодорог, мосты в долине р. Каскелен, дачные участки, отдельные хозяйственные объекты, удалось избежать главного – гибели людей. Событие сопровождалось комплексом своевременно принятых мер, включая краткосрочный прогноз прорыва озера, информирование заинтересованных органов об угрозе гляциального селя, а также проведением мероприятий по подготовке гидротехнических сооружений, коммуникаций и эвакуации населения из опасной зоны. После 1980 г. озеро №16 еще дважды прорывалось по аналогичной схеме без катастрофических последствий, при разных уровнях заполнения котловины [28, 36, 45, 46, 58].

В ночь с 8 на 9 сентября 1982 г. по р. Сарыкан (Сарканд) в Жетысу Алатау прошел катастрофический гляциальный селевой поток. Сель возник в результате последовательного прорыва трех озер, расположенных у ледника Тушинский. Максимальный прорывной расход ниже озер оценен в $290 \text{ м}^3/\text{с}$. Максимальный расход селевого потока в долине р. Сарыкан составил $2300 \text{ м}^3/\text{с}$, объем селевого потока – 2 млн м^3 . В 45 км от прорвавшихся озер, в черте города Сарыканд, сель прошел с расходом $350 \text{ м}^3/\text{с}$. В результате под воздействие селя попало более 400 жилых домов, некоторые были разрушены полностью. Пострадали мосты, автодороги, водохозяйственные и коммуникационные объекты. Только благодаря своевременному оповещению и эвакуации населения из опасной зоны человеческих жертв удалось избежать [1, 26, 28, 54].

06.07.1993 г. в 9 ч 20 мин в бассейне реки Орта Талгар в результате прорыва озера, расположенного у ледника Солнечный, сформировался грязекаменный селевой поток 1-й категории. Событие не было связано с какими-то особенностями текущей гидрометеорологической обстановки (высокий температурный фон, интенсивное таяние снега, ливневые осадки). Прорыв озера № 9 произошел из-за вскрытия подземных каналов стока, причем поверхность озера на 60% была покрыта массами плавающего снега. Формирование селевого потока началось на уступе современной морены, однако основной набор рыхлообломочного материала происходил ниже – в селевом очаге, сформированном на крутом уступе более древней морены. В русло реки Орта Талгар селевой поток вышел в 1,5 км ниже гидропоста «Альплагерь» (бывшая база альпинистов «Талгар»). По визуальной оценке, максимальные расходы потока приближались к $1000 \text{ м}^3/\text{с}$. На момент прорыва в котловине озера скопилось не многим более 100 тыс. м^3 воды. По оставленным меткам в русле максимальный расход прорыва не превышал 10 - 15 $\text{м}^3/\text{с}$, однако этого оказалось достаточно, чтобы сформировать селевой поток на выходе из очага, на два порядка превышающий характеристики водного паводка. По материалам экспедиционного обследования, выполненного в этом же году специалистами Казгидромета, объем рыхлообломочного материала, вынесенного непосредственно из очага, составлял 1,4 млн м^3 , а максимальный расход селя в створе уничтоженного РОС «Правый Талгар-дубль» достигал $1340 \text{ м}^3/\text{с}$. Основная масса селя (около 2 млн м^3) отложилась не доходя до города Талгара (в котловине строящейся противоселевой плотины), а в городской черте максимальные расходы селевого потока не превышали $30 \text{ м}^3/\text{с}$.

Селевой поток нанес ощутимый ущерб: ниже слияния притоков Он и Орта Талгар уничтожены или занесены участки автодороги общей протяженностью около 3 км, поврежден обводной канал Талгарской ГЭС, головное сооружение его полностью занесено селевыми отложениями; снесено несколько опор ЛЭП. На участке от устья реки Орта Талгар до строящейся плотины уничтожено 15 км (две нитки по 7,5 км) трубопровода питьевого водоснабжения, что вызвало перебои в обеспечении водой города и близлежащих населенных пунктов [1, 48].

17.07.2014 г. в бассейне р. Орта Талгар прошел селевой поток 2-й категории. По данным Института географии, селевой поток образовался в результате прорыва термокарстового моренного озера, расположенного на современной, насыщенной льдом морене, на высоте 3420 м под ледником Солнечный. Это озеро уже прорывалось в 1993 г., что привело к образованию катастрофического селя. В процессе опорожнения уровень воды в озере понизился ориентировочно на 4 м. Прорыву озера предшествовали дожди и повышенный температурный фон в высокогорье. По данным наблюдателей Казселезащиты, водоем освободился от зимнего льда к 30 июня, на уровнях воды ниже отметок перелива. Прорыв озера произошел из-за вскрытия внутриморенных каналов стока, при этом в отличие от 1993 года озерная котловина не была наполнена до максимальных отметок, поэтому сформировавшийся селевой поток имел меньшие численные значения. Озеро опорожнилось по подземному ледовому тоннелю длиной 1500 м. Выходное отверстие тоннеля находилось на высоте 3180 м в вершине эрозионного вреза, образованного селом 1993 г.

23 июля 2015 г. в бассейне р. Каргалы Иле Алатау сформировался гляциальный селевой поток, причиной которого послужил прорыв ранее не известного озера, расположенного у ледника Каргалинский. Прорыв озера произошел в ночь с 22 на 23 июля по подземным каналам стока в массиве современной морены. Максимальный прорывной расход составил около 5 м³/с, объем прорывного паводка оценен в 260 тыс. м³. У плотины-селеуловителя, устроенной на выходе реки из гор, объем селевых отложений – около 150 тыс. м³. Конструкция плотины с водосбросными сооружениями не обеспечила полного задержания селевого потока. Жидкая составляющая селя, грязевая суспензия, сбрасывалась ниже плотины по руслу р. Каргалы, где за счет размыва русловых отложений и обрушений бортов сформировался обогащенный наносами вторичный селевой паводок с расходами 15-30 м³/с. В результате прохождения селя в городе Алматы пострадали сотни жилых строений, мосты и пешеходные переходы, коммуникационные объекты. Было эвакуировано более 1000 человек. На ликвидацию последствий прохождения селя потребовалось более 2 млрд тенге [27].

Объектный анализ исследований прорывных гляциальных селей в Иле и Жетысу Алатау ориентирован на такие направления научной деятельности, как специализированные наземные обследования и инструментальные, включая дистанционные, методы измерения, генезис и эволюция ледниковых озер, классификация, водный режим, механизмы прорывов, прогнозы гляциальных селей и превентивные мероприятия.

Наземные обследования ледниковых озер с геодезическими и батиметрическими съёмками на отдельных водоёмах впервые выполнены селевой гидрографической партией УГМС КазССР в 1967-1969 гг. На северном склоне Иле Алатау в междуречье Узункаргалы – Есек выявлено 128 озер, из которых к категории «потенциально селеопасных» отнесено 18 объектов, по которым проверены геодезические и батиметрические съёмки. По остальным озерам инструментальные измерения не осуществлялись. Данные инвентаризации помещены только в ведомственный отчет и, к сожалению, нигде позже не публиковались. В 1970-х годах отдельные исследования также выполнялись Сектором (позднее институтом) географии и Институтом геологических наук АН КазССР. Исследования опасных ледниковых озер продолжились Казселезащитой после создания этой организации в 1973 г. Результаты таких исследований размещены в ведомственных отчетах по паспортизации ледниковых озер. Далее работы по инвентаризации ледниковых озер проводились также Институтом географии с использованием методов дистанционного зондирования, космических снимков, современного инструментария и программного обеспечения. Это позволило осуществлять наблюдение только в Иле Алатау за более чем 160 ледниковыми озерами, из которых 15 отнесены к категории прорывоопасных [16, 28, 30, 33, 34, 59].

Результаты обследований позволили изучить генезис и эволюцию ледниковых озер. Было показано, что возникновение ледниковых озер тесным образом связано с деградацией современного оледенения, выразившейся в сокращении линейных размеров ледниковых языков, росте

современных морен с погребенными линзами льда. Следуя за отступающими ледниками, на освобожденных ото льда участках, в образовавшихся понижениях (котловинах), возникли водоемы. Озера интенсивно развивались, наращивали водную массу за счет увеличения размеров котловин, процессов термокарста и таяния открытого льда на контакте с озерной водой. Этот процесс установлен многочисленными повторными инструментальными съемками ледниковых озер и отмечается как характерный признак прорывоопасности многими исследователями [2, 16, 21, 28, 34, 38, 44].

Вопросы классификации (типизации) ледниковых озер также находились в центре внимания исследователей. Если на начальном этапе чаще всего озера в целом именовались «моренными», то по мере накопления данных обследований типизация озер в гляциальной зоне детализировалась и усложнялась. По месту расположения водных объектов выделялись ледниковые, наледниковые, подпруженные ледником, приледниковые, перигляциальные, приледниково-западинные, каровые, моренные, моренно-ледниковые, западинные, подпруженные современной мореной озера, озера вне и на путях стока с ледника. Учет процессов озерообразования позволил выделить также термокарстовые или провальные озера [21, 28, 44, 46, 47, 51, 56, 59].

Изучение данных инструментальных измерений (геодезические и батиметрические съемки), аэрофото- и спутниковых съемок, а также непосредственные прямые наблюдения за прорывами ледниковых озер позволили установить зависимости между основными морфометрическими характеристиками ледниковых озер (линейными размерами, площадями и объемами воды массы). Полученные формулы эмпирических связей сделали возможным дистанционное определение объемов озер, без непосредственного проведения инструментальных измерений. Другим важным результатом исследований стало установление эмпирической связи объема ледникового озера и максимального прорывного расхода. Полученные значения характеристик прорывных паводков (объем, пиковый расход истечения, время опорожнения) различаются в зависимости от типа озер и механизма прорыва (поверхностный по открытому ледовому каналу, по прорану в талых массивах, по гrotам или подземным ледовым туннелям). Расчеты по полученным эмпирическим формулам подтверждаются данными зарубежных исследователей и способствуют объективной оценке прорывоопасности ледниковых озер [16, 19, 22, 28, 43, 46, 59].

Изучение результатов обследований следов гляциальных селей, наблюдения за водным режимом озер и формированием прорывных паводков позволили из общей массы ледниковых озер выделить стационарные и нестационарные озера. Эти водные объекты радикально отличаются характером наполнения котловин, временем существования и механизмами опорожнений. Также предложено классифицировать ледниковые озера по степени их прорывоопасности. Выделяются прорывоопасные, непрорывоопасные и потенциально прорывоопасные озера [21, 26, 44].

Проведенные исследования, натурные наблюдения за формированием прорывных гляциальных селей, количественные параметры, характеризующие экстремальное опорожнение ледниковых озер, послужили базой для разработки расчетных моделей прорывных гляциальных паводков. Предложены модели прорыва ледниковых озер через ледовую плотину, через гrot (подземные каналы стока), через проран в теле озерной плотины [2, 19, 22, 26, 59].

Селевые катастрофы обусловили необходимость развития такого направления исследований, как прогнозирование прорывных гляциальных селей. Базой для разработки методов прогноза гляциальных селей стали сведения, полученные прежде всего в результате обследований по следам селевых катастроф в Иле Алатау. Анализ публикаций по указанной теме показывает, что по мере накопления знаний процессов селеобразования в гляциальной зоне происходила трансформация методов и подходов к прогнозированию этого явления. В качестве прогностических явлений, способствовавших прорывам ледниковых озер, для фонового прогноза гляциальных селей на начальном этапе предлагались такие предикторы, как высота снеговой линии и температура воздуха за определенный период. Впоследствии количество метеорологических предикторов выросло, в методике была включена высота «0» изотермы, сумма атмосферных осадков, средние температуры за июль-август за 5 предшествующих лет, а также расход воды по характерной горной реке за предшествующую декаду. Предлагалось также в качестве предиктора использовать расхождение в текущих значениях объема стока соседних рек с ледниковым питанием, указывающее на скопление талых вод во внутриледниковых или внутриморенных емкостях. В качестве прогнозного признака предлагалось использовать выявленные особенности водного режима

нестационарных ледниковых озер, само появление которых расценивается как предвестник скорого прорыва [2, 6, 13, 14, 16, 20, 38, 43, 45, 53].

Опыт исследований ледниковых озер позволил также приступить к разработке превентивных противоселевых мероприятий на опасных ледниковых озерах. Работы по предупреждению возможных прорывов ледниковых озер были развернуты Казселезащитой в Иле и Жетысу Алатау, в результате которых объемы десятков водных объектов были существенно снижены. Рекомендованы и впоследствии реализованы следующие инженерные мероприятия: откачка озерных вод с помощью сифонов или насосов; понижение гребня перелива сливного русла в плотинах фронтальных морен с использованием ручного труда, доступной техники или взрывчатых веществ; устройство гидротехнических шлюзов для контроля водного стока; создание обустроенных эвакуационных каналов в теле озерных плотин; контролируемое опорожнение озера по открытому ледовому каналу; защитные меры для предотвращения аварийного сброса озерных вод. Превентивные мероприятия для снижения прорывоопасности ледниковых озер требуют особой осторожности и научного сопровождения в ходе выполнения работ [11, 26, 28, 44, 46].

Заключение. Следует отметить определяющую роль авторов в создании теоретической базы проведенного по обозначенной теме исследования. Впервые создан инструмент системного ретроспективного анализа исследований прорывных гляциальных селей в Казахстане. Это позволило выделить из общей массы опубликованные работы, характеризующиеся ситуационным и объектным анализами. Ситуационный анализ основан на рассмотрении конкретных селеопасных ситуаций, приведших к катастрофическим прорывным гляциальным селям. Объектный анализ проводился по отдельным направлениям исследований, включающий генезис и эволюцию ледниковых озер, классификацию, гидрологический режим и механизмы формирования прорывных паводков, прогнозы, превентивные мероприятия, а также общее развитие знаний о прорывных гляциальных селях. В базу данных выполненного исследования вошли работы, в различной мере способствовавшие развитию науки о селях. Важно, что по мере сбора информации о причинах и последствиях прорывов ледниковых озер менялось также и понимание процессов формирования гляциальных селей.

Ситуационный и объектный анализы исследований прорывных гляциальных селей в Иле и Жетысу Алатау позволяют сделать следующие основные выводы.

Исследования прошедших гляциальных селей показали, что причиной селевых катастроф стали прорывы ледниковых озер, которые воспринимались ранее лишь как сопутствующий элемент гляциального рельефа. Возникновение ледниковых озер обусловлено деградацией современного оледенения в регионе, перешедшей в активную фазу в конце XIX – начале XX века.

В начальный период, вплоть до конца 1960-х годов, исследования ограничивались проведением аэровизуальных наблюдений или наземных рекогносцировочных обследований района возникновения селей без точных инструментальных измерений и были направлены на выявление роли возможных прорывов ледниковых озер в условиях доминирования концепции ливневых или оползневых факторов селеобразования гляциальных селей. Количественные характеристики как прорывных паводков, так и самих гляциальных селей носили весьма приближенный характер, так как назначались визуально.

Специализированные обследования ледниковых озер с включением геодезических и батиметрических работ позволили получить важные количественные характеристики прорывных паводков и катастрофических гляциальных селей.

Исследования установили факты определяющей роли прорывов ледниковых озер в возникновении селевых катастроф в регионе, что привело к изменению устоявшейся концепции формирования гляциальных селей за счет ливней, оползней в зоне верхнечетвертичных морен и выбросов воды из внутриледниковых емкостей. Следует отметить, что устоявшееся мнение сильно влияет на объективную оценку селеопасной ситуации. Так, при обследовании ледниковых озер в верховьях р. Жарсай в 1967-1969 гг. специалисты УГМС КазССР пропустили самое опасное в бассейне озеро №17, ранее вызвавшее катастрофические гляциальные сели 1958, 1963 гг. и которое никакого интереса у исследователей не вызвало, так как котловина у ледника Жарсай (правый) в момент обследования была пуста.

Инвентаризация (паспортизация) ледниковых озер, повторные инструментальные измерения обеспечили накопление морфометрических характеристик озер, что позволило изучить их эволю-

цию, выявить динамику изменения основных параметров озерных котловин. Установлено, что по мере увеличения размеров озерных котловин и объемов водной массы ледниковых озер нарушается устойчивость вододерживающих плотин, формируются ослабленные участки фронтальных морен с тальми массивами, растет интенсивность термокарстовых процессов, что ведет к росту прорывоопасности озер.

Непосредственные наблюдения за прорывами ледниковых озер и формированием прорывных гляциальных селей позволили выделить различные механизмы опорожнения озерных котловин: подземным путем по каналам стока (гротам, ледовым туннелям), поверхностным путем по открытым ледовым каналам и проранам в тальных массивах. Наиболее опасными являются прорывы ледниковых озер, происходящих подземным путем и поверхностным за счет образования прорана в ослабленной плотине озера.

Данные гидрометрических режимных наблюдений на озерах гляциальной зоны, отличия в морфометрии озерных котловин, структуре вододерживающих плотин и механизмах прорывов способствовали созданию классификаций ледниковых озер Казахстана.

Важным этапом исследований ледниковых озер стала разработка прогнозов прорывных гляциальных селей. Фоновые краткосрочные прогнозы ориентированы на выявление селеопасных ситуаций на обширной территории, без указания точного места возможных прорывов. Использование текущей гидрометеорологической информации обеспечило их применение в практической деятельности для объявления селеопасной обстановки с учетом складывающихся погодных условий и ограничения доступа населения в опасные зоны. Долгосрочным прогнозом прорывных гляциальных селей являются обнаружение в результате инвентаризации (паспортизации) прорывоопасных ледниковых озер, их картирование и оценка возможных прорывных характеристик.

Важным направлением исследований стала разработка рекомендаций и предложений по снижению/ликвидации опасности прорывов ледниковых озер путем превентивных мероприятий. Многие методы, предложенные казахстанскими исследователями, нашли практическое применение. В арсенале Казселезащиты – снижение горизонта заполнения ледниковых озер путем контролируемого сброса ледниковых озер с использованием энергии воды по открытым ледовым и ледово-мёрзлым каналам, откачка озерных вод сифонами и насосами, устройство эвакуационных каналов для сброса озерных вод с использованием инженерных механизмов, энергии взрывов. Поскольку выполнение работ на плотинах ледниковых озер сопряжено с определенным риском, то огромное значение приобретают рекомендованные защитные меры по предупреждению роста эрозии в каналах и контролю сбрасываемых расходов. Накопленный опыт исследований позволяет перейти к разработке нормативных документов, регламентирующих превентивные работы на ледниковых озерах.

Ретроспективный взгляд на исследования ледниковых озер в Казахстане показал, что они оказали большое влияние в целом на корректировку концепции формирования гляциальных селей, внесли весомый вклад в понимание прорывных явлений, расширили и углубили знания о селевых процессах в гляциальной зоне. Применение современных дистанционных методов мониторинга ледниковых озер, нового инструментария и программных продуктов позволит вывести исследования прорывных гляциальных селей на новый уровень, соответствующий международному научному опыту.

Финансирование. Исследование выполнено при финансовой поддержке Комитета науки Министерства науки и высшего образования Республики Казахстан по теме «Научно-прикладное обоснование селе-, оползне- и лавинобезопасности в горных районах Иле и Жетысу Алатау Республики Казахстан». Программно-целевое финансирование № BR21881982.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Бижанов Н. К., Виноходов В. Н., Кулмаханов Ш. К., Нурланов М. Т. Безопасность и контроль гляциальных селей в Казахстане. – Алматы: Гылым, 1998. – 102 с.
- [2] Виноградов Ю. Б. Гляциальные прорывные паводки и селевые потоки. – Алматы: Гидрометеиздат, 1997. – 156 с.
- [3] Гидрографическое описание озера Иссык. Отчет УГМС КазССР. Фонды УГМС КазССР, 1963.
- [4] Голубов Р. С. Метеорологические условия формирования селевого потока 15 июля 1973 г. // Селевые потоки. – 1976. – № 1. – С. 73-74.
- [5] Голубович В. А. О причинах прорыва озера №2 на Туяксуйской морене 15 июля 1973 г. // Метеорология и гидрология. – 1976. – № 12. – С. 103-105.

- [6] Горбунов А. П. Гляциальные сели и пути их прогноза // Труды КазНИГМИ. – 1971. – Вып. 51. – С. 45-56.
- [7] Городецкий В. Д. Ледники рек Б. и М. Алматинки в хребте Заилийского Алатау // Известия Туркестанского отдела Русского географического общества. – 1918. – Т. XIV, № 1.
- [8] Дмитриев С. Е. Ледники в верховьях р. Малой Алматинки (Туюксу) в Заилийском Алатау, близ г. Верного // Известия Туркестанского отдела Русского географического общества. – 1907. – Т. VI.
- [9] Дмитриев С. Е. Отчет о поездке к истокам р. Чилик (Тау-Чилик) в 1910 г. // Известия Туркестанского отдела Русского географического общества. – 1913. – Т. IX.
- [10] Докладная записка об условиях формирования и прохождения селевого потока в басс. р. Большая Алматинка в период 3-4 августа 1977 г. Управление гидрометслужбы Казахской ССР. г. Алма-Ата, 7 с. (от 18 августа 1977 г. № РК-2-78).
- [11] Дуйсенов Е. Д. Селевые потоки в Заилийском Алатау. – Алма-Ата, 1971. – 192 с.
- [12] Земс А. Э. Некоторые количественные характеристики Жарсайского селя 1963 г. на р. Иссык // Селевые потоки. – М., 1976. – № 1. – С. 75-85.
- [13] Кавецкий С. П., Смирнов И. П. Селевые потоки неливневого происхождения // Труды КазНИГМИ. – 1957. – Вып. 9. – С. 43-52.
- [14] Кавецкий С. П., Гулина В. Р. Сели в районе ледников, возможность прогноза и борьба с ними // Материалы гляциологических исследований. – 1964. – Вып. 9. – С. 99-102.
- [15] Кавецкий С. П., Калмыкина Е. М. Сель на реке Иссык 7 июля 1963 года // Вестник МГУ, серия V, география. – 1964. – № 2. – С. 77-80.
- [16] Капица В. П., Шахгеданова М. В., Усманова З. С., Северский И. В., Благовещенский В. П., Касаткин Н. Е. Ледниковые озера Иле (Заилийского) Алатау: состояние, современные изменения, вероятные риски // Геориск. – 2018. – Т. XII, № 3. – С. 68-78.
- [17] Карта селеопасных районов СССР. ГУГК, 1975.
- [18] Качалов Д. А. О грязекаменном потоке и опыте организации информационно-предупредительной службы // Материалы IV Всесоюзной конференции по селевым потокам. – Алма-Ата, 1959. – С. 32-39.
- [19] Керемкулов В. А., Цукерман И. Г. Модель катастрофического опорожнения озера через проран в теле перемычки, сложенной рыхлообломочными породами // Селевые потоки. – М.: Гидрометеиздат, 1984. – № 8. – С. 92-108.
- [20] Керемкулов В. А., Киренская Т. Л. О прогнозировании прорыва моренных озер // Селевые потоки. – М.: Гидрометеиздат, 1985. – № 9. – С. 84-92.
- [21] Керемкулов В. А. Морфометрические характеристики и классификация моренных озер // Селевые потоки. – М., 1985. – № 9. – С. 36-47.
- [22] Керемкулов В. А., Цукерман И. Г. Модель опорожнения моренного озера через грот // Селевые потоки. – М.: Гидрометеиздат, 1985. – № 9. – С. 59-70.
- [23] Киренская Т. Л., Степанов Б. С., Хонин Р. В. Селевой поток в бассейне Большая Алматинка 19 августа 1975 г. // Селевые потоки. – 1977. – № 2. – С. 115-119.
- [24] Колотилин Н. Ф. Геологические условия образования некоторых селей локального проявления (на примере селевого потока в долине р. Малой Алматинки 7 августа 1956 г.) // Материалы IV Всесоюзной конференции по селевым потокам. – Алма-Ата: Изд. АН КазССР, 1959. – С. 40-51.
- [25] Литовченко А. Ф. Катастрофический селевой паводок на р. Иссык // Метеорология и гидрология. – 1964. – № 4. – С. 39-42.
- [26] Медеу А.Р. Селевые явления Юго-Восточного Казахстана. Основы управления. – Алматы, 2011. – Т. 1. – 284 с.
- [27] Медеу А. Р., Киренская Т. Л., Благовещенский В. П., Аскарлова М. А. Гляциальный селевой поток в бассейне реки Каргалы (Иле Алатау) 23 июля 2015 г. // Вопросы географии и геоэкологии. – Алматы, 2015. – № 4. – С. 73-79.
- [28] Медеу А. Р., Баймолдаев А. Т., Киренская Т. Л. Селевые явления Юго-Восточного Казахстана // Антология селевых явлений и их исследования. – Алматы, 2016. – Т. 4, ч. 1. – 576 с.
- [29] Осипова Н. А., Казанников С. М. Оценка объемов выноса рыхлообломочного материала из бассейна р. Кумбельсу селем 1977 г. // Селевые потоки. – М.: Гидрометеиздат, 1982. – № 6. – С. 81-83.
- [30] Отчет УГМС КазССР. Обзор селевой деятельности северного склона Заилийского Алатау за 1955-1959 гг. – 1960. – 186 с.
- [31] Отчет УГМС КазССР. Гидрографическое описание озера Иссык. – 1963.
- [32] Отчет УГМС КазССР. Результаты рекогносцировочного наземного обследования реки Жарсай. – 1963.
- [33] Отчет УГМС КазССР. Отчет по произведенному обследованию высокогорных и завальных озер в горах Заилийского Алатау за 1967-1969 годы. – Алма-Ата, 1969. – 186 с.
- [34] Отчет о результатах паспортизации моренных озер Заилийского Алатау. Казселезащита при Совете Министров Казахской ССР, Эксплуатационно-техническое управление связи. – Алма-Ата, 1980. – 66 с.
- [35] Отчет Казселезащиты. Анализ состояния селеопасных моренных озер Заилийского Алатау и предложения по их мелиорации. – Алма-Ата, 1983. – 42 с.
- [36] Отчет Казселезащиты. Прорыв моренного озера №16 и прохождение селевого потока в бассейне р. Каскелен 5 июля 1986 года. – Алма-Ата, 1987. – 14 с.
- [37] Обследование следов селевого потока 6.07.1993 г. в бассейне р. Талгар: Технический отчет за 1993 год Управления по гидрометеорологии при КМ РК, комплексная гидрологическая экспедиция. – Алматы, 1994. – 69 с.
- [38] Плеханов П. А. Гляциальные сели Заилийского Алатау и возможности их прогноза: Дис. ... к. г. н. – Алма-Ата, 1984.
- [39] Плеханов П. А., Судаков П. А., Токмагамбетов Г. А. Причины образования и процессы формирования селевого потока на р. Малая Алматинка 15 июля 1973 г. // Вестник АН КазССР. – 1975. – № 4. – С. 24-25.

- [40] Плеханов П. А. Гляциальный селя 19 августа 1975 г. в бассейне р. Б. Алматинки // Снежные лавины и ледники Казахстана. – Алма-Ата, 1977. – С. 144-154.
- [41] Попов В. И., Степанов Б. С., Мочалов В. П., Хонин Р. В., Марков И. Н., Голубович В. А., Бекаревич В. Е. Селевые явления 3-31 августа 1977 г. в бассейне р. Большая Алматинка // Селевые потоки. – М.: Гидрометеоздат, 1980. – № 4. – С. 57-63.
- [42] Попов Н. В. Селевые явления 3–31 августа 1977 г. в бассейне р. Б. Алматинка // XV Всесоюзная научно-техническая конференция по противоселевым мероприятиям: тезисы докладов, 27–28 сентября 1978 г. – Ташкент, 1978. – Вып. 1.
- [43] Попов Н. В. Количественная оценка и причины формирования селей в бассейне реки Жарсай. – Алма-Ата: Казахстан, 1981. – С. 158-166.
- [44] Попов Н. В. О селеопасных озерах гляциальной зоны Заилийского Алатау // Проблемы противоселевых мероприятий. – Алма-Ата: Казахстан, 1984. – С. 96-105.
- [45] Попов Н. В. О гляциальном селевом потоке 23 июля 1980 года в бассейне реки Каскелен Заилийского Алатау // Проблемы противоселевых мероприятий. – Алма-Ата: Казахстан, 1984. – С. 222-230.
- [46] Попов Н. В. О методах борьбы с гляциальными селями прорывного характера // Противоселевые мероприятия. – Алма-Ата: Казахстан, 1986. – С. 56-62.
- [47] Попов Н. В. Особенности морфометрии приледниковых и моренных озер в Заилийском Алатау // Противоселевые мероприятия. – Алма-Ата: Казахстан, 1988. – С. 31-37.
- [48] Справка о прохождении селевого потока по р. Талгар 6 июля 1993 г.: Оперативная информация ГДП ПО «Казселезащита», Минтрансстрой РК. – 1993.
- [49] Тихомиров Ю. П., Шевырталов Е. П. Некоторые характеристики гляциального селя, прошедшего в бассейне р. Сарканд // Селевые потоки. – М.: Гидрометеоздат, 1985. – № 9. – С. 132-138.
- [50] Токмагамбетов Г. А. Ледники Заилийского Алатау. – Алма-Ата: Наука, 1976. – 367 с.
- [51] Токмагамбетов Г. А., Судаков П. А., Плеханов П. А. Гляциальные сели Заилийского Алатау и пути их прогноза // МГИ: Хроника обсуждения. – 1980. – Вып. 39. – С. 97-101.
- [52] Флейшман С. М., Моссаковская И. А., Перов В. Ф. Алматинский селя 15 июля 1973 г. // Вестник МГУ, серия V, география. – 1974. – № 2. – С. 35-39.
- [53] Фононый прогноз гляциальных селей: методическое руководство. – Алма-Ата: Наука, 1985. – 61 с.
- [54] Хегай А. Ю., Анищенко А. П., Шушарин В. И. Селевые потоки в Заилийском и Джунгарском Алатау (бассейны рек Иссык и Сарканд) в 1982 г. Проблемы противоселевых мероприятий. – Алма-Ата: Казахстан, 1984. – С. 231-236.
- [55] Черкасов П. А. Грязекаменный поток в долине Малой Алматинки // Изв. АН КазССР. Серия геол. – Вып. 16, № 121. – С. 118-120.
- [56] Шатравин В. Н., Ставицкий Я. С. Методические основы выявления селеформирующих факторов при детальном обследовании высокогорных озер // Селевые потоки. – № 8. – С. 83-92.
- [57] Шушарин В. И., Попов Н. В. Развитие селевого потока в бассейне р. Средний Талгар // Проблемы противоселевых мероприятий. – Алма-Ата, 1981. – С. 153-157.
- [58] Энгельс А. А., Белецкий А. Я. Инженерно-геологические особенности моренного озера №16 в бассейне р. Каскелен // Селевые потоки. – 1985. – № 9. – С. 138-143.
- [59] Akhmetkal R. Medeu, Nikolay V. Popov, Viktor P. Blagovechshenskiy, Maulken A. Askarova, Alikhan A. Medeu, Sandugash U. Ranova, Aidana Kamalbekova, Tobias Bolch. Moraine-dammed glacial lakes and threat of glacial debris flows in South-East Kazakhstan // Earth-Science Reviews. – 2022. – Vol. 229. – 103999. <https://doi.org/10.1016/j.earscirev.2022.103999>

REFERENCES

- [1] Bizhanov N. K., Vinohodov V. N., Kulmakhanov Sh. K., Nurlanov M. T. Safety and control of glacial mudflows in Kazakhstan. Almaty: Gylym, 1998. 102 p. (in Russ.).
- [2] Vinogradov Yu. B. Glacial breakthrough floods and mudflows. Almaty: Hydrometeoizdat, 1997. 156 p. (in Russ.).
- [3] Hydrological description of Issyk Lake // Report of UGMS KazSSR. UGMS KazSSR Archives, 1963 (in Russ.).
- [4] Golubov R. S. Meteorological conditions of the formation of the mudflow on July 15, 1973 // Mudflows. 1976. No. 1. P. 73-74 (in Russ.).
- [5] Golubovich V. A. On the causes of the breakthrough of Lake No. 2 on the Tuyuksu moraine on July 15, 1973 // Meteorology and Hydrology. 1976. No. 12. P. 103-105 (in Russ.).
- [6] Gorbunov A. P. Glacial mudflows and ways to predict them // Proceedings of KazNIGMI. 1971. Issue 51. P. 45-56 (in Russ.).
- [7] Gorodetsky V. D. Glaciers of the Bolshaya and Malaya Almatinka rivers in the Zailiysky Alatau ridge // Proceedings of the Turkestan Branch of the Russian Geographical Society. 1918. Vol. XIV, No. 1 (in Russ.).
- [8] Dmitriev S. E. Glaciers in the upper reaches of the Malaya Almatinka River (Tuyuksu) in Zailiysky Alatau, near the city of Verny // Proceedings of the Turkestan Branch of the Russian Geographical Society. 1907. Vol. VI (in Russ.).
- [9] Dmitriev S. E. Report on the trip to the sources of the Chilik River (Tau-Chilik) in 1910 // Proceedings of the Turkestan Branch of the Russian Geographical Society. 1913. Vol. IX (in Russ.).
- [10] Memorandum on the conditions of formation and passage of the mudflow in the Bolshaya Almatinka River basin from August 3-4, 1977 // Hydrometeorological Service Administration of the Kazakh SSR. Alma-Ata, 7 p. (August 18, 1977, No. RK-2-78). (in Russ.).
- [11] Duisenov E. D. Mudflows in Zailiysky Alatau. Alma-Ata, 1971. 192 p. (in Russ.).
- [12] Zems A. E. Some quantitative characteristics of the Zharsai mudflow of 1963 on the Issyk River // Mudflows. M., 1976. No. 1. P. 75-85 (in Russ.).

- [13] Kavetsky S. P., Smirnov I. P. Mudflows of non-rainfall origin // Proceedings of KazNIGMI. 1957. Issue 9. P. 43-52 (in Russ.).
- [14] Kavetsky S. P., Gulina V. R. Mudflows in glacier areas, possibility of prediction and control // Materials of glaciological research. M., 1964. Issue 9. P. 99-102 (in Russ.).
- [15] Kavetsky S. P., Kalmykina E. M. Mudflow on the Issyk River on July 7, 1963 // Bulletin of Moscow State University. Series V, Geography. 1964. No. 2. P. 77-80 (in Russ.).
- [16] Kapitsa V. P., Shakhgedanova M. V., Usmanova Z. S., Seversky I. V., Blagoveshchensky V. P., Kasatkin N. E. Glacial lakes of the Ile (Zailiysky) Alatau: state, current changes, probable risks // Georisk. 2018. Vol. XII, No. 3. P. 68-78 (in Russ.).
- [17] Map of mudflow-prone areas of the USSR. GUGK, 1975. (in Russ.).
- [18] Kachalov D. A. On debris flows and the experience of organizing an information-warning service // Materials of the IV All-Union Conference on Mudflows. Alma-Ata, 1959. P. 32-39 (in Russ.).
- [19] Keremkulov V. A., Tsukerman I. G. Model of catastrophic lake drainage through a breach in a dam composed of loose detrital material // Mudflows. M.: Hydrometeoizdat, 1984. No. 8. P. 92-108 (in Russ.).
- [20] Keremkulov V. A., Kirenskaya T. L. On the prediction of moraine lake breakthroughs // Mudflows. M.: Hydrometeoizdat, 1985. No. 9. P. 84-92 (in Russ.).
- [21] Keremkulov V. A. Morphometric characteristics and classification of moraine lakes // Mudflows. M., 1985. No. 9. P. 36-47 (in Russ.).
- [22] Keremkulov V. A., Tsukerman I. G. Model of moraine lake drainage through a grotto // Mudflows. M.: Hydrometeoizdat, 1985. No. 9. P. 59-70 (in Russ.).
- [23] Kirenskaya T. L., Stepanov B.S., Khonin R. V. Midflow in the Bolshaya Almatynka basin on August 19, 1975 // Mudflows. 1977. No. 2. P. 115-119.
- [24] Kolotilin N. F. Geological conditions of the formation of certain local mudflows on the example of the mudflow in the valley of the Malaya Almatinka River on August 7, 1956 // Materials of the IV All-Union Conference on Mudflows. Alma-Ata: Publishing House of the Academy of Sciences of the Kazakh SSR, 1959. P. 40-51 (in Russ.).
- [25] Litovchenko A. F. Catastrophic mudflow flood on the Issyk River // Meteorology and Hydrology. 1964. No. 4. P. 39-42 (in Russ.).
- [26] Medeu A. R. Mudflow phenomena in Southeastern Kazakhstan. Fundamentals of management. Almaty, 2011. Vol. 1. 284 p. (in Russ.).
- [27] Medeu A. R., Kirenskaya T. L., Blagoveshchensky V. P., Askarova M. A. Glacial mudflow in the Kargaly River basin (Ile Alatau) on July 23, 2015 // Questions of Geography and Geoecology. Almaty, 2015. No. 4. P. 73-79 (in Russ.).
- [28] Medeu A. R., Baymoldaev A. T., Kirenskaya T. L. Mudflow phenomena in Southeastern Kazakhstan // Anthology of mudflow phenomena and their studies. Almaty, 2016. Vol. 4, part 1. 576 p. (in Russ.).
- [29] Osipova N. A., Kazannikov S. M. Assessment of the volume of loose debris material removal from the Kumbelsu River basin by the 1977 mudflow // Mudflows. Moscow, Hydrometeoizdat, 1982. No. 6. P. 81-83 (in Russ.).
- [30] Report of the Hydrometeorological Service of the Kazakh SSR. Overview of mudflow activity on the northern slope of the Zailiysky Alatau for 1955-1959. 1960. 186 p. (in Russ.).
- [31] Report of the Hydrometeorological Service of the Kazakh SSR. Hydrographic description of Issyk Lake/ 1963 (in Russ.).
- [32] Report of the Hydrometeorological Service of the Kazakh SSR. Results of reconnaissance ground survey of the Zharsay River. 1963 (in Russ.).
- [33] Report of the Hydrometeorological Service of the Kazakh SSR. Report on the survey of high-mountain and dammed lakes in the Zailiysky Alatau mountains for 1967-1969. Alma-Ata, 1969. 186 p. (in Russ.).
- [34] Report on the results of passportization of moraine lakes in the Zailiysky Alatau. Kazselezashchita under the Council of Ministers of the Kazakh SSR, Operational and Technical Communication Management. Alma-Ata, 1980. 66 p. (in Russ.).
- [35] Report of Kazselezashchita. Analysis of the condition of hazardous moraine lakes in the Zailiysky Alatau and proposals for their reclamation. Alma-Ata, 1983. 42 p. (in Russ.).
- [36] Report of Kazselezashchita. Breakthrough of moraine lake No. 16 and passage of the mudflow in the Kaskelen River basin on July 5, 1986. Alma-Ata, 1987. 14 p. (in Russ.).
- [37] Examination of traces of the mudflow on July 6, 1993, in the Talgar River basin: Technical report for 1993 of the Hydrometeorological Administration under the Cabinet of Ministers of the Republic of Kazakhstan, comprehensive hydrological expedition. Almaty, 1994. 69 p. (in Russ.).
- [38] Plekhanov P. A. Glacial mudflows of the Zailiysky Alatau and possibilities of their prediction. Dis. ... Candidate of Geographical Sciences. Alma-Ata, 1984 (in Russ.).
- [39] Plekhanov P. A., Sudakov P. A., Tokmagambetov G. A. Causes of formation and processes of development of the mudflow on the Malaya Almatinka River on July 15, 1973 // Bulletin of the Academy of Sciences of the Kazakh SSR. 1975. No. 4. P. 24-25 (in Russ.).
- [40] Plekhanov P. A. Glacial mudflow on August 19, 1975, in the Bolshaya Almatinka River basin // Snow Avalanches and Glaciers of Kazakhstan. Alma-Ata, 1977. P. 144-154 (in Russ.).
- [41] Popov V. I., Stepanov B. S., Mochalov V. P., Khonin R. V., Markov I. N., Golubovich V. A., Bekarevich V. E. Mudflow events from August 3 to 31, 1977, in the Bolshaya Almatinka River basin // Mudflows. Moscow: Hydrometeoizdat, 1980. No. 4. P.57-63 (in Russ.).
- [42] Popov N. V. Mudflow events from August 3 to 31, 1977, in the Bolshaya Almatinka River basin // XV All-Union Scientific and Technical Conference on Mudflow Protection Measures: Abstracts of Reports, September 27-28, 1978. Tashkent, 1978. Issue 1 (in Russ.).
- [43] Popov N. V. Quantitative assessment and causes of mudflow formation in the Zharsay River basin. Alma-Ata: Kazakhstan, 1981. P. 158-166 (in Russ.).

- [44] Popov N. V. On hazardous glacial lakes in the Zailiysky Alatau // Problems of Mudflow Protection Measures. Alma-Ata: Kazakhstan, 1984. P. 96-105 (in Russ.)
- [45] Popov N. V. On the glacial mudflow of July 23, 1980, in the Kaskelen River basin of the Zailiysky Alatau // Problems of Mudflow Protection Measures. Alma-Ata: Kazakhstan, 1984. P. 222-230 (in Russ.)
- [46] Popov N. V. On methods of combating breakthrough-type glacial mudflows // Mudflow Protection Measures. Alma-Ata: Kazakhstan, 1986. P. 56-62 (in Russ.)
- [47] Popov N. V. Features of the morphometry of proglacial and moraine lakes in the Zailiysky Alatau // Mudflow Protection Measures. Alma-Ata: Kazakhstan, 1988. P. 31-37 (in Russ.)
- [48] Report on the passage of the mudflow in the Talgar River on July 6, 1993: Operational information of GDP PO "Kazselezashchita", Ministry of Transport and Construction of the Republic of Kazakhstan, 1993 (in Russ.)
- [49] Tikhomirov Yu. P., Shevyrtalov E. P. Some characteristics of the glacial mudflow that occurred in the Sarkan River basin // Mudflows. Moscow: Hydrometeoizdat, 1985. No. 9. P. 132-138 (in Russ.)
- [50] Tokmagambetov G. A. Glaciers of the Zailiysky Alatau. Alma-Ata: Nauka, 1976. 367 p. (in Russ.)
- [51] Tokmagambetov G. A., Sudakov P. A., Plekhanov P. A. Glacial mudflows of the Zailiysky Alatau and methods for their prediction // MGI: Discussion Chronicle. 1980. Issue 39. P. 97-101 (in Russ.)
- [52] Fleishman S. M., Mossakovskaya I. A., Perov V. F. The Almaty mudflow of July 15, 1973 // Bulletin of Moscow State University, Series V, Geography. 1974. No. 2. P. 35-39 (in Russ.)
- [53] Background forecast of glacial mudflows: methodological guide. Alma-Ata: Nauka, 1985. 61 p. (in Russ.)
- [54] Hegay A. Yu., Anishchenko A. P., Shusharin V. I. Mudflows in the Zailiysky and Dzhungarian Alatau (basins of the Issyk and Sarkan rivers) in 1982 // Problems of Mudflow Protection Measures. Alma-Ata: Kazakhstan, 1984. P. 231-236 (in Russ.)
- [55] Cherkasov P. A. Debris-mudflow in the Malaya Almatinka valley // Izvestiya of the Academy of Sciences of the Kazakh SSR. Geological Series. Issue 16, No. 121. P. 118-120 (in Russ.)
- [56] Shatravin V. N., Stavitsky Ya. S. Methodological foundations for identifying mudflow-forming factors during detailed surveys of high-mountain lakes // Mudflows. No. 8. P. 83-92 (in Russ.)
- [57] Shusharin V. I., Popov N. V. Development of the mudflow in the Sredny Talgar River basin // Problems of Mudflow Protection Measures. Alma-Ata, 1981. P.153-157 (in Russ.)
- [58] Engels A. A., Beletsky A. Ya. Engineering-geological features of moraine lake No. 16 in the Kaskelen River basin // Mudflows. 1985. No. 9. P. 138-143 (in Russ.)
- [59] Akhmetkal R. Medeu, Nikolay V. Popov, Viktor P. Blagovechshenskiy, Maulken A. Askarova, Alikhan A. Medeu, Sandugash U. Ranova, Aidana Kamalbekova, Tobias Bolch. Moraine-dammed glacial lakes and threat of glacial debris flows in South-East Kazakhstan // Earth-Science Reviews. 2022. Vol. 229. 103999. <https://doi.org/10.1016/j.earscirev>

Н. В. Попов¹, С. У. Ранова², А. Н. Камалбекова^{*3}, Ү. Р. Алдаберген⁴, И. Б. Скоринцева⁵

¹ Г. ғ. к., бас ғылыми қызметкер («География және су қауіпсіздігі институты» АҚ, Алматы, Қазақстан; popovn@mail.ru)

² Г. ғ. к., табиғи қауіп-қатерлер зертханасының жетекшісі

(«География және су қауіпсіздігі институты» АҚ, Алматы, Қазақстан; sandu2004@mail.ru)

^{3*} PhD докторант, кіші ғылыми қызметкер (Әл-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университеті, «География және су қауіпсіздігі институты» АҚ, Алматы, Қазақстан; aidana.kamalbekova@gmail.com)

⁴ PhD докторант, кіші ғылыми қызметкер (Әл-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университеті, «География және су қауіпсіздігі институты» АҚ, Алматы, Қазақстан; aldabergen_u@mail.ru)

⁵ Г. ғ. д., бас ғылыми қызметкер («География және су қауіпсіздігі институты» АҚ, Алматы, Қазақстан; skorintseva@mail.ru)

ҚАЗАҚСТАНДАҒЫ СЕРПІНДІ ГЛЯЦИАЛДЫ СЕЛДЕРДІҢ ЗЕРТТЕУЛЕРІНЕ АНАЛИТИКАЛЫҚ ШОЛУ

Аннотация. Өткен ғасырдың екінші жартысында қазіргі мұзданудың деградациялануы нәтижесінде, Қазақстандағы гляциалды селдердің жандануы ғалымдардың назарын осы табиғи құбылысқа аударды. Сел апаттарының іздері бойынша жүргізілген көптеген зерттеулер осы қауіпті табиғи құбылыстардың көпшілігінің себебі мұздық көлдердің жарылуы екенін көрсетті. Осы шолудың негізгі мақсаты серпінді гляциалды сел зерттеулерінің антологиясын құру, ретроспективті, ситуациялық және объектілік талдаулар жүргізу болып табылады. Ситуациялық талдау хронологиялық тәртіпте құрылған апатты гляциалды сел түзілуіне әкелетін нақты жағдайларды қарастыруды қамтыды. Объектілік талдау әртүрлі зерттеу бағыттары бойынша жүргізілді, онда объектілер мұздық көлдердің генезисіне, олардың су режиміне, көл бөгеттерінің құрылымына, мұздық көлдердің серпілу механизмдеріне, болжамдарға және қоныстануға қарсы профилактикалық іс-шараларға тікелей қатысты зерттеу нәтижелерінің ғылыми жарияланымдары болды. Жер туралы ғылымдардың осы нақты саласындағы білімді қалыптастыруға және тереңдетуге түбегейлі әсер еткен зерттеулердің маңызды рөлі көрсетілген.

Түйінді сөздер: серпінді гляциалды сел, мұздық көлдер, мұзданудың деградациясы, қазіргі морена, зерттеулер, басылымдар.

N. V. Popov¹, S. U. Ranova², A. N. Kamalbekova^{*3}, U. R. Aldabergen⁴, I. B. Skorintseva⁵

¹ Candidate of geographical sciences, Chief Researcher (JSC "Institute of Geography and Water Security", Almaty, Kazakhstan; *popovn@mail.ru*)

² Candidate of geographical sciences, Head of the Laboratory of Natural Hazards (JSC "Institute of Geography and Water Security", Almaty, Kazakhstan; *sandu2004@mail.ru*)

^{3*} PhD student, junior researcher (Al-Farabi Kazakh national university, JSC "Institute of Geography and Water Security", Almaty, Kazakhstan; *aidana.kamalbekova@gmail.com*)

⁴ PhD student, junior researcher (Al-Farabi Kazakh national university, JSC "Institute of Geography and Water Security", Almaty, Kazakhstan; *aldabergen_u@mail.ru*)

⁵ Doctor of geographical sciences, Chief Researcher (JSC "Institute of Geography and Water Security", Almaty, Kazakhstan; *skorintseva@mail.ru*)

ANALYTICAL REVIEW OF RESEARCH ON GLACIAL LAKE OUTBURST FLOODS IN KAZAKHSTAN

Abstract. The intensification of glacial lake outburst floods (GLOFs) in Kazakhstan during the second half of the last century, against the backdrop of modern glacier degradation, has drawn significant attention from researchers to this natural phenomenon. Numerous surveys conducted in the aftermath of debris flow disasters have shown that the majority of these hazardous natural events were caused by the outbursts of glacial lakes. The primary aim of this review is to create an anthology of research on GLOFs through retrospective, situational and object-based analyses. The situational analysis considered specific events that led to catastrophic GLOFs, arranged in chronological order. The object-based analysis was carried out in various research directions, with the focus on scientific publications that directly addressed the genesis of glacial lakes, their water regimes, the structure of lake dams, the mechanisms of glacial lake outbursts, as well as forecasts and preventive measures against debris flows. The review highlights the significant role of research that has fundamentally contributed to the development and deepening of knowledge in this specific field of Earth sciences.

Keywords: glacial lake outburst floods (GLOFs), glacial lakes, glacier degradation, modern moraine, research, publications.

Рекреационная география и туризм

Рекреациялық география және туризм

Recreational geography and tourism

<https://doi.org/10.55764/2957-9856/2025-1-140-152.13>

МРНТИ 39.03.15, 87.29.35
УДК 911.9, 502.5

К. Б. Егембердиева*¹, А. Г. Валеев², Ю. А. Юшина³, И. Б. Скоринцева⁴

¹* К. г. н., руководитель лаборатории геотуризма и геоморфологии (АО «Институт географии и водной безопасности», Алматы, Казахстан; kamshat.yegemberdiyeva@gmail.com)

² PhD, старший научный сотрудник лаборатории геотуризма и геоморфологии (АО «Институт географии и водной безопасности», Алматы, Казахстан; adiletv@gmail.com)

³ Научный сотрудник лаборатории геотуризма и геоморфологии (АО «Институт географии и водной безопасности», Алматы, Казахстан; yushinayukz@gmail.com)

⁴ Д. г. н., ассоциированный профессор, главный научный сотрудник лаборатории ландшафтоведения и проблем природопользования (АО «Институт географии и водной безопасности», Алматы, Казахстан; skorintseva@mail.ru)

ОЦЕНКА РЕКРЕАЦИОННОЙ НАГРУЗКИ НА ТУРИСТСКИЕ МАРШРУТЫ И БЕРЕГОВЫЕ ЛИНИИ ОЗЕР ГНПП «БУРАБАЙ»

Аннотация. В последние годы в Государственном национальном природном парке «Бурабай» (далее ГНПП «Бурабай») наблюдается значительное увеличение рекреационной нагрузки, что оказывает негативное влияние на экосистемы территории. В связи с этим становится актуальным проведение оценки воздействия рекреационной нагрузки на туристские маршруты и береговые линии озёр ГНПП «Бурабай», что позволит выработать рекомендации для минимизации экологических последствий и обеспечения устойчивого развития туризма. Цель работы заключается в проведении мониторинга рекреационной нагрузки на туристские маршруты и береговые линии озёр ГНПП «Бурабай» с целью оценки их экологического состояния. Методы исследования включают мониторинг посетительской нагрузки и экологического состояния почвенно-растительного покрова. Оценка фактической рекреационной нагрузки проводилась с использованием формулы среднесезонной посещаемости и экспертного анализа. Фактическая нагрузка на озёра была определена на основе данных, полученных с помощью беспилотного летательного аппарата. Качественная оценка состояния пляжей позволила определить коэффициенты для расчёта рекреационной ёмкости. Результаты работы продемонстрировали превышение норм рекреационной нагрузки на туристских маршрутах от 35 до 186 раз. Были выявлены участки с интенсивным развитием эрозионных процессов. Использование фактических данных позволило представить локализованную оценку состояния береговых линий озёр на 2024 год. Также была описана степень дигрессии растительности на туристских тропах и побережьях озёр ГНПП «Бурабай». Установлено превышение рекреационной нагрузки на береговую линию в пиковый период. Наибольшие нагрузки зафиксированы на озёрах Шортанды и Улкен Шабакты. Полученные результаты создают основу для разработки мероприятий по сохранению экосистем и оптимизации рекреационной нагрузки в ГНПП «Бурабай». Область применения результатов исследования охватывает экологический менеджмент, устойчивый туризм и природоохранную деятельность на территории ГНПП «Бурабай».

Ключевые слова: туристские маршруты, озёра, фактическая рекреационная нагрузка, мониторинг, допустимая рекреационная нагрузка.

Введение. Рекреационная нагрузка имеет два аспекта: количественный и качественный. В количественном аспекте рассматриваемого показателя должны быть отражены количество рекреантов в единицу времени на единице площади. Качественный аспект фокусируется на

анализе ландшафтной и функционально-хозяйственной структуры территории. Это природные и антропогенные ландшафтные комплексы, созданные (или преобразованные) и управляемые с целью выполнения рекреационных функций. Некоторые лимитирующие факторы рекреационной деятельности (санитарные и охранные зоны, объекты природно-заповедного фонда, местообитания редких видов растений и животных и прочее) могут существенно снижать допустимые нагрузки или полностью исключать их [1].

Любая оценка рекреационной нагрузки должна основываться на данных рекреационного мониторинга. Результаты мониторинговых исследований позволяют оценить состояние туристско-рекреационного потенциала территории на данный момент времени и выявить комплекс факторов, угрожающих его снижению [2].

В 2024 году была проведена научно-исследовательская работа, ориентированная на изучение рекреационной нагрузки на туристские маршруты и озера в рамках реализации проекта «Разработать мероприятия по Проекту «Восстановление и сохранение экосистемы ГНПП «Бурабай». Результаты этого исследования фактической рекреационной нагрузки представлены в данной статье, что позволяет более точно оценить текущее состояние экосистемы, а также выработать практические рекомендации по ее сохранению и восстановлению.

В ходе рекогносцировки было обследовано 7 туристских маршрутов ГНПП «Бурабай». В рамках маршрутов были выделены географические объекты с высокой рекреационной плотностью посещений, что связано с их исключительной аттрактивностью. Эти объекты, ставшие визитной карточкой ГНПП «Бурабай», являются обязательными для посещения как туристами, следующими по маршрутам, так и путешественниками, движущимися самостоятельно. Популярность отдельных географических объектов оказывает прямое влияние на уровень рекреационной нагрузки. В связи с этим было принято решение о приоритетной оценке количественных и качественных рекреационных нагрузок на географические объекты с высокой плотностью посещений.

Озёра ГНПП «Бурабай» обладают высоким туристско-рекреационным потенциалом благодаря живописным ландшафтам. Уникальное сочетание гор, лесов и озёр создаёт высокую аттрактивность территории. Развитая дорожная инфраструктура повышает доступность природных объектов и способствует увеличению туристских потоков. Линейный тренд, построенный на основе официальных данных ГНПП «Бурабай» и опубликованных материалов о посещаемости, демонстрирует стабильную положительную динамику туристического потока (рисунок 1) [3]. С начала 2024 года территорию парка посетило на 15% туристов больше аналогичного периода прошлого года (более 578 тысяч человек) [4].

Определение рекреационной нагрузки на туристские маршруты и озера особо охраняемых природных территорий (ООПТ) является одним из основных инструментов регулирования туристских потоков и планирования туристско-рекреационной деятельности на этих территориях [5].

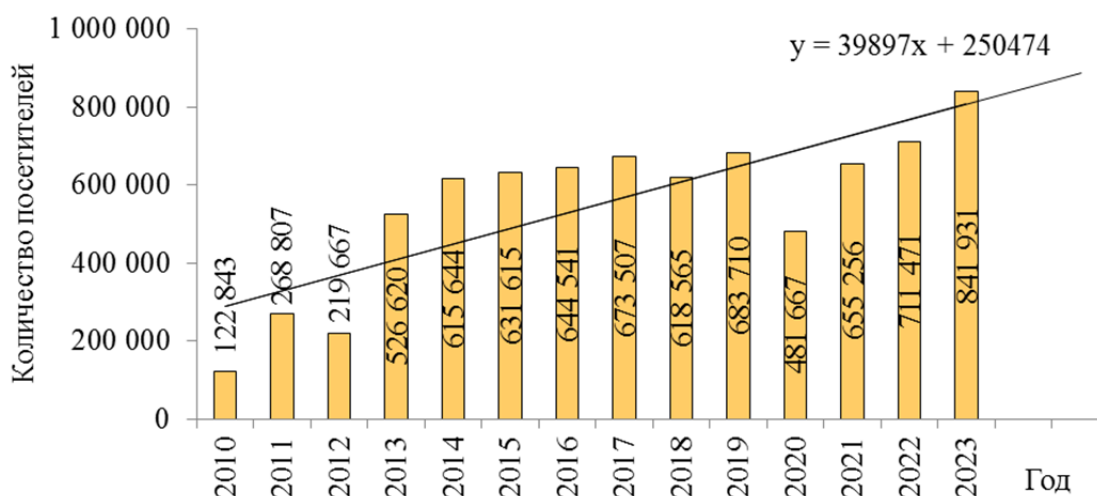


Рисунок 1 – Общее количество посетителей на территории ГНПП «Бурабай»

Figure 1 – Total number of visitors on the territory of the State National Park «Burabay»

Данные о максимально допустимом количестве рекреантов вносятся в паспорт маршрута, который является нормативным документом и действует до его переутверждения.

Исходными являются фондовые, картографические, мониторинговые и статистические данные из официальных источников и полученные по запросу из местных и республиканских органов исполнительной власти, в том числе результаты научных исследований, проведенных ранее («Комплексные экологические исследования на территории Щучинско-Боровской курортной зоны для определения путей устойчивого развития» за 2007-2009 гг.) по заказу Министерства охраны окружающей среды, а также «Комплексная оценка экосистем Щучинско-Боровской курортной зоны с определением экологической нагрузки в целях устойчивого использования рекреационного потенциала» за 2018-2020 гг. по заказу МНК «Астана».

Материалы и методы исследования. Изучение рекреационной нагрузки на туристские маршруты и береговые линии озер ГНПП «Бурабай» основано на мониторинговых методах исследования с получением количественных и качественных материалов. Периодичность мониторинга охватывает наблюдения до начала рекреационного сезона (май 2024 года), в период пиковой рекреационной нагрузки (июль 2024 года) и в конце рекреационного сезона (сентябрь 2024 года).

Туристские маршруты. Проведение рекогносцировки туристских маршрутов ГНПП «Бурабай» включало анализ качественных характеристик троп и мест стоянок для выявления индикаторов превышения норм рекреационной нагрузки. В составе группы специалистов (географы, эксперты по туризму и рекреации, геоморфолог, картограф, ботаник и сотрудник ГНПП) была проведена оценка состояния естественных условий поверхности необорудованных троп, включая наличие эрозионных форм рельефа, состояние растительности и наличие рекреационной инфраструктуры.

Для мониторинга рекреационной нагрузки на туристские маршруты был организован подсчет посетителей на ключевых географических точках: гора Болектау, поляна Абылай хана, Иманяевский ручей (туристский маршрут «В гости к природе») и перевал между вершиной Кокшетау и скалой Старшая сестра (туристский маршрут «Жемчужина Синегорья – Кокшетау»). Наблюдения проводились на хорошо просматриваемых участках, расположенных у входа на тропы. Время мониторинга охватывало рабочие и выходные дни с 10:00 до 18:00 (по 8 часов).

Оценка рекреационных нагрузок на туристские маршруты ГНПП «Бурабай» базируется на данных, полученных в результате полевых исследований, проведенных в три этапа, с использованием эмпирических данных [6,7]. Для определения количественных показателей рекреационных нагрузок был применен интегрированный показатель рекреационного воздействия, который представляет собой отношение количества рекреантов к единице времени на единицу площади (чел./га) [8,9]. Оценка фактической посещаемости в день учета проводилась по следующей формуле [10]:

$$P_d = \frac{\sum_{i=1}^n Ri}{S}, \quad (1)$$

где P_d – посещаемость в день учета, чел./га; R_i – количество отдыхающих в i -м учетном интервале времени, человек; S – площадь участка наблюдений.

Средневзвешенная посещаемость на географических пунктах и соответственно туристских маршрутах за комфортный период вычисляется как [8]:

$$P_c = \frac{P_r \cdot D_r + P_v \cdot D_v}{D}, \quad (2)$$

где P_c – среднесезонная посещаемость, чел. день/га; P_r и P_v – среднеарифметическая посещаемость в рабочие и выходные учетные дни, чел./га; D_r и D_v – число рабочих и выходных дней за период наблюдений, дней; D – общая продолжительность периода наблюдений.

Оценка фактической рекреационной нагрузки на туристские маршруты по качественным характеристикам основывается на мониторинге естественного состояния троп и ключевых участков до начала рекреационного сезона, в период пиковой рекреационной нагрузки и в конце сезона. Применение комбинированных методов и подходов для расчета рекреационных нагрузок является наиболее эффективным инструментом для обеспечения устойчивого развития туризма и охраны природных ресурсов [11].

Мониторинг включает анализ рельефа, состояния поверхностного слоя троп и прилегающих территорий, характеристик растительности, учета рекреантов, присутствующих на тропях, а также выявление загрязнений (например, мусора) и других изменений. В случае обнаружения индикаторов внешних изменений исходных условий на ключевых участках такие изменения считаются результатом воздействия туристской деятельности на тропы.

Сравнительный анализ состояния природных компонентов ключевых участков с их фоновыми характеристиками позволяет оценить степень воздействия потока посетителей на экосистему. Это, в свою очередь, способствует разработке мер по регулированию рекреационной нагрузки, основанных на результатах мониторинга и анализа качественных характеристик.

Озёра. На начальном этапе первого полевого выезда была проведена рекогносцировка пляжных зон 7 озёр для выбора мониторинговых площадок. Мониторинговые участки, включающие городские и неорганизованные пляжи, были выбраны для наземного и дистанционного мониторинга. Мониторинг проводился в будний и выходной дни в первую и вторую половину дня. Для сбора данных о дневной посещаемости использован дистанционный метод мониторинга. Полученные снимки с помощью беспилотного летательного аппарата (рисунок 2) позволили количественно оценить посещаемость на более протяжённых участках.



Рисунок 2 – Обработка результатов мониторинга

Figure 2 –Data processing of monitoring results

Наземным методом мониторинга с использованием качественного подхода оценены аттрактивность, обустроенность и степень негативного антропогенного вмешательства. Определены и зафиксированы участки, имеющие воздействия (несанкционированные кострища, парковка, бытовой мусор и др.).

Оценка фактической единовременной нагрузки на береговую линию рассчитывалась по формуле [7]:

$$V = \left(\frac{M_n}{L_{пл}} \right), \quad (3)$$

где V – фактическая единовременная нагрузка на береговую линию, чел./м; M_n – показатель максимальной нагрузки территории, связанный с влиянием антропогенного фактора, количество человек; $L_{пл}$ – длина береговой линии, м.

Расчёт допустимой рекреационной нагрузки основывается на определении рекреационной ёмкости для заданной протяжённости пляжа:

$$E_n = l_n \times L, \quad (4)$$

где E_n – допустимая рекреационная нагрузка, чел. дн.; l_n – фактическая рекреационная ёмкость пляжа, чел. дн./м; L – протяжённость пляжной полосы вдоль берега водоема, м.

В основе методики определения емкости пляжных территорий лежит норматив предельно допустимой рекреационной нагрузки (п) (для галечных пляжей – 4 чел. дн./м, для песчаных – 3,5 чел. дн./м). В алгоритм расчета вводятся коэффициенты, определяемые на основе наземного мониторинга. Таким образом, норматив фактической рекреационной емкости пляжей (l_n), определяется как

$$l_n = п \times K_1 \times K_2 \times K_3 , \quad (5)$$

где l_n – фактическая рекреационная емкость пляжа, чел. дн./м; п – норматив предельно допустимой рекреационной нагрузки; K_1 – рекреационная привлекательность, его величина (0,4-0,8) зависит от аттрактивности объекта; K_2 – благоустройство территории, уровень оборудования инфраструктурой и ее эффективность (0,4-0,8), при наибольшей степени благоустройства территории – 0,8; K_3 – социально-экологический коэффициент, его величина (0,8-0,5) зависит от степени негативного воздействия человека на природные комплексы, при самой незначительной степени антропогенного вмешательства – 0,8 [12, 13].

Результаты и их обсуждение. *Туристские маршруты.* В исследовании в качестве принятых и рассчитанных норм допустимых рекреационных нагрузок использовались показатели норм из трех источников:

1. Официальные рассчитанные и закреплённые нормативные значения предельной рекреационной нагрузки на туристские маршруты ГНПП «Бурабай» (далее №1) [14].

2. В рамках реализации программы «Комплексные экологические исследования на территории Щучинско-Боровской курортной зоны для определения путей устойчивого развития» под руководством Будниковой Т. И., на основе проведенных экспериментов в полевых исследованиях, определили предельно допустимую нагрузку. Количественное значение допустимой рекреационной нагрузки составило 72,9 чел. ч/га за 8 ч, или примерно 9 чел. ч/га. Определенная таким образом рекреационная нагрузка является с экологических позиций предельно допустимой для повседневного отдыха (далее №2) [8].

3. Общепринятые рекреационные нагрузки, установленные во «Временной методике определения рекреационных нагрузок на природные комплексы при организации туризма, экскурсий, массового повседневного отдыха и временные норм этих нагрузок». Допустимая среднесезонная единовременная нагрузка равна 12,6 чел./га (далее №3) [15].

Маршрут «В гости к природе» (п. Бурабай – Голубой залив – гора Болектау – поляна Абылай хана – Иманаевский ручей). Мониторинг проводился на 3-х географических пунктах, рассчитанных для пешеходного туризма – гора Болектау, поляна Абылай хана, Иманаевский ручей. Численность рекреантов на каждом из них отличается, поэтому посещение данных объектов проводится рекреантами как в рамках маршрута «В гости к природе», так и в произвольном виде.

Таким образом, среднесезонная посещаемость на маршруте «В гости к природе» составляет 6238 человек в день. Данная величина превышает утвержденные ГНПП «Бурабай» допустимые рекреационные нагрузки (180 чел. день) в 35 раз (см. таблицу 1, рисунок 3). Оценка рекреационной нагрузки рассчитывалась с учетом понижающих и повышающих коэффициентов, где они имели место. Нормы определялись с учетом различных характеристик местности и природных условий.

Таблица 1 – Результаты расчетов среднесезонной нагрузки

Table 1 – Average Seasonal Load Calculation Results

Географические пункты и туристские маршруты	Фактическая нагрузка, чел., день 10:00-18:00		Среднесезонная нагрузка, чел., день	Нормы ГНПП, чел., день	Превышение, раз
	будние	выходные			
Гора Болектау	720	1143	752	180	4
Поляна Абылай хана	3637	6837	5057	180	28
Иманаевский ручей	224	273	69	180	0,4
В гости к природе	4581	8253	6238	180	35
Поляна Абылай хана	3637	6837	5057	30	174
Смотровая площадка	250	592	391	30	13
Жемчужина Синегорья – Кокшетау	3887	7419	5623	30	186



Рисунок 3 – Рекреационные нагрузки туристского маршрута «В гости к природе»

Figure 3 – Recreational loads of the tourist route «Visiting Nature»

Фактическая рекреационная нагрузка на туристский маршрут «В гости к природе» составляет 3919 человек на гектар. Усредненная норма предельно допустимой рекреационной нагрузки (для повседневного отдыха, определенная на основе экспериментальных площадок на территории ЩБКЗ) равна 491 чел./га в день.

Фактическая нагрузка (3919 чел./га) превышает данную норму в 7 раз. Усредненная норма рекреационной нагрузки на туристский маршрут, определенная по методике №3, составила 82,53 (83) чел./га. Фактическая рекреационная нагрузка превышает допустимую среднесезонную нагрузку в 47 раз.

Гора Болектау. Среднесезонное количество рекреантов составило 752 человека, что превышает норму (180 человек) в 4 раза (см. таблицу 1). Площадь территории, используемая рекреантами в качестве троп, временных остановок и мест стоянок, составляет по данным картографического анализа 0,72 га. Длина необорудованной тропы от начала тропы до вершины горы Болектау 804 м. Ширина изменяется по всему участку от 2 до 20 м. Фактическая рекреационная нагрузка составила 1294 чел./га.

Поляна Абылай хана. Среднесезонное фактическое посещение равнялось 5057 рекреантов, превысив норму (180 чел.) в 28 раз (см. таблицу 1). Площадь территории, используемая рекреантами в качестве троп, временных остановок и мест стоянок, составляет по данным картографического анализа 3,5 га. Фактическая рекреационная нагрузка 1496 чел./га.

Иманаевский ручей. Среднесезонное количество рекреантов 69 человек, норма не превышена (180 человек) в 0,4 раза (см. таблицу 1). Площадь территории, используемая рекреантами в качестве троп, временных остановок и мест стоянок, по данным картографического анализа 0,22 га. Длина необорудованной тропы от автомобильной дороги до Иманаевского ручья – 557 м. Ширина изменяется по всему участку от 2 до 20 м. Фактическая рекреационная нагрузка составила 1128 чел./га.

Маршрут «Жемчужина Синегорья – Кокшетау» (Поляна Абылай хана – перевал между вершиной Кокшетау и скалой Старшая сестра – Чертова катушка – Холодный ключ – озеро Улкен Шабакты – Голубой залив). Численность рекреантов на каждом из них отличается, потому что посещение данных объектов проводится рекреантами как в рамках маршрута «Жемчужина Синегорья – Кокшетау», так и произвольно. Так, среднесезонное количество рекреантов, посетивших географические пункты маршрута, составило 5623 человек, что превышает утвержденные ГНПП «Бурабай» допустимые рекреационные нагрузки (30 чел. в день) в 186 раз (см. таблицу 1, рисунок 4).

Фактическая рекреационная нагрузка на туристский маршрут «Жемчужина Синегорья – Кокшетау» составляет 1939 чел./га. Усредненная норма предельно допустимой рекреационной нагрузки (для повседневного отдыха, определенная на основе экспериментальных площадок на

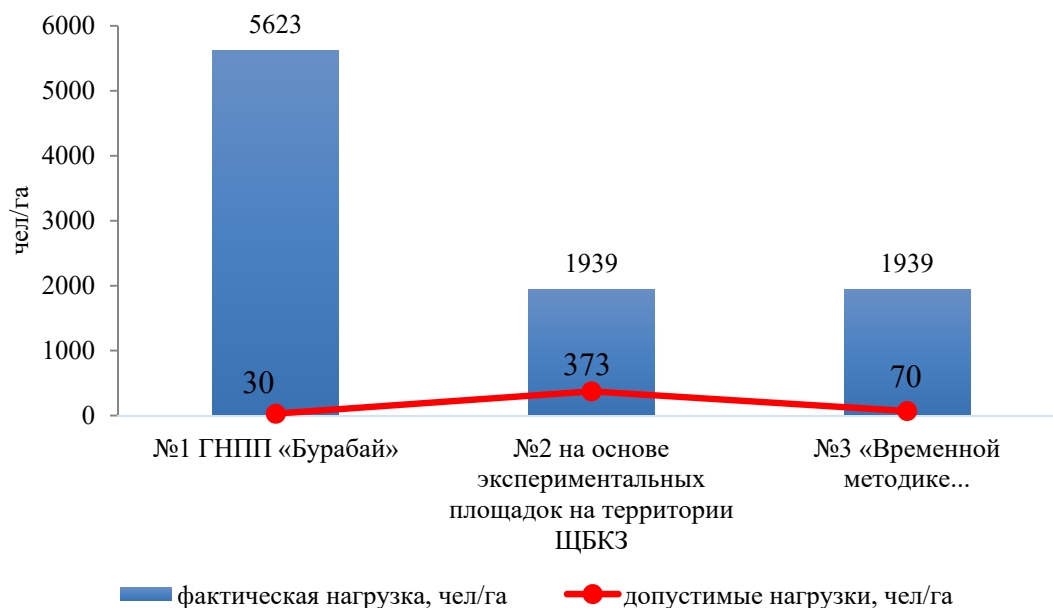


Рисунок 4 – Рекреационные нагрузки маршрута «Жемчужина Синегорья – Кокшетау»

Figure 4 – Recreational loads of the route «Pearl of Sinegorye – Kokshetau»

территории ЩБКЗ) 373 чел./га в день. Фактическая нагрузка (1939 чел./га) превышает данную норму в 4 раза.

Усредненная норма рекреационной нагрузки на туристский маршрут, определенная по методике №3, составила 70 чел./га. Фактическая рекреационная нагрузка превышает допустимую среднесезонную нагрузку в 27 раз.

Перевал между вершиной Кокшетау и скалой Старшая сестра. Среднесезонное количество рекреантов составило 391 человек, что превышает норму (30 человек) в 13 раз (см. таблицу 1). Площадь территории, используемая рекреантами в качестве троп, временных остановок и мест стоянок, по данным картографического анализа 0,95 га. Длина необорудованной тропы от поляны Абылай хана до Смотровой площадки 886 м. Ширина изменяется по всему участку от 2 до 25 м. Фактическая рекреационная нагрузка составила 443 чел./га.

Озёра. По результатам трёх этапов мониторинга можно отметить, что для большинства озёр максимум рекреационной нагрузки приходился на июль.

Фактическая максимальная единовременная нагрузка (рисунок 5) на мониторинговом участке протяжённостью 815 м озера Бурабай составила 0,36 чел. ч./м (293 человека) при средней 0,19 чел. ч./м. С учетом неравномерного распределения воздействие на некоторых участках значительно выше.

Фактическая максимальная единовременная нагрузка на мониторинговом участке озера Шортанды протяжённостью береговой линии 29,2 м составила 2,2 чел./м (65 чел.). Анализ фактической рекреационной нагрузки указывает на высокую нагрузку на береговую линию на пляж озера Шортанды и демонстрирует самый высокий уровень фактической нагрузки как по максимальному значению (2,2 чел. ч./м), так и по среднему (0,5 чел. ч./м).

На мониторинговом участке озера Улкен Шабакты протяжённостью 323 м фактическая максимальная единовременная нагрузка составила 1,49 чел./м (480 чел.). Соответственно озеро Улкен Шабакты также имеет высокую рекреационную нагрузку на береговую линию. Среднее значение достигало 0,38 чел. ч./м. Это свидетельствует о высоком интересе к этому водоёму, особенно в пиковые периоды.

Фактическая максимальная единовременная нагрузка на мониторинговом участке озера Киши Шабакты (ЮЗ пляж) протяжённостью береговой линии 1869 м составила 0,05 чел./м (101 чел.) – в период пиковой рекреационной нагрузки в выходной день, такая нагрузка может быть при созданных идеальных условиях, исключая наличие автотранспорта на линии пляжа.

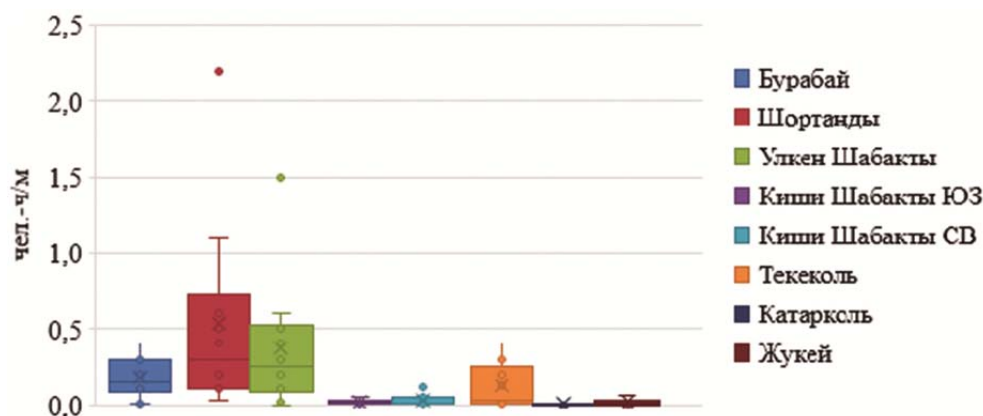


Рисунок 5 – Фактическая единовременная нагрузка на береговую линию

Figure 5 – Actual instantaneous load on the coastline

Самые низкие показатели рекреационной нагрузки наблюдаются на озёрах Катарколь и Жукей, где максимальные значения достигают всего 0,009 и 0,024 чел. ч./м, а средние – 0,004 и 0,012 чел. ч./м соответственно. На данный момент озеро Катарколь испытывает минимальное антропогенное воздействие.

Пример расчёта допустимой рекреационной нагрузки для озера Улкен Шабакты на бесплатном пляже Голубой залив. Согласно оценке степени дигрессии почвенно-растительного покрова уровень дегрессии – 2; уровень аттрактивности высокий; уровень оборудования средний; пляж песчаный. Соответственно рекреационная ёмкость пляжа равна $0,8 \cdot 0,7 \cdot 0,7 \cdot 3,5 = 1,372$ чел. дн./м (таблица 2).

Таблица 2 – Допустимая рекреационная нагрузка на береговую линию

Table 2 – Permissible recreational load on the coastline

Озеро	K_1	K_2	K_3	l_n , чел. дн./м	$Ч_n$, чел. ч/м	L, м	чел. / ч	чел. / день
1	2	3	4	5	6	7	8	9
Бурабай	0,7	0,7	0,5	0,9	0,11	815	87	699
Шортанды	0,7	0,5	0,6	0,7	0,09	29,2	3	21
Улкен Шабакты	0,8	0,7	0,7	1,4	0,17	323	55	443
Киши Шабакты (ЮЗ пляж)	0,5	0,5	0,5	0,4	0,05	1869	102	818
Киши Шабакты (СВ пляж)	0,6	0,6	0,6	0,8	0,09	1254	119	948
Текеколь	0,6	0,6	0,6	0,9	0,11	390	42	337
Катарколь	0,6	0,6	0,6	0,8	0,09	2010	190	1520
Жукей	0,6	0,5	0,4	0,4	0,05	4288	225	1801

Примечания: 1 – название озера; 2 – рекреационная привлекательность (K_1); 3 – благоустройство территории, уровень оборудования инфраструктурой и ее эффективность (K_2); 4 – социально-экологический коэффициент (K_3); 5 – расчетная рекреационная емкость пляжа в день на 1 м (l_n); 6 – расчетная рекреационная емкость пляжа в час на 1 м ($Ч_n$); 7 – протяженность береговой линии пляжа (L); 8 – допустимая рекреационная нагрузка на указанную длину в час; 9 – допустимая рекреационная нагрузка на указанную длину в день.

Таким образом, в час, из расчёта 8-часовой туристской активности, должно быть 0,172. При длине пляжа 323 м допустимая рекреационная нагрузка равна 55 чел./ч. Допустимая рекреационная нагрузка в день (из расчёта 8 ч) не должна превышать 443 человека с пропускной способностью 55 чел./ч. По мере внедрения системы и появления видимых улучшений можно рассматривать возможность с учётом отложенного выхода отдыхающих до 3 ч. При этом максимальная единовременная нагрузка не должна превышать 165 человек (рисунок 6). Можно отметить, что зафиксированный максимум в период пиковой рекреационной нагрузки за 1 ч является суммарной нормой за день (рисунок 7).



Рисунок 6 – Пляж Улкен Шабакты при нагрузке 170 чел. (фрагмент участка мониторинга)

Figure 6 – Ulken Shabakty beach at a load of 170 people (fragment of the monitoring site)

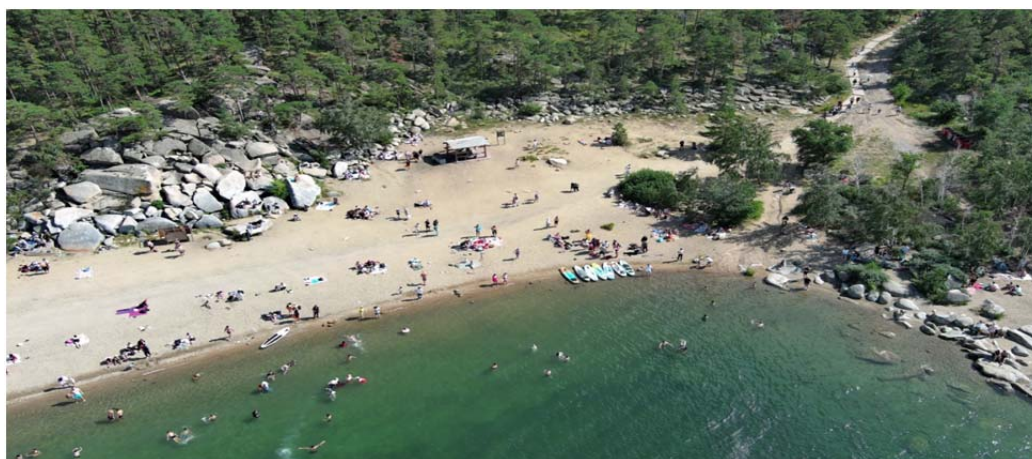


Рисунок 7 – Пляж Улкен Шабакты при одновременной нагрузке 480 человек

Figure 7 – Ulken Shabakty beach with an instantaneous load of 480 people

Показатель Чп (чел.-ч./м) отражает допустимую рекреационную нагрузку в человеко-часах на каждый метр береговой линии, что позволяет объективно оценить интенсивность использования пляжной зоны независимо от её длины. Наибольшее значение Чп имеют озёра со сбалансированным сочетанием коэффициентов благоустройства, аттрактивности и экологической устойчивости.

Ниже средних показатели Чп у таких водоемов, как озеро Текеколь (0,11 чел. ч./м). Это связано с умеренными значениями коэффициента экологической устойчивости. Киши Шабакты (северо-восточный пляж) (0,09 чел. ч./м) имеет тенденцию к снижению аттрактивности и экологической устойчивости ввиду интенсивного освоения пляжа и высокой нагрузкой от автотранспорта.

Минимальные значения Чп зафиксированы для Киши Шабакты (юго-западный пляж) (0,05 чел. ч./м) из-за низкой экологической устойчивости и частичной неэффективности объектов благоустройства. Емкость озера Шортанды (0,09 чел. ч./м). Это объясняется малой экологической устойчивостью пляжа, наличием деградированных участков на спуске к пляжу и береговой линии. На озере Жукей, рекреационная ёмкость в час составляет 0,05 чел. ч./м. Низкие значения коэффициентов благоустройства и экологической устойчивости ограничивают возможности озера и в перспективе имеют тенденцию снижать аттрактивность объекта.

Закключение. По результатам анализа данных мониторинга можно отметить, что наблюдается неравномерное использование посетителями туристско-рекреационного потенциала туристских маршрутов ГНПП «Бурабай». Это подтверждается эмпирическими данными. Так, на маршруте «В гости к природе» фактическая среднесезонная дневная нагрузка превышает допустимую норму рекреационной нагрузки в 35 раз (6238 чел./180 чел.), на маршруте «Жемчужина Синегорья – Кокшетау» фактическая среднесезонная дневная нагрузка превышает допустимую норму рекреационной нагрузки в 186 раз (5623 чел./30 чел.). Особое внимание уделяется расширению емкости на популярных (переполненных) пунктах за счет ввода новых масштабных объектов инфраструктуры на охраняемых территориях. Однако данный подход, как показали мониторинговые исследования, не решает системной задачи равномерного распределения посетителей в пиковый период и вовлечения всех турмаршрутов парка. К сожалению, последствия не соблюдения норм рекреационной нагрузки и неравномерного использования рекреационных ресурсов парка, привели к существенным изменениям естественных условий экосистем. Поэтому рекомендуется переосмыслить пути развития и использования парка, в приоритете следовать главной цели парка – сохранение естественной среды, а далее развивать туризм с полным исключением негативного воздействия на природную среду парка.

Мониторинг рекреационной нагрузки на озёрах показал высокую степень влияния туристической активности на состояние прибрежных зон. Наиболее значительные нагрузки зафиксированы в пик сезона на озёрах Шортанды и Улкен Шабакты. Озёра с умеренной нагрузкой, такие, как Текеколь, будут находиться в зоне относительно устойчивого баланса в случае исключения воздействия автотранспорта. Озеро Киши Шабакты также испытывает значительную нагрузку от несанкционированной парковки, аттрактивность юго-западного пляжа снижается ввиду имеющихся воздействий. Северо-восточный пляж Киши Шабакты стал осваиваться намного позже и имеет аттрактивность и устойчивость выше, чем юго-западный пляж. В то же время такие озёра, как Катарколь и Жукей, демонстрируют низкие уровни туристской нагрузки, что связано с низкой популярностью этих зон. Регулирование вопроса выпаса скота и ТБО для озера Жукей стоит очень остро. Анализ показал необходимость регулирования потоков туристов в пик сезона, ограничения автотранспорта и повышения экологической устойчивости пляжей. Основой для устойчивого туризма должна стать онлайн-система регистрации отдыхающих, которая позволит регулировать посещаемость локально на объектах. Также для стабилизации прибрежных экосистем необходимо поддерживать концепцию разгрузки прибрежных буферов на основе обновленных, в рамках планируемых мероприятий, кадастров буферных зон озер ГНПП «Бурабай» и прилегающих к ним населённых пунктов.

Финансирование. Статья была подготовлена по материалам проекта «Разработать мероприятия по проекту «Восстановление и сохранение экосистемы ГНПП “Бурабай”», раздел «Изучение рекреационной нагрузки на туристские маршруты, озера и лесной фонд ГНПП “Бурабай”».

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Кусков А. С., Голубева В. Л., Одинцова Т. Н. Рекреационная география: Учебно-методический комплекс. – М.: МПСИ, Флинта, 2005. – 496 с.
- [2] Егембердиева К. Б., Темирбаева Р. К., Оразбекова К. С., Хен А. П. Определение мониторинговых участков для оценки рекреационной нагрузки на экосистему Щучинско-Боровской курортной зоны // Вопросы географии и геоэкологии. – Алматы, 2018. – № 3. – С. 19-26.
- [3] Atasoy E. et al. Characteristics and tourism potential of the Burabay national park (Kazakhstan) // GeoJournal of Tourism and Geosites. – 2022. – Vol. 43, No. 3.
- [4] Туристический бум в ГНПП «Бурабай»: количество посетителей выросло на 15 % [Электронный ресурс]. – 2024. – URL: <https://burabaypark.qr-pib.kz/ru/p/35717> (дата обращения: 02.10.2024).
- [5] Правила создания экскурсионных троп и маршрутов для проведения регулируемого экологического туризма в государственных природных заповедниках на специально выделенных участках, не включающих особо ценные экологические системы и объекты. Утв. Пр. и.о. МСХ РК от 1 сентября 2010 года № 559.
- [6] Чижова В. П., Севостьянова Л. И. Экологический туризм: географический аспект: учебное пособие. – Йошкар-Ола, 2007. – 276 с.

- [7] Артемьев А. М., Абдреева Ш. Т., Актымбаева А. С. Методические рекомендации по определению норм рекреационных нагрузок на туристские маршруты и экологические тропы особо охраняемых природных территорий. – Нур-Султан, 2020. – 39 с.
- [8] Отчет «Комплексные экологические исследования на территории Щучинско-Боровской курортной зоны для определения путей устойчивого развития». – Астана: ТОО «Институт географии». 2008. – 164 с.
- [9] Геоэкология и природопользование. Понятийно-терминологический словарь / Авт. сост. В. В. Козин, В. А. Петровский. – Смоленск: Ойкумена, 2005. – 574 с.
- [10] Генсирук С. А., Нижник М. С., Возняк Р. Р. Рекреационное использование лесов. – Киев: Урожай, 1987. – 246 с.
- [11] Отчет «Комплексная оценка экосистем Щучинско-Боровской курортной зоны с определением экологической нагрузки в целях устойчивого использования рекреационного потенциала». – Астана, 2018. – 143 с.
- [12] Ланцова И. В., Григорьева И. Л. Рекреационное использование водоемов и водотоков: теоретические и методические аспекты // Материалы международной научно-практической конференции «Туризм и рекреация: фундаментальные и прикладные исследования» 27–28 апреля 2006 г. / Под ред. И. В. Зорина // Туризм и рекреация. – 2006. – С. 146.
- [13] Карташова Н. П., Селиванова А. С. Рекреационная емкость пляжных территорий и их благоустройство (на примере береговой линии реки Воронеж) // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. – 2013. – Т. 15, № 3-2.
- [14] План управления государственного учреждения «Государственный национальный природный парк «Бурабай» на 2007–2010 годы». – Астана, 2006. – 60 с.
- [15] Временная методика определения рекреационных нагрузок на природные комплексы при организации туризма, экскурсий, массового повседневного отдыха и временные нормы этих нагрузок. – М.: ВНИИЛМ, 1987. – 34 с.

REFERENCES

- [1] Kuskov A. S., Golubeva V. L., Odintsova T. N. (2005). Recreational geography: Educational-methodical complex. Moscow: Flint Moscow Psychological and Social Institute. 496 p. (in Russ.).
- [2] Yegemberdiyeva K. B., Temirbayeva R. K., Orazbekova K. S., Khen A. P. (2018). Determination of monitoring sites for assessing the recreational load on the ecosystem of the Shchuchinsk-Borovoye Resort Area // Problems of Geography and Geoecology. Almaty, 3, 19-26 (in Russ.).
- [3] Atasoy E. et al (2022). Characteristics and tourism potential of the Burabay national park (Kazakhstan) // GeoJournal of Tourism and Geosites, 43(3).
- [4] Tourism boom in the Burabay State National Park: the number of visitors has increased by 15% [Electronic resource]. 2024. URL: <https://burabaypark.qr-pib.kz/ru/p/35717> (date of access: 02.10.2024) (in Russ.).
- [5] Rules for the creation of excursion trails and routes for conducting regulated ecological tourism in state nature reserves in specially designated areas that do not include particularly valuable ecological systems and objects. Approved by the Acting Minister of Agriculture of the Republic of Kazakhstan on September 1, 2010, No. 559 (in Russ.).
- [6] Chizhova V. P., Sevost'yanova L. I. Ecological tourism: geographical aspect: textbook. Yoshkar-Ola, 2007. 276 p. (in Russ.).
- [7] Artemyev A. M., Abdreeva Sh. T., Aktymbayeva A. S. Methodological recommendations for determining recreational load norms on tourist routes and ecological trails of specially protected natural areas. Nur-Sultan, 2020. 39 p. (in Russ.).
- [8] Comprehensive environmental studies in the territory of the Shchuchinsk-Borovoye Resort Area to determine the paths of sustainable development. Astana: LLP "Institute of Geography", 2008. 164 p. (in Russ.).
- [9] Kozin V. V., Petrovsky V. A. (Eds.). Geoecology and environmental management: Conceptual and terminological dictionary. Smolensk: Oikumena, 2005. 574 p. (in Russ.).
- [10] Gensiruk S. A., Nizhnik M. S., Voznyak R. R. Recreational use of forests. Kyiv: Urozhay, 1987. 246 p. (in Russ.).
- [11] Comprehensive assessment of the ecosystems of the Shchuchinsk-Borovoye Resort Area with the determination of environmental load for sustainable use of recreational potential. Astana, 2018. 143 p. (in Russ.).
- [12] Lantsova I. V., Grigoryeva I. L. Recreational use of water bodies and watercourses: theoretical and methodological aspects // Tourism and Recreation. Proceedings of the International Scientific and Practical Conference "Tourism and Recreation: Fundamental and Applied Research," April 27–28, 2006 / Ed. I. V. Zorin. 2006. 146 p. (in Russ.).
- [13] Kartashova N. P., Selivanova A. S. Recreational capacity of beach areas and their improvement (on the example of the Voronezh River shoreline) // Bulletin of the Samara Scientific Center of the Russian Academy of Sciences. 2013. Vol. 15, No. 3-2 (in Russ.).
- [14] Management plan of the state institution "State National Natural Park Burabay" for 2007–2010. Astana, 2006. 60 p. (in Russ.).
- [15] Temporary methodology for determining recreational loads on natural complexes when organizing tourism, excursions, mass everyday recreation and temporary standards for these loads. M.: VNIILM, 1987. 34 p. (in Russ.).

К. Б. Егембердиева^{*1}, А. Г. Валеев², Ю. А. Юшина³, И. Б. Скоринцева⁴

^{1*} Г. ғ. к., геотуризм және геоморфология зертханасының басшысы
(«География және су қауіпсіздігі институты» АҚ, Алматы, Қазақстан; kamshat.yegemberdiyeva@gmail.com)

² PhD, геотуризм және геоморфология зертханасының аға ғылыми қызметкер
(«География және су қауіпсіздігі институты» АҚ, Алматы, Қазақстан; adiletv@gmail.com)

³ Геотуризм және геоморфология зертханасының ғылыми қызметкер
(«География және су қауіпсіздігі институты» АҚ, Алматы, Қазақстан; yushinayukz@gmail.com)

⁴ Г. ғ. д., ландшафттану және табиғатты пайдалану мәселелері зертханасының бас ғылыми қызметкер
(«География және су қауіпсіздігі институты» АҚ, Алматы, Қазақстан; skorintseva@mail.ru)

«БУРАБАЙ» МҰТП ТУРИСТІК МАРШРУТТАРЫ МЕН КӨЛДЕРІНІҢ ЖАҒАЛАУЛЫҚ СЫЗЫҒЫНА РЕКРЕАЦИЯЛЫҚ ЖҮКТЕМЕНИ БАҒАЛАУ

Аннотация. Соңғы жылдары «Бурабай» мемлекеттік ұлттық табиғи паркте (әрі қарай «Бурабай» МҰТП) рекреациялық жүктеменің айтарлықтай өсуі байқалды, бұл аумақтың экожүйелеріне кері әсерін тигізеді. Осыған байланысты «Бурабай» МҰТП туристік маршруттары мен көлдерінің жағалауына рекреациялық жүктеменің әсерін бағалауды жүргізу өзекті болып отыр, бұл экологиялық зардаптарды азайту және туризмнің тұрақты дамуын қамтамасыз ету үшін ұсыныстар әзірлеуге мүмкіндік береді. Жұмыстың мақсаты «Бурабай» МҰТП көлдерінің экологиялық жай-күйін бағалау мақсатында туристік маршруттар мен жағалауға рекреациялық жүктеме мониторингін жүргізу болып табылады. Зерттеу әдістері келушілердің жүктемесін және топырақ пен өсімдік жамылғысының экологиялық жағдайын бақылауды қамтиды. Нақты рекреациялық жүктемені бағалау маусымның орташа келу формуласы мен сараптамалық талдау арқылы жүргізілді. Көлдерге нақты жүктеме ұшқышсыз ұшу аппаратынан алынған мәліметтер негізінде анықталды. Жағажайлардың жағдайын сапалы бағалау рекреациялық сыйымдылықты есептеу коэффициенттерін анықтауға мүмкіндік берді. Жұмыс нәтижелері туристік маршруттардағы рекреациялық жүктеме нормаларының 35-тен 186 есеге дейін артқанын көрсетті. Эрозиялық процестердің қарқынды дамуы бар учаскелер анықталды. Нақты деректерді пайдалану 2024 жылға арналған көл жағалауларының жай-күйін локализацияланған бағалауды ұсынуға мүмкіндік берді. Сондай-ақ, «Бурабай» МҰТП-нің туристік соқпақтары мен көлдерінің жағалауларындағы өсімдіктердің дигрессиясының дәрежесі сипатталған. Рекреациялық жүктеменің ең жоғары кезеңінде жағалау сызығына рекреациялық жүктеменің артуы анықталды. Ең үлкен жүктемелер Шортанды және Үлкен Шабакты көлдерінде тіркелді. Алынған нәтижелер «Бурабай» МҰТП-да экожүйелерді сақтау және рекреациялық жүктемені оңтайландыру жөніндегі іс-шараларды әзірлеу үшін негіз жасайды. Мақаланың нәтижелерін қолдану саласы «Бурабай» МҰТП аумағындағы экологиялық менеджментті, тұрақты туризмді және табиғатты қорғау қызметін қамтиды.

Түйінді сөздер: туристік маршруттар, көлдер, нақты рекреациялық жүктеме, мониторинг, рұқсат етілген рекреациялық жүктеме

К. В. Yegemberdiyeva^{*1}, А. G. Valeyev², Yu. A. Yushina³, I. B. Skorintseva⁴

^{1*} C. g. s., Head of the Laboratory of Geotourism and Geomorphology (Institute of Geography and Water Security, Almaty, Kazakhstan; kamshat.yegemberdiyeva@gmail.com)

² PhD, Senior Researcher at the Laboratory of Geotourism and Geomorphology (Institute of Geography and Water Security, Almaty, Kazakhstan; adiletv@gmail.com)

³ Researcher at the Laboratory of Geotourism and Geomorphology (Institute of Geography and Water Security, Almaty, Kazakhstan; yushinayukz@gmail.com)

⁴ Doctor of Geographical Sciences, Associate Professor, Chief Researcher at the Laboratory of Landscape Science and Environmental Management Problems (Institute of Geography and Water Security, Almaty, Kazakhstan; skorintseva@mail.ru)

ASSESSMENT OF RECREATIONAL LOAD ON TOURIST ROUTES AND SHORELINES OF LAKES OF THE “BURABAY” SNNP

Abstract. In recent years in state national natural park SNNP “Burabay” (SNNP “Burabay”) there is a significant increase in recreational load, which has a negative impact on the ecosystems of the territory. In this regard, it becomes relevant to assess the impact of recreational load on tourist routes and shorelines of lakes of SNNP “Burabay”, which will allow to develop recommendations to minimise environmental impacts and ensure sustainable development of tourism. The purpose of the work is to monitor the recreational load on tourist routes and shorelines of lakes of SNNP “Burabay” in order to assess their ecological condition. The research methods include monitoring

of visitor load and ecological condition of the soil and vegetation cover. Assessment of the actual recreational load was carried out using the formula of average seasonal attendance and expert analysis. The actual load on the lakes was determined on the basis of unmanned aerial vehicle data. Qualitative assessment of the state of beaches allowed to determine the coefficients for calculating recreational capacity. The results of the work demonstrated the exceeding of recreational load norms on tourist routes from 35 to 186 times. Areas with intensive development of erosion processes were identified. The use of actual data made it possible to present a localised assessment of the condition of lake shorelines for the year 2024. The degree of vegetation degradation on tourist trails and lakeshores of SNNP “Burabay” was also described. The recreational load on the shoreline was found to be exceeded during the peak recreational load period. The highest loads were recorded on the Shortandy and Ulken Shabakty lakes. The results obtained create a basis for the development of measures to preserve ecosystems and optimise recreational load in the SNNP “Burabay”. The area of application of the results of the article covers environmental management, sustainable tourism and nature conservation activities in the territory of SNNP “Burabay”.

Keywords: tourist routes, lakes, actual recreational load, monitoring, permissible recreational load.

Топонимика
Топонимика
Топонимика

<https://doi.org/10.55764/2957-9856/2025-1-153-164.14>

IRSTI 39.29.15
UDC 910.3

A. Ye. Yeginbayeva^{*1}, K. T. Saparov², N. Zh. Zhensikbayeva³, G. K. Baubekova⁴

¹ PhD, Associate Professor of Department of Physical and Economical Geography
(L. N. Gumilyov Eurasian National University, Astana, Kazakhstan; aeginbaeva@mail.ru)

² Doctor of Geography, Professor of Department of Physical and Economical Geography
(L. N. Gumilyov Eurasian National University, Astana, Kazakhstan; k.sapar67@yandex.ru)

³ PhD, Associate Professor of the Department Ecology and Geography
(S. Amanzholov East Kazakhstan State University, Oskemen, Kazakhstan; naz_zanibek@mail.ru)

⁴ Master, Senior Lecturer of the Department of Natural Sciences
(A. Baitursynuly Kostanay Regional University, Kostanay, Kazakhstan; baubekova_31@mail.ru)

**GEOGRAPHICAL NAMES OF OBJECTS
OF THE SARYARKA NATURE RESERVE FUND**

Abstract. The article examines the importance of geographical names of the physico-geographical region - Saryarka, for the development of tourism in this region and analyzes specific data on the vision, formation and features of the names of nature reserves in the study of toponyms of this region. The nomination of the features of geographical names of objects of the Saryarka nature reserve fund was based on geological, natural-geographical, historical and linguistic data. The origin and etymology of the toponyms of this region are investigated according to the actual data. It was revealed that the reserve fund and natural monuments indicate the natural features of toponyms. A map of toponyms was compiled, which reflects the natural and recreational resources of Saryarka. Saryarka is a vast mountainous region of Kazakhstan, rich in natural, historical and cultural attractions. The geographical names of the objects of the nature reserve fund of the region not only reflect the natural and historical features of the area, but also play a key role in the development of tourism potential. In this study, the influence of toponyms on the perception of tourist sites was examined, as well as a comparative analysis with other regions of Kazakhstan and neighboring countries.

Keywords: Saryarka, toponym, nature reserve fund, toponyms in tourism, geographic terms, geotourism.

Introduction. «Saryarka, Arka» - a plateau region covering the entire central part of Kazakhstan. Saryarka is a folk name. The local population has been calling this area the steppe «Saryarka», «Arka» since ancient times. The name Saryarka means «large, extensive elevation with burnt and therefore yellowed vegetation, a flat plateau, a ridge of numerous hills». It is located between the North Kazakhstan Plain to the north, Betpakdala, and Lake Balkhash to the south. In the west, it reaches the Turgai Plateau. To the east, the border extends to the foothills of the Tarbagatay, encompassing the northeastern outskirts of Lake Balkhash, and further along the Zaysan Depression, reaching the Kalbin Ridge. Saryarka is located between 54°-46° N and 66°-80° E, and, as mentioned above, has an irregular trapezoidal shape, more elongated in the eastern part. Its length from west to east is 1200 km. The width is 900 km in the west and 400 km in the east. The area is approximately 1 million km². In administrative terms, it fully covers the territories of Karaganda, Ulytau, and Akmol regions, a significant part of the Abai region, partially Pavlodar, Kostanay, North Kazakhstan, Zhambyl regions [1].

Many people see tourism as travelling, relaxing, getting new experiences and having a good time. However, considering it from different perspective, tourism can be developed and be related to other things [2]. As a result of human economic activities, the appearance of natural landscapes has changed. Historical development and the evolution of the human economy have led to profound changes in nature: shifts in the distribution ranges of animals, alterations in the quantitative and species composition of vegetation cover, reduction of forested areas, and a decline in grassland productivity. In the territory of Kazakhstan, it is impossible to find a landscape that has not been influenced by human activities to some extent. Therefore, one of the main challenges in preserving natural landscapes untouched by human hands is the study of geographical names. It covers a range of social and political issues as well as toponymy in a wide range of physical geography [3]. Much attention is given to the natural sciences in the study of toponyms. Through toponymic research, patterns in forming geographical names have been identified. Natural historical conditions and the natural geographical environment determine the emergence of toponyms. Through toponyms, one can determine the physiogeographic features of an area, the state of the natural environment, and the composition of plant and animal life [4].

Nature protection is a system of measures for the protection and restoration of natural resources, which is aimed at maintaining the relationship between the natural environment and human activity, taking into account the direct and indirect impact of the economic activities of society on nature and humanity. The key problem of nature protection is the rational use of natural resources. Society should organize measures to protect picturesque landscapes where no human foot has set foot, their relief, vegetation, and soil cover, wildlife, that is living and inanimate nature [5].

The ancient reserves of Kazakhstan are particularly picturesque, historically valuable territories that in various historical periods were taken under the protection of a centralized state authority or a separate private person and withdrawn from economic circulation. The presence of lands with rich nature on the territory of Kazakhstan, which from early periods were called «protected lands», is known from historical handwritten sources. The famous scientist-orientalist A. N. Bernstam, who conducted archaeological research on the territory of Kazakhstan and Kyrgyzstan for a long time, wrote that the tribes that inhabited the slopes of the Tien Shan from the Bronze Age (II century BC) to the XV century had specially protected lands [6]. People did not settle on such lands with picturesque nature. Therefore, protected lands were very favorable for the free habitation of wild animals. In his works, the orientalist N. Ya. Bichurin recounts that the nomadic tribes of the Uysuns, engaged in animal husbandry in the Zhetysu region in the II-III centuries BCE, and descendants of wealthy Uysun dynasties referred to places with beautiful nature as «koryk» (meadow; an area covered with grassy vegetation, where grazing and hunting were temporarily prohibited; in modern translation - a reserve). It was forbidden to graze livestock or hunt without permission on these lands. Chinese traveler Xuanzang, during his journey to the Zhetysu region in the VII century, wrote about a protected land in the Mynbulak hollow in the Talas River valley. In his manuscripts, it is mentioned that in this protected land, there were a large number of wild deer with bells around their necks, and no one was allowed to hunt them. It is also mentioned that in the vicinity of Talas, kulans - one of the species of wild horses - were placed under protection, as indicated by local geographical names. The renowned historian M.E. Masson wrote in his works that in the VII-IX centuries, there was a special hunting reserve in the upper Talas River valley. This reserve was mainly inhabited by wild kulans, and that's why it was called «Kulankoryk».

Ancient reserves in the territory of Kazakhstan were primarily located in the valleys of the Syrdarya, Shu, Talas, Ile, Ayakoz, and Irtysh rivers, in Saryarka, and the valley of the Zhaiyk River. As examples, one can mention the famous reserves in the Syrdarya valley, such as «Kenkoryk», «Shayan», «Zhanakorgan» in Saryarka, «Ereimentau», «Baskoryk», «Hankoryk», «Kiykti Koryk», «Altynkoryk» in Shyngystau, «Zhidaibai», and in the vicinity of Zaysan, «Saryshoky». In the territory of the republic, numerous geographical names provide evidence of the existence of protected lands since ancient times. About 90 geographical names in Kazakhstan and Central Asia are directly linked to the names of reserves.

Research methods and materials. The emergence of the ideas of the Kazakh people about the organization of nature protection of Saryarka since ancient times can be traced by toponyms («Khan korygy», «Kenkoryk», «Kulan Koryk», «Bolshoi Koryk», «Koryk Dalasy», etc.). In the work of M. Kashkari, the meaning of the word «koryk» as «forbidden territory» is given as a protected fenced area. Information has been found in historical written sources that the picturesque lands with fertile pastures of Kazakhstan and Central Asia have been turned into reserves since ancient times [7].

Rashid al-din in his work «The Set of Chronicles» of the XIV century wrote that the «great reserve» of Genghis Khan is guarded by thousands of soldiers. The scientist R. Satimbekov, who studied the ancient reserves of Central Asia and Kazakhstan, tells us that the protected lands mainly arose in river valleys and foothill plains to protect the animal world. The scientist, based on archaeological research, concludes that the concept of koryk originated in the Bronze Age [8].

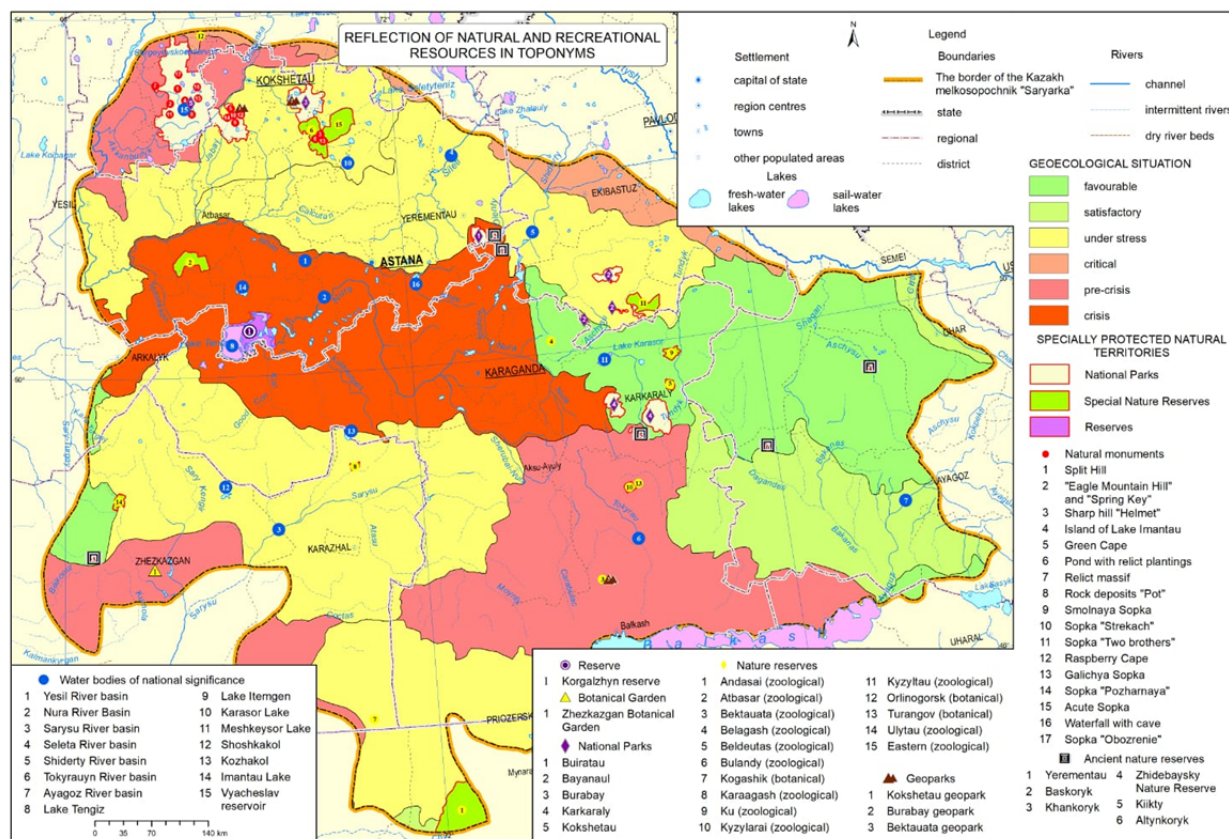
Asan Kaigi (XV century) mentions the land of «Khan Korygy», which he visited on his way. The second type of occupation for nomadic and sedentary peoples was hunting. Birds and animals, animals with valuable fur were hunted in Arka, Shyngystau, Bayanaul, Kokshetau, Karkaraly, and Ulytau. The geographical names of Arkarly, Arystandy, Boriyynak, Kulantau, Kuklansu, Kulanasu, Bala Kulan, Kulandy, Kaska Kulan, etc. provide rich information about the reserves [9].

«Korykshar» (Zharmyn district) - the name can be interpreted as a territory taken under protection. In Shyngystau, there is the name of the pasture «Korykbol River», and the name of the river «Korymzhailau» provides information about the characteristics of fertile pastures. Therefore, it can be noted that the popular form of nature conservation in Kazakh land has been established for a very long time. There were rules for hunting, hunting periods, and times for hunting in the forest [9]. The Kazakh people have long-held ideas about the conservation of nature and its objects, which, passed down from generation to generation, have influenced the formation of ecological culture [10].

Thus, the word koryk, which defines the nature of the landscape of the area, contains valuable information about the properties and structure of biogeocenoses. In short, the nature of the protected lands should be protected as a standard of the landscape and geographical belt of this region. In the reserves, not only animals close to extinction or rare plant species were taken under protection, but also picturesque natural landscapes, in general, the natural complexes of our region were preserved in their original form [11]. The following research methods were used during the study: retrospective analysis – analysis of the data of researchers who contributed to the study of nature reserves; geographical-visual - description of the physical and geographical features of nature reserves and determination of their reflection in reserves` names; historical analysis-discussion of the history of the formation of reserve names; cartographic method and GIS – demonstration of the distribution of reserve on the territory of Kazakhstan and identification of patterns and toponymic areas of their distribution; linguistic – etymological method-explanation of the formation and meaning of reserve names; statistical method – processing of quantitative indicators [12].

Research results and discussion. Currently, there are 1 nature reserve (Korgalzhyn State Nature Reserve), 6 national parks («Buiratau», «Bayanaul», «Burabai», «Karkaraly», «Kokshetau», «Ulytau» State National Parks), 17 state nature monuments («Raskolotaya Sopka», «Orlina Gora Sopka», «Rodnikovyy Klyuch», «Ostraya Sopka Shlem», «Ostrov Ozero Imantau», «Zelenyy Mys», «Prud s Reliktovymi Nasazhdeniyami», «Reliktovyy Massiv», «Skal'nyye Otl Ozheniya Kotyolok», «Smol'naya Sopka», «Sopka Strekach», «Sopka Dva Brata», «Malinovyy Mys», «Galic'hya Sopka», «Sopka Pozharnaya», «Vodopad s Peshcheroy», «Sopka Obozreniye», «Ostraya Sopka») and 2 state gardens (Zhezkazgan and Astana Botanical Gardens), 15 state nature reserves («Andasai», «Atbasar», «Bektau-Ata», «Belagash», «Beldeutas», «Bulandin», «Kogashik», «Karaagash», «Kuva», «Kyzylarai», «Kyzyltau», «Orlinogor», «Turan», «Vostochnyy», «Poyma Reki Irtysh») (figure 1), 4 nature reserves, and 1 ecological park (Semey Ormany State Forest Nature Reserve, Altyn Dala State Nature Reserve, Irgiz-Turgai State Nature Reserve, Altai Say Ecological Park), as well as 6 historical-archaeological monuments (Turgai Geoglyphs, Tanbaly Tas, Botai Settlement, Archaeological Complex Begazy-Dandybai, Gorodishche Bozok).


In Kazakhstan, there are 10 state reserves: Aksu-Jabagly, Nauryzym, Almaty, Barsakelmes, Korgalzhyn, Markakol, Ustyurt, West Altai, Alakol and Karatau. In Northern Kazakhstan, Nauryzym and Korgalzhyn reserves are located. In the previous sections, the involvement of the names of wild animals in the formation of toponyms was considered. In this section, toponyms related to the names of animals inhabiting the Korgalzhyn Reserve are identified. By studying the etymology of the mentioned toponyms, names of animals inhabiting this territory were revealed, which still exist and are considered relict species. For example, Bugyty Urochishe, Alabugy Urochishe, Kulanotpes River, Bulandy Aul, Tekeli Sopka, Ayak Arkar Sopka, Elikti Gora (Akmola region). Many toponyms are named in connection with the lives of animals and their habitat. For example: Kaskyratkan Urochishe, Tulqili Aul, Koyantobe Gora, Shoshkaly Urochishe (Akmola region).



Note: own study.

Reflection of natural and recreational resources in the toponyms of Saryarka




Table 1 – State nature reserves on the territory of Saryarka



The name of specially protected natural areas	Location, area, ha	Protected objects	Etymology
<p>Korgalzhyn State Nature Reserve</p> 	<p>Korgalzhyn district of Akmola region; Nura district of Karaganda region. Was founded in 1958, with an area of 543,171 hectares</p>	<p>350 species of higher plants grow here, a total of 15 species of shrubs, and 22 species of plants growing in the water give the lakes a special charm. There are 45 known species of endemics in need of protection: Kazakhstanian ribbon boron, yellow cup, tetrahedral water lily, Schober's saltpeter, etc. There are 37 species of mammals, 294 species of birds, 3 species of reptiles, 2 species of amphibians, and more than 10 species of fish. About 32 thousand coots, about 10-12 thousand ducks, swans, geese, etc. nest in Lake Korgalzhyn. The number of birds such as the white heron, red-throated karachakaz, turfan, black stork and pelican is decreasing from year to year. The reserve is home to the pink flamingo, which is very rare in the world. Of the reserve's plants listed in the "Red Book" of Kazakhstan, 37 species of birds are known, Schrenka tulip, recumbent tulip, light orange beaver grass, steppe scolia, sovereign dragonfly, short-winged bolivaria mantis, steppe locust and 20 species of birds listed in the International "Red Book". In 2008, the Korgalzhyn Nature Reserve was included in the UNESCO World Natural Heritage List, and in 2012 UNESCO recognized it for the second time as the first biosphere reserve in the Republic of Kazakhstan.</p>	<p>According to G. Konkashpaev, "khorgolzhyn" corresponds to the word "lead" in the Mongolian language. The water in the lake was most likely lead-colored. Toponymist A. Abdrakhmanov believes that this word originated in a period when the Turkic and Mongolian languages were closer to each other than in ancient times. This is confirmed by the words "korgalzhyn" – korgasyn / lead (in Mongolian) and "korgasyn" - Korgasyn (in Kazakh). In the "Dictionary of the Turkic Language" by M.Kashgari, the meaning of the word lead is given as "koruzhyn".</p>


The natural and ecological condition of the region, including fauna and flora, is subject to natural and anthropogenic changes (Kovshvar, 1989). Toponyms play an important role for botanists, biologists, and zoologists in studying the plant and animal world. For example, the presence of names of forests and animals in toponyms indicates the presence of coniferous and mixed forests in Northern Kazakhstan. Plant names found in the reserve are also present in toponyms. For example: Karabidayyk, Karakoga, Karachi (Akmola region) and others. To carry out the research the questionnaire was distributed among the control group during the study visit on the region and through the Internet - e-mail and web portals that bring together people interested in the presented topic [13].

National parks are a new form of nature conservation in our country. They have not yet gained widespread development. The main difference from reserves is that tourists and visitors are allowed to visit these places. However, there are still requirements for nature conservation. There are 14 national parks in Kazakhstan, of which 6 are located in Saryarka. These parks are among the regions that serve tourists in the country.

Table 2 – State national natural parks on the territory of Saryarka

The name of specially protected natural areas	Location, area, ha	Protected objects	Etymology
«Kokshetau» State National Nature Park 	Zerendi district Akmola region, Ayyrtau district of North Kazakhstan region. Founded in 1996, the area is 182076 hectares	There are about 200 archaeological sites, burial mounds dating back to the Bronze Age, and sites of ancient settlements in the park. The flora and fauna of the park are diverse: lichens and ferns of antiquity grow here, under the woody and shrubby vegetation of modern times. Animals include elk, roe deer, badger, fox, marten, wolf, hare, squirrel, field grouse. In 1983, a deer was introduced, which took root well. Of the invertebrates, there are about 1000 species of beetles, 220 species of shackles, 70 species of erect-winged, 64 species of spiders	The word "blue" corresponds to the meaning of "zangar - high" or "heavenly," says E. Koishybaev. According to T. Zhanuzak, the meaning of the name "kokshe" was established due to the fact that "this place is covered with mold or looks blue from afar"
«Burabai» State National Nature Park 	Burabay district of Akmola region, founded in 2000, area 129299 hectares	757 species of plants, of which 95 are rare and endangered species (large-flowered slipper, black alder, deer moss, Fuchs's palm, etc.); 305 species of vertebrates, of which 87 are rare species; there are 6 species of fish, 3 species of amphibians, 6 species of reptiles, more than 200 species of birds. Golden eagles, owls, etc. are found here. It is listed in the "Red Book" of Kazakhstan. Some insect species are protected: krasotel Semenova, Sevchuk Servila, steppe scolia, carmine Polish cochineal, etc. Under the influence of weathering and wind, unique stone sculptures are formed here: "Okzhetspes", "Sleeping Batyr", "Golden Eagle", "Camel", "Kudyr" (musk deer), "Sphinx"	On maps and historical sources of the XIX century it is designated as a "pine tree". During the Stolypin reform (early XX century), foreigners who emigrated from Russia translated the name "pine" into Russian as "bor", that is, "borovoe". The name Borovoye, which is often found in legends, is translated directly from the Russian language in the wrong sense
Karkarala State National Nature Park 	Karkaraly district of Karaganda region, founded in 1998, area 112120 hectares	There are 40 species of animals, 114 species of birds, 66 species of plants and 8 species of fish under protection. Among them are animals included in the "Red Book" of Kazakhstan: argali, manul, golden eagle, white-headed crane, white-headed duck, osprey, strepet, black stork, dry-nosed; from plants black alder, Fuchs's palm, Kyrgyz birch, Karkaralinsky barberry and smolevka, common fern, Siberian wheatgrass, feather grass and one type of moss is smooth sphagnum, etc. Among the endemic plant species are Karkaralinsky barberry and tarberry, sharp-bladed flax, Karkaralinsky wheatgrass, woolly-flowered astragalus, Karkaralinskaya regneria	In the Kyrgyz language, "korkyra" is a live bird called kokkutan (grey heron), and the second is the decoration of a girl's headdress made from the feathers of this bird (found in the works of V. Radlov, G. Konkashbaev, etc.). The word "kalkari" is also common among Turkic-speaking peoples. "Kyzyltal" is pronounced in the meaning of the valley where he grew up.

			<p>The name Karkaraly, which is beautiful in nature, can be used as a basis for the fact that the red mountain has lush foliage similar to bird feathers. However, Karkaraly is an ancient name, in the past it was called Mount Kazylyk. It is safe to say that since time immemorial there has been a place where refereeing was ruled [11]</p>
<p>Buiratau State National Nature Park</p> 	<p>Sarybel district Karaganda region, Yerementau district of Akmola region, It was founded in 2011, with an area of 88,968 hectares</p>	<p>There are more than 450 top-rooted plants. It includes more than 30 rare and limited species, such as alder, fern, boneset, spring adonis, steppe peony, kupalnitsa, Gesner's tulip. The fauna of the garden includes 45 species of mammals belonging to 5 groups and 15 families, which is 71% and 39% of the number of Kazakhstani taxa, respectively. The Yerementau argali population lives on the territory of the garden, which is separated from other populations living in the mountainous regions of Kazakhstan and has up to 200 individuals. In recent years, work has been successfully carried out on the acclimatization of marals, whose number reaches 100 individuals. The avifauna of the garden includes 227 species of birds, of which 127 are nesting. Steppe, shrubby, petrophilic, forest, meadow and wetland complexes predominate among ornithological complexes. There are 13 species of nesting birds in the "Red Book" of Kazakhstan, such as the spoon-bill, whooper swan, white-headed duck, common turpan, steppe eagle, crane, bustard, flutter, owl and 17 species of midges</p>	<p>The name of the park is an oronymic name given by local residents due to the fact that at dawn and dusk the sun's rays on the forested foothills are reflected in curls or ridges stand out in curls</p>
<p>Bayanaul State National Nature Park</p> 	<p>Bayanaul district of Pavlodar region, founded in 1985, the area is 68452.8 hectares</p>	<p>There are more than 20 archaeological sites in the park, Bronze Age mounds, stone inscriptions and symbols, caves ("Aulietas", "Dravert", "Kumyra" (Jug), etc.). Rocks ("Naizatas", "Zhumbaktas", "Kogershin" ("Pigeon") give a special charm to the nature of the park, "Atbasy", etc.), which over the years, under the influence of wind and water, turned into various sculptures. There are more than 400 species of plants (pine, birch, alder, raspberry, cherry, hawthorn, etc.), as well as sticky alder, spring adonis, which are listed in the "Red Book" of Kazakhstan. There are more than 100 species of vertebrates. There are more than 40 species of mammals (argali, roe deer, wolf, fox, lynx, badger, squirrel, etc.), more than 67 species of birds nest (swan, goose, duck, grouse, partridge, golden eagle, etc.), and more than 100 species of birds fly by. Argali, golden eagle, saker falcon are listed in the "Red Book" of Kazakhstan. The most common of the 5 species of reptiles in the park is the nimble lizard. There are 8 types of fish (pike, carp, tench, perch, etc.)</p>	<p>Bayanaul (a distorted name, the real historical name is Bayanaula; Mongolian Bayan-Ola) - the word "bayan" means "rich", and the word "ola" means "mountainous", "picturesque". Corresponds to the meaning of a rich, picturesque courtyard</p>




<p>Ulytau State National Nature Park</p> 	<p>Ulytau district of Ulytau region, founded in 1990, the area is 58912 hectares</p>	<p>Lessing's feather grass, feathery feather grass with mixed grassy vegetation of the desert, mountain valleys with a variety of grass-grass steppe, mosses and ferns are found in shady places of gorges. There are more than 400 medicinal plants, 100 forage herbs, 70 industrial plants, more than 40 species of poisonous plants, juniper, black currant, wolfberry, rosehip bush, meadowsweet, dogwood, honeysuckle, etc. Among them are endemics - Ulytau button-hole, spiny yarrow, very rare Kazakh clausia, three-haired setter, hairy fern. Of animals - fox, wolf, ermine, karsak, steppe polecat, etc., of birds there are black chased, blue nightingale, common lentil, dove, ground thrush, kestrel, common owl, owl, etc. Among the birds listed in the "Red Book" of Kazakhstan, there are black stork, golden eagle and saker falcon. There is a large collection of historical and cultural monuments in Kazakhstan, most of which were erected during the time of the Turkic Khaganate</p>	<p>The name "Ulytau", as in our modern understanding, does not mean "high, big mountain". His early personality was combined in the form of "Uluk tau", or "ala tau", and the first meaning meant such a concept as "shoktyk tau", "low mountain". As a result of the fact that over time "ulyk tau" or "alatau" underwent sound changes, the modern name "Ulytau" appeared</p>
--	--	--	---


Natural monuments hold a special place in the conservation of natural landscapes. These are individual natural objects such as rare and unique trees, caves, lakes, mountain peaks, waterfalls, gorges, and more. In Kazakhstan, there are 26 registered natural monuments; however, there are more than 60 special and unique objects in the republic. In the future, it is planned to add unique objects to the list, such as «Spruce Forests of Sauyra», «Paleontological Monument of Koshkorgan», «Karakia», «Lake Maraldy», «Karkaraly Relict Sphagnum Bog», «Birch Forest of Saybozdak», «Tarkhan Geological Complex» and «Charyn Canyon». The steep mountains in the valley of the Sileti River catch the eye as a natural monument. Rocky and hilly formations of various shapes, such as Okzhetpes, Zhumbaktas, Tuyetas, and Zhekebatyr, located in the Kokshetau Mountains, are considered unique natural monuments [14]. These exceptional natural objects have significant scientific and practical value. The main task of nature conservation is to preserve them in their pristine state.

The feature of reserves is that a certain type of activity is allowed here on a limited scale for a specified period without causing harm to the protected natural objects. Currently, in Kazakhstan, there are 80 reserves with a total area of 4,600,000 hectares. Depending on the protected object, they are divided into geological, botanical, zoological, and others. Geological reserves cover landscapes with rare geological formations and relief forms. Botanical reserves are located in the landscapes of each zone, depending on the features of the vegetation cover. Conservation and restoration of flora are carried out here. Zoological reserves cover natural complexes located along the migration routes of wild animals and birds, and the entire fauna is fully protected [15]. In addition to reserves, it is possible to organize biosphere reserves and reserves where scientific research on the state of the environment can be conducted. The organization of such territories is planned for the future of the country. In Kazakhstan, important state reserves include Almaty, Zerendi, Rahmanov Keys, and Balkhash. In the specially protected areas of Saryarka, a nomenclature of names for many plants and animals has been identified. For example, Mount Koyandytobe (Enbekshilder district), the tract Kaskyrshilik (Enbekshilder district) and others.

The territory of Turgai includes only the western part of the Kazakh smallholder. It has two geomorphological regions - Yesil and Ulytau. The Yesil region occupies the extreme part of the Kokshetau Mountains. The territory is separated from the Turgai lowland by the Yesil River. The relief of the area consists of two levels: the upper level is a flat lateral plateau with an absolute height of 340-420 m, and the lower level is an accumulative plain with an absolute height of 260-320 m. Individual hills reach heights of 10-30 m on a flat surface. Wide flat ravines are located between the hills. This territory is mainly drained by the right tributaries of the Ishim River. In the geological structure of the territory, Precambrian and Paleozoic complexes are distinguished. The latest Lower Paleozoic, Lower-Middle Devonian, Middle Devonian-Frasnian, and Upper Paleozoic fossils are formed. Sandy-clay formations were formed on the surface of rocky remnants in the Oligocene and Neogene.

Table 3 – Natural reserves on the territory of Saryarka

The name of specially protected natural areas	Location, area, ha	Protected objects	Etymology
<p>Semey Ormany State Forest Nature Reserve</p> 	<p>Beskaragay, Borodulikha, Zharma, Urzhar, Abai, Ayaguz, Kokpekty districts of the Abai region and the lands of A. Semey. Founded in 2003, the area is 654179.8 hectares</p>	<p>The purpose of the reserve is to preserve and restore the unique ribbon forests of the Irtysh region, which perform important protective functions and have special ecological, scientific, cultural and recreational value. The flora of the higher plants of the ribbon forests of the Irtysh region is represented by 344 species from 201 genera and 61 families. The flora is based on angiosperms – 340 species, including dicotyledons – 80.59% (274 species), monocotyledons – 19.41% (66 species). The fauna of the vertebrates of the reserve consists of 354 species; including round-mouthed – 2, fish - 25, amphibians - 4, reptiles - 16, birds - 234, mammals - 83 species. On the territory of the reserve there are animals listed in the Red Book of the Republic of Kazakhstan — black stork, whooper swan, osprey, golden eagle, white-tailed eagle, saker falcon, beautiful crane, peregrine falcon, snake-eater, red-throated Cossack, spoonbill, argali</p>	<p>The Kazakh form of the name Semipalatinsk, that is, the abbreviated form of the word "seven houses" translated into Kazakh. Russian Russian name "Semipalat" according to Kazakh historical sources, the name "Semey" was called "Sarchinkt" before the arrival of the Russian expedition (1718). It used to mean "wide shore" or "high shore" in the Turkish-Mongolian languages. The Kalmyks had seven tents. The name of the fortress, the city of Semipalatinsk, appeared in Russian. Currently, the name of the city of Semey has been formed</p>
<p>Altyn Dala State Nature Reserve</p> 	<p>Kostanay region Amangeldy district Dzhangeldy district Founded in 2012, the area is 489,766 hectares</p>	<p>The Nature Reserve protects the natural ecosystems and landscape features of steppes, semi-deserts, deserts, meadows and wetlands, as well as the Betpakdalin saiga population in the country. It is divided into 3 clusters: 1. Sarykopa – 52,115 ha (Sarykopa lake system). 2. Tosynkum – 95,881 ha (Tosynkum sands, left bank of the Turgai River). 3. Uly Zhylanchik – 341,670 hectares (desert steppe valley, banks of the Uly Zhylanchik river). It is home to 11 species of reptiles, 57 species of mammals, 4 species of amphibians, 9 species of fish and 275 species of birds. There are 370 species of plants (of which 23 are rare) [13]</p>	<p>G. Konkashbayev described the term "steppe" as an "open flat area" [14]. Kazakhs have long called the yellowing steppe of Saryarka the "Golden Steppe", equating it with gold. The name is given because of the golden color of the endless steppe</p>
<p>Irgiz-Turgaysky State Nature Reserve</p> 	<p>Aktobe region Irgiz district Founded in 2007, the area is 763,549 hectares</p>	<p>The task of the reserve is to preserve and reproduce the Betpakdalin saiga population. There are 29 species of mammals, 250 species of birds, 14 species of reptiles, 4 species of amphibians and 10 species of fish on the territory of the reserve. Of these, 32 rare and endangered species of birds listed in the "Red Book" of Kazakhstan: pink and curly pelicans, spoonbill, loaf, little white heron, flamingos, small swan, whooper swan, red-throated kazarka, savka, sterch, gray crane, beautiful crane, bustard, jack, strepet, gyrfalcon, thin-billed curlew, black-headed chuckler, black-bellied and white-bellied grouse, saja, peregrine falcon, saker falcon, white-tailed and long-tailed eagles, golden eagle, burial ground, steppe eagle, snake, osprey (Aimanov, 2013). . The territory of the reserve is a habitat for mammals listed in the "Red Book" of Kazakhstan: the Bobrinsky kozhanok is endemic to Kazakhstan, the barkhany cat is a rare small species in the fauna of Kazakhstan (Aimanov, 2013)</p>	<p>Historian B. Aspandiyarov believes that the name "Irgiz" is caused by a distortion of the word "Orkuz". The name "orkuz" means a high-altitude lowland, valley, that is, "mountain river", "mountain river", "mountain valley". Considering that the first part of the name "torgai" in the Khanty-Mansi language means tor/sor – "river", "water", then, joining the opinion that the second part -guy (-kai) is an addition to the diminutive, the meaning of the name can mean the following concept: "river, water in a wide valley." It is also possible that "Torgai" is the name of an ancient tribe</p>

<p>Alty Sai Ecological Park</p> 	<p>Kostanay region Dzhangeldy district Founded in 2017, 340,000 hectares</p>	<p>The first ecopark in Kazakhstan, created by the ASBK on the basis of two hunting farms. On its territory, you can see the main types of landscape typical of the southern steppes: steep chinks, lakes, rivers, sands, salt marshes and floodplain forest. More than 30 species of animals listed in the "Red Book" of Kazakhstan are under protection. "Altai Sai" is a very important habitat for saigas</p>	<p>The Association for the Conservation of Biodiversity of Kazakhstan is named after the location of six geographical objects. The term "sai" corresponds to the meaning of shallow water, dry riverbed in hollows, gullies</p>
---	--	---	---

The Kazakh smallholder is one of those places where there is its own natural identity, unique history, and unique features, revived with time. This is a very vast and rich place. Its western part was formed during the Caledonian and Hercynian folding (the eastern side). As a result of the neotectonic movement, as well as the process of weathering, the current picture of the relief of Saryarka was formed. It is formed mainly from metamorphic and igneous rocks. The geological development of the region's territory was complex and long-lasting, so it is characterized by tectonic complexity and age-related diversity of structural elements. The Kazakh smallholder consists mainly of destroyed and leveled hills, and small hilly low mountains [16]. Among them, there are large and small depressions and basins. They are internally classified according to their geological structure and the nature of the relief. Its eastern part is higher than the western one. It is a low mountain range formed by igneous and sedimentary rocks of the Paleozoic.

The main role in the formation of the relief of this region was played by the direction of the occurrence of rocks and the process of weathering. Therefore, the low mountains are destroyed. In some places, the remnants of the mountains were connected to a hilly plain. A flat plain, large and small depressions, basins alternate with each other. The relative height of low mountain ranges is 500-600 m. Between them, there is a wavy plain or a large number of scattered small hills, convex hills. The relative height of some isolated ridge hills, consisting of bedrock, is 10-50 m, sometimes reaching 100 m [17].

The lakes that are part of the protected water bodies of Kazakhstan in the territory of Saryarka include Burabai, Bolshoye Chebachye, Shchuchye and Zerendi. The territory of Arka is characterized by a succession of steppe landscapes and virgin forests of mountain slopes. One of the picturesque landscapes of Saryarka is the Kokshetau Mountains. They are located in the north of Saryarka, where granite peaks of amazing beauty are concentrated. The highest point of the Kokshetau Mountains is Mount Kokshe Tau (947 m). The territory of the Kokshetau Mountains is rich in lakes, and on their shores, various tourist bases, holiday homes, and resorts are located, attracting thousands of tourists every year.

In the Kokshetau Mountains, relict pine forests are widely spread. Evidence of this is found in the distribution of toponyms related to the names of woody vegetation. In the Saryarka territory, there are toponyms formed with the use of the lexeme «karagai» such as Karagai Urochishe, Karagaikol Lake, Karagaishoky Hill, Karagaishyk Lake (Akmola region) and others. Along the banks of the Ertis and Esil rivers, white birch, alder, aspen, and willow are widely distributed. Their names are included in geographical names, for example, Akkayyn Kordon, Karatal Urochishe, Taldyk Urochishe (Akmola region) and others.

It is evident that the issue of designating specially protected areas based on specific features, which characterize the structure of the protected areas system, is a complex, contradictory, or controversial scientific and methodological problem [18]. A comprehensive examination of this problem creates opportunities for its timely resolution, conducting relevant studies, and developing the system of protected areas. The need for creating a system of protected areas was first emphasized by N. F. Reimers, F. R. Shtilmark (1978), Y. B. Rodoman (1981) and Y. A. Isakov (1983). Among European and Baltic scientists, the experience of Latvia, as presented in the works of A. Zh. Mellumans (1982) and P. P. Kavalyauskas (Lithuania), can be mentioned. In Kazakhstan, the principles of organizing the system of protected areas were initially discussed in the works of O. T. Aidarov [19].

Modeling with the help of Geographic Information Systems (GIS) provides the opportunity for a comparative analysis of natural (landscape), social, and economic maps, maps of geocological zoning, a comprehensive assessment of the region, and can serve as an information basis for the scientific, cultural-historical justification of identifying areas for the creation of a protected areas system in the future [20].

Geographical names are an important factor in attracting tourists, as they carry the cultural code of the region. Names such as «Bayanaul», «Burabai», «Ulytau» and «Karkaraly» evoke certain associations and expectations among tourists related to natural and cultural attractions. The analysis shows that the presence of recognizable and unique toponyms contributes to the promotion of the region in the tourist market.

To identify the uniqueness of the toponymic structure of Saryarka, a comparative analysis was carried out with other regions of Kazakhstan and neighboring countries. In particular: in East Kazakhstan, names such as «Katon-Karagai» and «Markakol» are associated with natural sites of significant ecological and historical significance; in Kyrgyzstan, toponyms such as «Issyk-Kul» and «Sary-Chelek» are also actively used in the tourism industry; in Russia, In the Altai Republic, names such as «Belukha» and «Teletskoye Lake» play a similar role in the development of tourism. This analysis highlights that Saryarka has unique toponymic features that can be effectively used in tourism marketing.

The results obtained can be used to: develop tourist routes taking into account toponymic features; promote the Saryarka tourism brand internationally; preserve natural heritage and develop ecotourism. Geographical names play an important role in shaping the tourist attractiveness of the region, and their study and popularization contribute to the sustainable development of tourism in Saryarka.

Conclusion. Therefore, as nature conservation measures progress, they acquire socio-political significance. Nature conservation activities are applied not only to address social and economic challenges but also to political ones. The issue of nature protection is multifaceted. In solving it, the complementary application of ecological and geographical (comprehensive field) methods, geographic information systems (GIS), and other research methods plays a crucial role [21]. The examples provided can serve as evidence of nature conservation efforts and potential for tourism development in the region, emphasizing the significant importance of scientific research data in the future. Characterizing the nature of the protected areas system, considering them in an inseparable connection with landscapes, it is evident that their preservation is possible only through the protection of landscapes in their pristine state.

Summarizing the reserved fund and natural landmarks, it should be noted that they indicate the natural features of toponyms. Through the study of toponyms, it is possible to determine the floristic and faunistic composition of the area, the formation of toponyms, and their territorial distribution. Toponyms associated with wild nature demonstrate the geographical distribution of specific flora and fauna species. Toponyms containing names of relics and extinct animals allow for the recreation of natural landscapes of the past. The study of toponyms is important in geographical science because the examination of the history of geographical names provides insights into the development of the contemporary natural environment.

REFERENCES

- [1] Beisenova A. S. Physical geography of Kazakhstan. Almaty, 2014. 395 p.
- [2] Koshim A. G., Sergeeva A. M., Saparov K. T., Wendt J. A. Development of scientific tourism at Baikonur Cosmodrome Kazakhstan // *GeoJournal of Tourism and Geosites*. 2019. 24(1). P. 267-279. DOI 10.30892/gtg.24121-358
- [3] Wendt J. A. Poland: from changes of German names up to bilingual geographical names. Achieving Peace and Justice Through Geographical Naming // *Proceedings of the 23rd International Seminar on Sea Names*. The Society for East Sea. Seoul. 2017. http://www.eastsea1994.org/eng/board/thesis?viewMode=view&ca=2017&sel_search=&txt_search=&page=3&idx=141
- [4] Yeginbayeva A. Ye., Atasoy E., Keikin E. K. Geographical bases of the formation of toponyms of Saryarka // *Bulletin of L. N. Gumilyov ENU. Chemistry. Geography. Ecology Series*. 2023. No. 3(144). P. 63-76. ISSN: 2616-6771, eISSN: 2617-9962. DOI: <https://doi.org/10.32523/2616-6771-2023-144-3-63-76>
- [5] Chigarkin A. B. Natural monuments of Kazakhstan. Alma-Ata, 1980. 153 p.
- [6] Itegulov S. Atameken: information and educational collection. Nur-Sultan, 2019.
- [7] Iskakov M. National calendar. Kazakh state publishing house. Almaty, 1963. 33 p.
- [8] Sattimbekov R. S. Toponymic evidence of changes in the ranges of some mammals of Kazakhstan // *Izvestia of the USSR Academy of Sciences. The series is geography*. 2019. No. 3. 84 p.
- [9] Kerimbayev E. A., Tileuberdiev B. M., Duisenbi K. T. Toponymic space of southern Kazakhstan. Shymkent, 2007. 97 p.
- [10] Syzdykov S. M. Karkaraly-Kazylyk: scientific and educational book. Astana: Foliant, 2015. 77 p.
- [11] Aimanov B. A. Saiga in the Irgiz-Turgai Reserve // *Steppe Bulletin*. 2013. No. 39. P. 48-51.

- [12] Yeginbayeva A. Ye., Saparov K., Zhensikbayeva N., Nurpeisova A., Shakhantayeva Z., Keikin Y., Atış E. The role of cave names in the development of tourism in Kazakhstan // *GeoJournal of Tourism and Geosites*. 2024. Year XVII. Vol. 53, No. 2. P. 668-676. <https://doi.org/10.30892/gtg.53230-1242>.
- [13] Wendt J. A., Chroń, M., Jaźwiecka, M., Wiskulski, T. Differences in the perception and evaluation of tourist attractions of Menorca by its residents and tourists // *GeoJournal of Tourism and Geosites*. 2016. No. 9. P. 21-31.
- [14] Erdavletov S. R. The geography of tourism in Kazakhstan. Almaty, 1992. 35 p.
- [15] Illarionov A. G. Proishozhdenie. The origin and age of the Turgai trough relief: Candidate dissertation. Kazan, USSR. 1972. 17 p.
- [16] Abdullina A. G., Saparov K. T., Sergeeva A. M., Yeginbayeva A. Ye., Atasoy E. The importance of toponymy of Mugalzharly mountain plots and adjacent territories to the development of geotourism // *GeoJournal of Tourism and Geosites*. 2019. 19:664, 674 p. DOI: 10.30892/gtg.25224-388
- [17] Physical map of the Republic of Kazakhstan. Almaty: «National cartographic and geodetic fund», 2014.
- [18] Konkashbayev G. K. Kazakh folk geographical terms // *Izvestia of the USSR Academy of Sciences. The series is geography*. Alma-Ata, 1951. No. 3(99). P. 3-47.
- [19] Aidarov O. Some issues of organizing reserves in the East Aral region // *Geography and nature*. Almaty, 2004. No. 6. P. 17-20.
- [20] Yeginbayeva A. Ye., Saparov K. T., Abdullina A. G., Zhensikbayeva N. Zh., Atasoy E., Keikin Ye. K. Hydrographic names and terms of Saryarka // *Bulletin of L. N. Gumilyov ENU. Chemistry. Geography. Ecology Series*. 2024. No. 3(148). P. 93-110. DOI: <https://doi.org/10.32523/2616-6771-2024-148-3-93-110>.
- [21] Koshvar A. V. Nature reserves of Kazakhstan. Alma-Ata, 1989. 93 p.

А. Е. Егинбаева^{*1}, Қ. Т. Сапаров², Н. Ж. Женсикбаева³, Г. К. Баубекова⁴

¹ *PhD, физикалық және экономикалық география кафедрасының доцент м.а.
(Л. Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті, Астана, Қазақстан;
aeginbaeva@mail.ru)

² Г. ғ. д., физикалық және экономикалық география кафедрасының профессоры
(Л. Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті, Астана, Қазақстан;
k.sapar67@yandex.ru)

³ PhD, экология және география кафедрасының қауымдастырылған профессоры
(Сәрсен Аманжолов атындағы Шығыс Қазақстан мемлекеттік университеті,
Өскемен, Қазақстан; naz_zanibek@mail.ru)

⁴ Магистр, жаратылыстану кафедрасының аға оқытушысы
(Ахмет Байтұрсынұлы атындағы Қостанай өңірлік университеті, Қостанай, Қазақстан;
baubekova_31@mail.ru)

САРЫАРҚА ТАБИҒИ-ҚОРЫҚТЫҚ ҚОРЫ НЫСАНДАРЫНЫҢ ГЕОГРАФИЯЛЫҚ АТАУЛАРЫ

Аннотация. Мақалада Сарыарқа физикалық-географиялық аймағының географиялық атауларының маңыздылығы қарастырылады, осы аймақта туризмді дамыту үшін бұл аймақтың топонимикасын зерттеу кезінде табиғи қорықтар атауларының көрінісі, қалыптасуы және ерекшеліктері туралы нақты мәліметтер талданады. Сарыарқа табиғи-қорық қор нысандарының географиялық атауларының ерекшеліктерін номинациялау геологиялық, табиғи-географиялық, тарихи және лингвистикалық деректер негізінде жүргізілді. Осы аймақтың топонимдерінің шығу тегі мен этимологиясы нақты мәліметтерге сүйеніп зерттелген. Табиғи қорықтық қор мен табиғи ескерткіштер топонимдердің табиғи ерекшеліктерін бейнелейтіні анықталды. Сарыарқаның табиғи және рекреациялық ресурстарын сипаттайтын топонимдер картасы жасалды. Сарыарқа - табиғи, тарихи және мәдени көрікті жерлерге бай Қазақстанның кең ұсақ шоқылы таулы өлкесі. Өлкенің табиғи-қорықтық қоры нысандарының географиялық атаулары аймақтың табиғи және тарихи ерекшеліктерін сипаттап қана қоймай, сонымен бірге туристік әлеуетті дамытуда шешуші рөл атқарады. Бұл зерттеуде топонимдердің туристік нысандарды қабылдауда әсері зерттелді және Қазақстанның басқа аймақтарымен және көрші елдермен салыстырмалы талдау жүргізілді.

Түйін сөздер: Сарыарқа, топонимия, табиғи-қорық қор, туризмдегі топонимдер, географиялық терминдер, геотуризм.

А. Е. Егинбаева^{*1}, К. Т. Сапаров², Н. Ж. Женсикбаева³, Г. К. Баубекова⁴

¹*PhD, и.о. доцента кафедры «физическая и экономическая география»
(Евразийский национальный университет им. Л. Н. Гумилева, Астана, Казахстан;
aejinbaeva@mail.ru)

²Д. г. н., профессор кафедры «физическая и экономическая география»
(Евразийский национальный университет им. Л. Н. Гумилева, Астана, Казахстан;
k.sapar67@yandex.ru)

³PhD, ассоциированный профессор кафедры «экология и география»
(Восточно-Казахстанский государственный университет им. С. Аманжолова,
Оскемен, Казахстан; *naz_zanibek@mail.ru*)

⁴Магистр, старший преподаватель кафедры естественных наук
(Костанайский региональный университет им. А. Байтурсынулы, Костанай, Казахстан;
baubekova_31@mail.ru)

ГЕОГРАФИЧЕСКИЕ НАЗВАНИЯ ОБЪЕКТОВ ПРИРОДНО-ЗАПОВЕДНОГО ФОНДА САРЫАРКИ

Аннотация. Рассматривается значение географических названий физико-географического региона Сарыарка. Для развития туризма в этом регионе анализируются конкретные данные о формировании и особенностях названий природных заповедников при изучении топонимики региона. Номинация особенностей географических названий объектов природно-заповедного фонда Сарыарка проводилась на основе геологических, природно-географических, исторических и лингвистических данных. Происхождение и этимология топонимов региона исследованы в соответствии с фактическими данными. Составлена карта топонимов, которая отражает природные и рекреационные ресурсы Сарыарки. В настоящем исследовании было рассмотрено влияние топонимов на восприятие туристических объектов, а также проведен сравнительный анализ с другими регионами Казахстана и сопредельных стран.

Ключевые слова: Сарыарка, топонимия, природно-заповедный фонд, топонимы в туризме, географические термины, геотуризм.

МАЗМҰНЫ – СОДЕРЖАНИЕ – CONTENTS
**Гидрология и водное хозяйство
Гидрология және су шаруашылығы
Hydrology and water management**

- Медеу А. Р., Турсунова А. А., Махмудова Л. К., Кулебаев К. М., Нурбаццина А. А., Биримбаева Л. М.*
Прогноз водности озер Государственного национального природного парка «Бурабай» до 2050 года с учетом климатических изменений..... 3
(*Medeu A. R., Tursunova A. A., Makhtudova L. K., Kulebayev K. M., Nurbatsina A. A., Birimbayeva L. M.*
Forecast of lake water availability in the State national natural park “Burabai” up to 2050 taking into account climatic changes)
- Елтай А. Г., Базарбай Л. Б., Жағпарова Н. Н.* Волновой режим в казахстанском секторе Каспийского моря на основе численного моделирования..... 14
(*Yeltay A. G., Bazarbay L. B., Zhagparova N. N.* Wave regime in the Kazakhstan sector of the Caspian Sea based on numerical modeling)
- Malakhov D. V., Dolbnya O. V., Kurbanova R. A.* Flooding of 2024 in Turgay-Irtyz interflow: the impact on the biodiversity assessed by satellite data.....22
(*Малахов Д. В., Долбня О. В., Курбанова Р. А.* Наводнение 2024 года в Торгай-Иргизском междуречье: влияние на биоразнообразии по спутниковым данным)
- Кемербаев Н. Т., Самарханов К. Б., Мусина Г. А., Шкиева М. Х.* Опыт улучшения пространственного разрешения данных спутниковой гравиметрии GRACE для бассейна реки Жайык (Урал) с применением машинного обучения..... 31
(*Kemerbayev N. T., Samarkhanov K. B., Mussina G. A., Shkiyeva M. Kh.* Experience in improving the spatial resolution of grace satellite gravimetry data for the Zhaiyk River basin (Ural) using machine learning)
- Алимкулов С. К., Мырзахметов А. Б., Талипова Э. К., Баспакова Г. Р., Қанай М. Ә., Рүстем Д. Ә.*
Заманауи климат өзгерістері мен алаптағы су шаруашылық іс-әрекеттерді ескере отырып, Балқаш көлінің су теңдестігін зерттеу..... 41
(*Alimkulov S. K., Myrzakmetov A. B., Talipova E. K., Baspakova G. R., Kanay M. A., Rustem D. A.*
Water balance of lake Balkhash, taking into account the main climatic factors and major water management activities in the basin)
- Эм Т., Аманжолова Р., Рахимов Т., Мусаева А.* Альтернативное решение по управлению водоносными горизонтами и применение методов инфильтрации и аккумуляции в сельском хозяйстве.....56
(*Em T., Amanzholova R., Rahimov T., Musayeva A.* Alternative solution for aquifer management and application of infiltration and accumulation methods in agriculture)

**Гидрохимия и качество воды
Гидрохимия және судың сапасы
Hydrochemistry and water quality**

- Садвакасова Г. Е., Базарбаева Т. А., Аргынбаева З.М.* Қаратал, Ақсу, Лепсі өзендерінің гидрохимиялық режимінің мониторингі.....69
(*Sadvakasova G. E., Bazarbayeva T. A., Argyrbayeva Z. M.* Monitoring of the hydrochemical regime of Karatal, Aksu and Lepsy Rivers)
- Ақбаева Л. Х., Бакешова Ж. У., Тажен А. Н., Абжалелов А. Б., Евнеева Д. О., Мамытова Н. С.*
Санитарно-микробиологическая оценка озер Большой Талдыколь и Жалтырколь..... 78
(*Akbayeva L. Kh., Bakeshova Zh. U., Tazhen A. N., Abzhalelov A. B., Yevneyeva D. O., Mamytova N. S.*
Sanitary and microbiological assessment of Big Taldykol and Zhaltyrkol Lakes)

**Земельные ресурсы, ландшафтоведение и рациональное природопользование
Жер ресурстары, ландшафттану және қоршаған ортаны басқару
Land resources, landscape science and environmental management**

- Вейсов С. К., Хамраев Г. О.* Влияние литологического и гранулометрического состава песков на степень развития дефляционных процессов в Западном Туркменистане..... 88
(*Veysov S. K., Hamrayev G. O.* Influence of lithological and granulometric composition of sands on the degree of deflationary processes in Western Turkmenistan)

- Базарбаева Т. А., Ошақбай А. А., Мұқанова Г. А., Шимшиков Б. Е., Қырғызбай Қ. Т., Әлимұратқызы А.* Атырау облысы топырақ жамылғысының таралу ерекшеліктері.....97
(*Bazarbayeva T. A., Oshakbay A. A., Mukanova G. A., Shimshikov B. E., Kyrgyzbay K. T., Alimuratkyzy A.*
Features of distribution of soil cover in Atyrau region)

Климатология и метеорология
Климатология және метеорология
Climatology and meteorology

- Наурызбаева Ж. К., Монкаева Г. Е., Жунисова М. А., Рахматулла Н. Е., Еркинова Г. А.*
Ожидаемые изменения температуры воздуха и осадков по климатической модели ВСС-СSM1-2
для бассейна реки Сырдария..... 109
(*Naurozbayeva Zh. K., Monkayeva G. E., Zhunissova M. A., Rakhmatulla N. E., Yerkinova G. A.*
Expected changes in air temperature and precipitation from the ВСС-СSM1-2 climate model
for the Syrdarya River basin)

Опасные экзогеодинамические процессы
Қауіпті экзогеодинамикалық процестер
Dangerous exogeodynamic processes

- Попов Н. В., Ранова С. У., Камалбекова А. Н., Алдаберген Ұ. Р., Скоринцева И. Б.*
Аналитический обзор исследований прорывных гляциальных селей в Казахстане..... 125
(*Popov N. V., Ranova S. U., Kamalbekova A. N., Aldabergen U. R., Skorintseva I. B.* Analytical review
of research on glacial lake outburst floods in Kazakhstan)

Рекреационная география и туризм
Рекреациялық география және туризм
Recreational geography and tourism

- Егембердиева К. Б., Валеев А. Г., Юшина Ю. А., Скоринцева И. Б.* Оценка рекреационной нагрузки
на туристские маршруты и береговые линии озер ГНПП «Бурабай»..... 140
(*Yegemberdiyeva K. B., Valeyev A. G., Yushina Yu. A., Skorintseva I. B.* Assessment of recreational load
on tourist routes and shorelines of lakes of the «Burabay» SNNP)

Топонимика
Топонимика
Топонимика

- Yeginbayeva A. Ye., Saparov K. T., Zhensikbayeva N. Zh., Baubekova G. K.* Geographical names
of objects of the Saryarka nature reserve fund..... 153
(*Eginbayeva A. E., Saparov K. T., Zhensikbayeva N. Zh., Baubekova G. K.* Географические названия объектов
природно-заповедного фонда Сарыарки)

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 қабылдау 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 20.03.2025 қол қойылды.
Пішіні 60x88¹/₈. Оффсеттік басылым.
Баспа – ризограф. 10,75 п.л.
Таралымы 300 дана.

Подписано в печать 20.03.2025.
Формат 60x88¹/₈. Бумага офсетная.
Печать – ризограф. 10,75 п.л.
Тираж 300.

Passed for printing on 20.03.2025.
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