

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**

4

ҚАЗАН – ЖЕЛТОҚСАН 2025 ж.
ОКТЯБРЬ – ДЕКАБРЬ 2025 г.
OCTOBER – DECEMBER 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** (Қырғызстан); доктор географических наук **Н. А. Амиргалиев**; доктор геолого-минералогических наук **М. К. Абсаметов**; кандидат географических наук **А. Л. Кокарев**; доктор PhD **А. С. Мадібеков**; кандидат геолого-минералогических наук **Е. Ж. Муртазин**; доктор географических наук **А. В. Чередниченко**; кандидат географических наук **А. А. Турсунова**; кандидат географических наук **М. М. Молдахметов**; кандидат географических наук **Л. К. Махмудова**; кандидат географических наук **А. С. Нысанбаева**

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

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

Editorial Board:

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

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

Собственник АО «Институт географии и водной безопасности»

Подписной индекс для юридических лиц: **24155**

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

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

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

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

Гидрология и водное хозяйство

Гидрология және су шаруашылығы

Hydrology and water management

<https://doi.org/10.55764/2957-9856/2025-4-3-15.42>

МРНТИ 70.17.47
УДК 627.8:556.38

Б. С. Ботантаева^{*1}, А. Р. Вагапова², К. Е. Калиева³

¹ К. т. н., ассоциированный профессор

(Казахский автодорожный институт им. Гончарова, Алматы, Казахстан; botantaeva_b@mail.ru)

² К. т. н., старший преподаватель (Казахский национальный исследовательский технический университет, Алматы, Казахстан; vagapova-alina@rambler.ru)

³ PhD, старший преподаватель (Казахский национальный аграрный исследовательский университет, Алматы, Казахстан; karla_3@mail.ru)

ОЦЕНКА И СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ЗАЩИТЫ ТЕРРИТОРИЙ ОТ ЗАТОПЛЕНИЯ В БАССЕЙНЕ РЕКИ НУРА

Аннотация. Река Нура является главной водной артерией огромной Тениз-Коргалжынской впадины. Истоком реки является слияние нескольких небольших родников. В верхнем течении (до впадения в р. Акбастау) река имеет названия Керегетас, Карашоқы, Байкожа. Весеннее половодье начинается почти одновременно на всех водотоках бассейна с середины марта, продолжается до середины мая, а на некоторых водотоках и до середины июня. За период проходит более 80% всего годового стока. Характер половодья рек бассейна однообразен. Начинается половодье во время интенсивного снеготаяния, чаще всего поверх льда. На пересыхающих водотоках сток проходит в заснеженном русле, обычно в первой половине апреля. Общая продолжительность половодья составляет 16-42, наибольшая – 36-100, наименьшая – 1-18 дней. Высокий уровень держится от нескольких часов до 1-3 дней, падение уровня идет довольно медленно и растягивается до двух месяцев (апрель-май). В статье использованы данные по гидрологической изученности Казгидромета. Выполнен анализ расчетных максимальных расходов весеннего половодья реки, ее расчетных объемов половодья, амплитуд колебаний уровней воды и уровней воды различной обеспеченности. Представлены характеристика водохранилищ бассейна, мероприятия по предотвращению затопления территорий и населенных пунктов. Построен продольный профиль по водоразделу Нура–Есиль. Для расчетов использованы СНиПы, методики, указанные в литературе. Статья имеет особую ценность при преподавании гидрологии, для безопасности жизнедеятельности, строительства гидротехнических сооружений и автомобильных дорог, может быть использована при корректировке СКИОВР. Анализ затопления паводковыми водами выполнен с использованием картографического материала М 1:1000 000.

Ключевые слова: река, водные ресурсы, бассейн реки, водообеспеченность, гидрологический пост, годовой сток.

Введение. Бассейн р. Нура расположен в глубине материка и удален от океанов и морей. Вследствие отсутствия на севере и юге высоких естественных барьеров территория доступна для перемещения теплого сухого субтропического воздуха пустынь Казахстана и Средней Азии, холодного бедного влагой арктического воздуха, перемещающегося в меридиональном направлении. Доступ влажных атлантических воздушных масс затрудняется Уральскими горами, а тихоокеанских – Средне-Сибирским плоскогорьем и горными массивами Алтая. В результате этих особенностей климат рассматриваемой территории резко континентален, зима холодная и малоснежная [1].

Атмосферные осадки распределяются неравномерно. Годовое количество осадков по МС Бес-Оба и МС Караганда составляет 265-315 мм. Наибольшая месячная сумма осадков приходится на летние месяцы (июнь-июль), наименьшее количество осадков выпадает обычно в январе-марте. Осадки за теплый период года по МС Самарское и Бес-Оба колеблются от 198 до 223 мм и составляют 70-80 % годовой нормы. Формирование снежного покрова происходит до февраля, средние запасы воды в снеге – 78 мм, абсолютный максимум – 175 мм.

Образование устойчивого снежного покрова приходится на вторую декаду ноября. Продолжительность периода его в залегания составляет в среднем 150 дней, увеличиваясь с юга на север. Разрушение устойчивого снежного покрова наступает в середине апреля. В ранние весны снег сходит во 2-й декаде марта, в поздние – до начала мая.

Методы и материалы. Для проведения исследования использованы опыт строительства противопаводковых сооружений в Австрии, данные справочников гидрологической изученности Гидромета, материалы проектных изысканий института «Ленгидропроект», института ПК «Казгипроводхоз», крупномасштабные карты, гидравлические и гидрологические справочники, Методика по оперативному установлению абсолютного прямого ущерба, наносимого наводнениями предприятиям, организациям, учреждениям и личной собственности граждан Филипповой Ю. Н. [9], методики водохозяйственных расчетов, разработанные Крицким С. Н. и Менкелем М. Ф. [11], методические рекомендации по оценке воздействий гидротехнических сооружений на окружающую среду, базирующиеся на трудах Стефанишина Д. В. [19], Василевского А. Б., Мгалобелова Ю. Б. [18], Зотеева В. Г., Морозова М. Г., Приходько М. Г. [20] и др.

Современные исследования иностранных учёных показывают, что защита территорий от затоплений требует комплексного подхода, сочетающего инженерные, природоориентированные и управленческие решения (Rehman, Farooq & van de Giesen, 2020; Takin, Cilliers & Ghosh, 2023). По данным систематических обзоров литературы (Marín-Muñiz et al., 2021; Koerniawan, Setiawan & Laksito, 2023), эффективное управление паводковыми рисками должно опираться на оценку водных ресурсов, пространственное планирование и региональные особенности. Важную роль также играет взаимодействие научных учреждений, органов управления и промышленного сектора в разработке программ по предотвращению затоплений (Issakov, Johnson & Liu, 2025).

Как отмечается в работе [22], комплексный подход к управлению рисками затопления является ключевым фактором снижения ущерба и защиты территорий. Подобные выводы подтверждаются исследованиями [23], которые подчеркивают необходимость системного анализа гидрологических данных. Согласно [24] использование природоориентированных решений и зеленой инфраструктуры повышает устойчивость речных бассейнов к затоплениям. Зарубежный опыт, представленный в [25], показывает эффективность региональных программ по снижению последствий наводнений. Кроме того, в работе [26] отмечается важность участия промышленных и хозяйственных структур в реализации мероприятий по предотвращению затоплений.

Гидрологическая характеристика рек бассейна. Река Нура берет свое начало в западной части Каркаралинских гор в зоне высот 900 м и имеет длину 978 км. На центральном участке река Нура протекает в зоне влияния на г. Астану и имеет зону бифуркации (перетока) в бассейн р. Есиль, затем впадает в систему Тенгиз-Коргалжынских озер. Крупными притоками р. Нура являются Акбастау (108 км), Матак (55 км), Ащису (77 км), Шили (52 км), Ошаганды (60 км), Шебурай-Нура (281 км), Есен (85 км), Улкен Кундузды (115 км).

Ширина поймы р. Нура на центральном участке 15 км, глубина затопления поймы – 1,5-3,0 м, глубина воды в реке – 2-4 м, ширина русла реки – 15-40 м. Берега реки устойчивые, высотой до 12 м. Скорость течения в паводок составляет 1,0-1,4 м/с, в межень – 0,4-1,2 м/с. Выраженных участков размыва берегов не имеет.

Среднемноголетний сток в створе г/п Романовка 619 млн м³ в год. С 1975 года в формировании стока участвуют воды реки Ертис, транспортируемые по каналу Ертис–Караганда – до 130 млн м³ в год. По оценке в проекте «Реконструкция Интумакского водохранилища» (2005) среднемноголетний сток в створе г/п Романовка оценивается в 681 млн м³/год.

Река Нура и другие реки бассейна оз. Тениз питаются в основном весенними тальми водами, подземное питание незначительно. Максимальные расходы определяются исключительно снеготаянием. Однако многоснежная зима не является гарантией большого расхода воды, тем более если весеннее потепление затяжное. Многоводные паводки формируются при резком раннем

потеплении, когда вода стекает по замерзшей почве и не впитывается в почву. Поэтому основной особенностью водного режима р. Нура является ярко выраженное весеннее половодье. Вслед за половодьем наступает летне-осенне-зимняя межень. Весенний подъем уровня воды начинается обычно в первой декаде апреля. В некоторые годы начало половодья задерживается до конца апреля, а иногда наблюдается уже в середине марта. Высота подъема волны половодья в средние по водности годы составляет 3 м, в многоводные годы – более 5 м (1954 г. с. Романовское – 506 см), а в маловодье – несколько десятков сантиметров (1936 г. с. Романовское – 17 см).

В нижнем течении р. Нура приближается к водоразделу р. Есиль. Водораздел на этом участке местами плохо выражен. С этим связано периодическое соединение рек Нуры и Есиль в месте их наибольшего сближения. Участок бифуркации протяженностью около 20 км начинается ниже с. Романовское в 15 км. Территория междуречья, в пределах которой происходит бифуркация, представляет собой долинообразное понижение шириной до 6 км с общим уклоном 0,45 промилле в сторону р. Есиль. Наинизшие точки водораздела находятся в 1-5 км от правого берега Нуры и превышают меженьный уровень реки всего на 1,5-2 м (высота половодья у с. Романовское более – 5 м). Соединение Нуры с Есилем происходит обычно по трем протокам – Саркрама, Козгош и Муқыр, объединяющихся в одно русло (Козгош) за 9 км от р. Есиль. Козгош впадает в Есиль вблизи сел Талапкер и Воздвиженка.

В 30-х годах XX века протоки были перекрыты несколькими плотинами с целью затопления лиманных лугов. В 60-е годы высота дамбы на Саркраме вблизи Нуры была доведена до 3 м при отметке верха 353 м БС. По гидравлическим расчетам перелив через дамбу происходит при расходах воды в р. Нура около 800 м³/с.

Переток стока из Нуры в Есиль весьма опасен с точки зрения защиты г. Астаны от затопления паводковыми водами.

Результаты. Гидрологическая изученность поверхностных вод бассейна. С 1916 года имеются прерывистые сведения о стоке р. Нура у с. Романовское. Развитие гидрологической сети в бассейне началось с 1931 г. Временная сеть эксплуатационных пунктов, созданная ГГИ, КазУГКС и другими ведомствами, насчитывала около 47 постов, в настоящее время 6. К основным недостаткам материалов по стоку рек следует отнести малую продолжительность наблюдений и неравномерное размещение постов по территории. Самый длинный ряд наблюдений имеется по створу р. Нура у с. Романовское.

В настоящее время в бассейне р. Нура ведутся наблюдения на 6 гидрологических постах. Основные гидрографические характеристики крупных рек бассейна приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Опорные гидрометрические посты

Table 1 – Reference hydrometric posts

№ п/п	Река – створ	Действующая площадь водосбора, км ²	Период наблюдений	Число лет
1	Нура – Шешенкара (Пролетарское)	8320		
2	Нура – Сергиопольское	12 300	1931-2024	74
3	Нура – Романовское	45 100	1932-1943, 1945-1959, 1973-2024	59
4	Шерубайнура – Кара-Мурун	8700	1947-1950, 1957-2024	52
5	Шерубайнура – Центральный хутор	10 600	1931-1945, 1947, 1950	17
6	Соқыр – Акжар (Курлус)	1300	1948-1953, 1955-1997	49

Выполнен анализ расчетных максимальных расходов весеннего половодья реки Нура, ее расчетных объемов половодья, амплитуд колебаний уровней воды и уровней воды различной обеспеченности.

Максимальные расходы воды рек Нура, Коланутпес, Кон (бассейн оз. Тениз) приведены в таблице 2.

В условиях равнинного Казахстана сток за период половодья как на малых водотоках, так и на средних реках составляет около 90-95% от объема годового стока. Это соотношение является достаточно устойчивым в годы различной водности. Лишь в очень маловодные годы, когда в

Таблица 2 – Расчетные максимальные расходы весеннего половодья

Table 2 – Estimated maximum flow rates of spring floods

Река – створ	Водохозяйственный участок	Среднеголетние параметры			Расчётные расходы воды различной обеспеченности, м ³ /с				
		Q ₀ , м ³ /с	C _v	C _s	0,1%	1%	2%	5%	10%
Нура – Шешенкара	06-55-00-1	151	1,09	2,10	1140	752	635	482	363
Нура – Сергиопольское		260	1,02	2,05	1840	1220	1040	792	603
Нура – Романовское	06-55-00-4	502	1,02	2,04	3550	2360	1980	1530	1170
Шерубайнура – рзд. Кара-Мурун	06-55-00-5	152	1,09	2,05	1140	753	637	484	366
Кон – зим. Бирлик	06-55-00-6	126	0,96	1,92	820	552	489	365	283
Коланотпес – 1 отд. свх. «Кургальджинский»		333	0,65	0,98	1301	981	899	737	622

суммарном стоке несколько возрастает доля грунтового питания, удельный вес паводочного стока уменьшается до 70-80%. Паводки дождевого происхождения, как правило, не превышают снеговое половодье. Специальные наблюдения за дождевыми паводками в бассейне не проводились.

Ряды объемов стока весеннего половодья р. Нура у сел Сергиопольское и Романовское включают в себя два периода, связанные со строительством канала имени К. Сатпаева: условно-естественный период до ввода в эксплуатацию канала (1935-1973 гг.) и период с искаженным стоком (1974-2024 гг.) после ввода в эксплуатацию канала. 39-летние ряды наблюдений 1935-1973 гг. с относительно надежными данными недостаточны для определения параметров стока с допустимой погрешностью. При большой изменчивости стока р. Нуры как внутри года, так и по годам продолжительность ряда должна быть длиннее, чем 39 лет. Поэтому в качестве исходных расчетных рядов объемов половодья (р. Нура – села Сергиопольское и Романовское) взяты 90-летние ряды (1935–2024 гг.), в которых за период 1935–1973 гг. приняты фактические данные измерений, а за период 1973–2024 гг. – восстановленные (естественные) значения объемов стока весеннего половодья. В таблице 3 приводятся значения стока рек бассейна.

Таблица 3 – Расчетные объемы половодья

Table 3 – Estimated flood volumes

Река – створ	Водохозяйственный участок	Период подсчёта стока, годы	Среднеголетние параметры			Расчётные объемы воды различной обеспеченности, км ³				
			W ₀ , км ³	C _v	C _s	1%	2%	5%	10%	25%
Нура – Сергиопольское	06-55-00-1	1935-2024	0,14	0,96	1,92	0,60	0,50	0,40	0,31	0,19
Нура – Романовское	06-55-00-4	1935-2024	0,41	0,86	1,72	1,62	1,45	1,10	0,87	0,56
Шерубайнура – пос. Центральный хутор	06-55-00-5	1933-1945, 1947-1950	0,12	0,94	1,88	0,54	0,44	0,36	0,28	0,17
Коланотпес-1 отд. свх. «Кургальджинский»	06-55-00-6	–	0,15	0,65	1,30	0,47	0,43	0,34	0,28	0,20
Кон – зим. Бирлик		–	0,07	0,91	1,82	0,28	0,25	0,19	0,15	0,10

Уровеньный режим рек. Высота подъема волны половодья в средние по водности годы составляет 3 м, в многоводные годы – более 5 м (1954 г. с. Романовское – 506 см), а в маловодье – несколько десятков сантиметров (1936 г. с. Романовское – 17 см). Наибольшая годовая амплитуда колебаний уровня реки отмечена на г/п с. Романовское – 864 см (1943 г.), в среднем течении амплитуда не превышает 5 м, г/п Сергиопольское – 455 см, г/п Шешенкара – 407 см (1977 г.). В таблице 4 приведены максимальные наблюдаемые уровни воды по гидрометрическим постам.

На фоне летне-осенней межени наблюдаются кратковременные подъемы уровня, вызванные выпадением дождей. Подъемы эти не превышают 0,5 м и отмечаются в среднем один раз в пять лет. Дождевые паводки, как правило, продолжаются 10 дней и не оказывают существенного влияния на характер межени. После их прохождения на реке быстро восстанавливается предпаводочный режим.

Таблица 4 – Наблюдаемые амплитуды колебаний уровней воды

Table 4 – Observed amplitudes of water level fluctuations

Река – створ	Расстояние от устья, км	Отм. «0» графика поста, м БС	Наибольшая амплитуда, см	Дата	Максимальный уровень воды, м БС
Нура – Бес-Оба	894	709,31			
Нура – Пролетарское	780	543,0	473	23.04.1954	547,73
Нура – Сергиополь	705	488,2	789	15.04.1943	496,09
Нура – Волковское	576	452,0	418	15.04.1943	456,18
Нура – Преображенское	369	349,8	597	26.04.1921	355,77
Нура – Романовское	369	349,65	864	17.04.1943	358,29

Таблица 5 – Уровни воды различной обеспеченности, см

Table 5 – Water levels of different availability, cm

Река – пункт	Расстояние от устья, км	Уровни и расходы воды различной обеспеченности, %			
		0,01		1,0	
		Уровень воды	Расходы, м ³ /с	Уровень воды	Расходы, м ³ /с
Нура – г/п № 5 1км выше сброса	677	486,70	2640	484,68	1270
Нура – с. Чкалово	672	485,70	2640	484,40	1280
Нура – с. Тегизжол	660	485,80	2930	484,00	1540
Нура – с. Ростовка	652	470,05	3020	469,50	2260
Нура – г/п с. Молодецкое	631			465,10	2260
Нура – с. Захаровка	550	424,70	4200	421,80	2080
Нура – п. Коргалжын	194	324,70	3700	323,20	1800

Водоохранилища. Режим реки Нура в многоводные годы в существенной степени зависит от регулирования стока водохранилищами. Использование полезных и форсированных объемов для срезки пиков половодья позволяет в отдельные годы снизить максимальные расходы.

Самые крупные водохранилища: Шерубайнуринское на р. Шерубайнура (полезная емкость 180 млн м³) и Самаркандское на р. Нура (полезная емкость 72 млн м³).

Шерубайнуринское водохранилище многолетнего регулирования имеет комплексное назначение. Самаркандское водохранилище являлось источником водоснабжения городов Караганды и Темиртау, осуществляя многолетнее регулирование стока. С приходом Ертисской воды рабочая призма Самаркандского водохранилища, уменьшенная с 197 до 100,2 млн м³, используется главным образом для сезонного перераспределения воды.

Мелкие водохранилища полезной емкостью от 0,9 до 28 млн м³ применяются главным образом для орошения (таблица 6).

В настоящее время на р. Нура ниже устья р. Шерубайнура реконструируется Интумакское водохранилище с полезной емкостью 100 млн м³. Интумакское водохранилище является дополнительной регулирующей емкостью, позволяющей обеспечить регулярные попуски для забора в канал Нура-Есиль, для сельского хозяйства и в природоохранных целях (для Тениз-Коргалжынского заповедника).

Затопливаемые территории бассейна реки Нура. По данным Карагандинского областного управления по чрезвычайным ситуациям с 1996 по 2024 год затопление населенных пунктов и городов в бассейне р. Нура наблюдалось в 2001, 2002, 2004, 2015 и 2024 годах. В том числе по бассейну р. Нура:

– в 2001 году произошло разрушение плотины Кокозек, что привело к размыву дороги и моста по автодороге Караганда–Балкаш на участке 2 км, автодороги Караганда–Жезказган;

– в 2002 году затоплены н.п. Заречное (76 домов) и Просторное, размыва автодорога Кызылорда–Павлодар;

Таблица 6 – Основные характеристики водохранилищ бассейна

Table 6 – Main characteristics of the basin reservoirs

№ п/п	Водохранилище	Вид регулирования	Средний приток, млн м ³	Площадь зеркала	Проектная емкость, млн м ³	
					полная	полезная
1	Буденновское	Мног.	14,0	5,1	12,6	12,3
2	Ащысуское	Мног.	35,0	6,8	18,0	6,8
3	Ботакара	Мног.	18,0	15,9	28,8	15,9
4	Туздинское	Сезон.	10,3	5,9	9,0	5,9
5	Кокпектинское	Сезон.	7,2	0,4	1,4	0,4
6	Самаркандское	Сезон.	229	72	87,5	72
7	Коммунарское	Мног.	1,3	0,4	1,1	0,4
8	Шокайское	Мног.	8,3	1,3	4,6	1,3
9	Ашагандинское	Мног.	13,8	1,6	5,0	1,6
10	Койбас	Мног.	1,6	0,8	1,4	0,8
11	Тихоновское	Мног.	1,6	0,5	1,4	0,5
12	Акбастауское	Сезон.	16,1	0,8	2,3	0,8
13	Туматай	Сезон.	7,3	0,7	1,0	0,7
14	Краснополенское	Сезон.	169	2,1	3,5	2,1
15	Бурминское	Сезон.	7,2	0,7	2,1	0,7
16	Жартасское	Недел.	181	5,0	10,0	5,0
17	Шерубайнуриское	Мног.	181	38,2	180	38,2
18	Топарское	Сезон.	16,2	1,1	3,1	1,1
19	Федоровское	Мног.	22,0	4,3	12,8	4,3
20	Чкаловское	Мног.	3,8	2,0	5,5	2,0
21	Саранское	Мног.	7,5	5,4	8,0	5,4
22	Интумакское	Мног.	446	42	18,0	42
23	Самарский г/у	Недел.	450	3,9	14,0	3,9
24	Комсомольское	Мног.	4,1	0,4	1,0	0,4
25	Сабыркожи	Мног.	13,6	0,6	1,8	0,6

– в 2004 году в зоне нижнего бьефа Самаркандского водохранилища затоплены и подтоплены н.п. Садовое, Гагарина, Чкалово (98 домов, эвакуировано 309 человек, 191 голова скота), в зоне Интымакского водохранилища – н.п. Актобе (9 домов, эвакуировано 54 человек, 189 голов скота);

– в 2014 г. во время снеготаяния водохранилище Кокпекты переполнилось, отсутствие сбросных сооружений не позволило снизить объем воды в водохранилище, что привело к прорыву плотины.

В зону затопления паводковыми водами в бассейне реки Нура, по данным Карагандинского областного управления по чрезвычайным ситуациям, попадают следующие населенные пункты:

– по Абайскому району – г. Караганда, дачный массив, н.п. Талап, Красный Кут, Самарский, Есенгельды, Захаровка, Тлаховка, Актобе, Родники, Тихоновка;

– по Бухар-Жыраускому району – н.п. Андрониково, Тенгизжол, Амангельды, Ростовка, Березняки, Самарканд, 1-е отд. к/х Темиряева, ст. Нуринская, Заречное, Садовое, Гагаринское, Чкалово;

– по Шетинскому району – н.п. Мойынты, Просторное, Мухтарское, Деренсал, Коктенколь, Бурма, Кайракты, Батык, п. Жаманши;

По Акмолинской области подвержены затоплению следующие населенные пункты:

– по Целиноградскому району – н.п. Садырбай, Оразак, Бирлик, Жанажол;

– по Коргалжынскому району – с. Коргалжын, а/д мост с. Коргалжын, п. Сабынды.

Автомобильные дороги, подвержены размыву и разрушению в результате затопления:

– автодороги республиканского значения – Караганда–Балкаш – 2 км, мост; Караганда–Аягуз – 0,5 км, мост с пролетом – 25 м, Павлодар–Кызылорда – 2,5 км;

– автодороги местного значения – Атасу–Айнабулак 3 км, Коксу–Жанатас – 1,5 км, Сабыр кода – 2 км, АО «ЮТРУ»/ ЧП «СДА» – 2 км, с/о Сарепта – 1,5 км.

В 2002 году, когда объемы и максимумы половодья на большинстве рек бассейна превышали средние значения в 2-3 раза, пострадало от половодья более 900 человек, из них 363 было эвакуировано.

В 2014 году Карагандинская область оказалась в эпицентре катастрофических паводков, было затоплено около ста населенных пунктов. В результате первого таяния снега подтопило почти 30 поселков. Погибли свыше 350 голов скота. Около тысячи человек эвакуировали. После второй волны подтопления подверглись еще 20 населенных пунктов, пять из которых были затоплены полностью. Кроме того, есть угроза затопления 10 населенных пунктов Акмолинской области и пригорода Астаны, расположенного на русле реки Нура. Частично затоплены города Караганда, Абай, Сарань и Темиртау. Больше всего наводнения затронули Каркаралинский, Абайский, Жанааркинский, Шетский и Бухар-Жырауский районы

Нура-Есильское междуречье ниже 15 км с. Романовское имеет зону бифуркации вод протяженностью около 20 км. В 1974 году высота дамбы на Саркраме вблизи Нуры была доведена до 3 м при отметке верха 353 м БС. По гидравлическим расчетам перелив через дамбу происходит при расходах воды в р. Нура около 800 м³/с (рисунок 1). По имеющимся данным основная часть оттока из Нуры всегда перетекала по Саркраме.

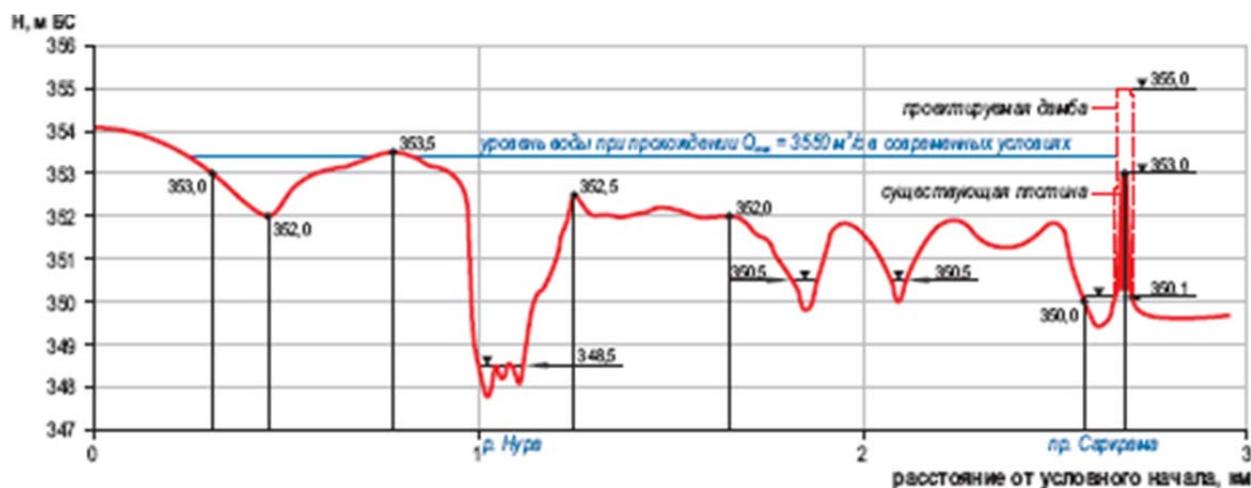


Рисунок 1 – Продольный профиль по водоразделу Нура–Есиль

Figure 1 – Longitudinal profile of the Nura–Yesil watershed

При современной отметке дамбы на протоке Саркрамы за период непрерывных наблюдений у с. Романовское с 1928 по 2004 г. перелив в сторону р. Есиль по Саркраме происходил в 1928, 1941, 1945, 1948, 1949, 1960, 1972, 1990 и 1993 гг. По свидетельству жителей междуречья (с. Коши) в 1972 году было в основном заполнено водами р. Нуры г/п Романовское – 1064 м³/с. По их же свидетельству вода из Нуры приходила в междуречья в 1988, 1991, 1996, 2001 и 2002 гг.

В нынешних условиях поступление нуринского стока в р. Есиль происходит примерно в год 10 % обеспеченности.

Территория междуречья, в зоне бифуркации, представляет собой долинообразное понижение шириной до 6 км с общим уклоном 0,45 промилле в сторону Есиля. Наинизшие точки водораздела находятся в 1-5 км от правого берега Нуры и превышают меженный уровень реки всего на 1,5-2 м (высота половодья у с. Романовское более 5 м). Соединение Нуры с р. Есиль происходит обычно по трем протокам – Саркрама, Козгош и Мукыр (рисунок 2), объединяющихся в одно русло (Козгош) за 9 км от р. Есиль. Козгош впадает в Есиль вблизи сел Талапкер и Воздвиженка. Емкость Нура–Есильского междуречья (район проток Саркрама, Козгош и Мухор) – около 400 млн м³.

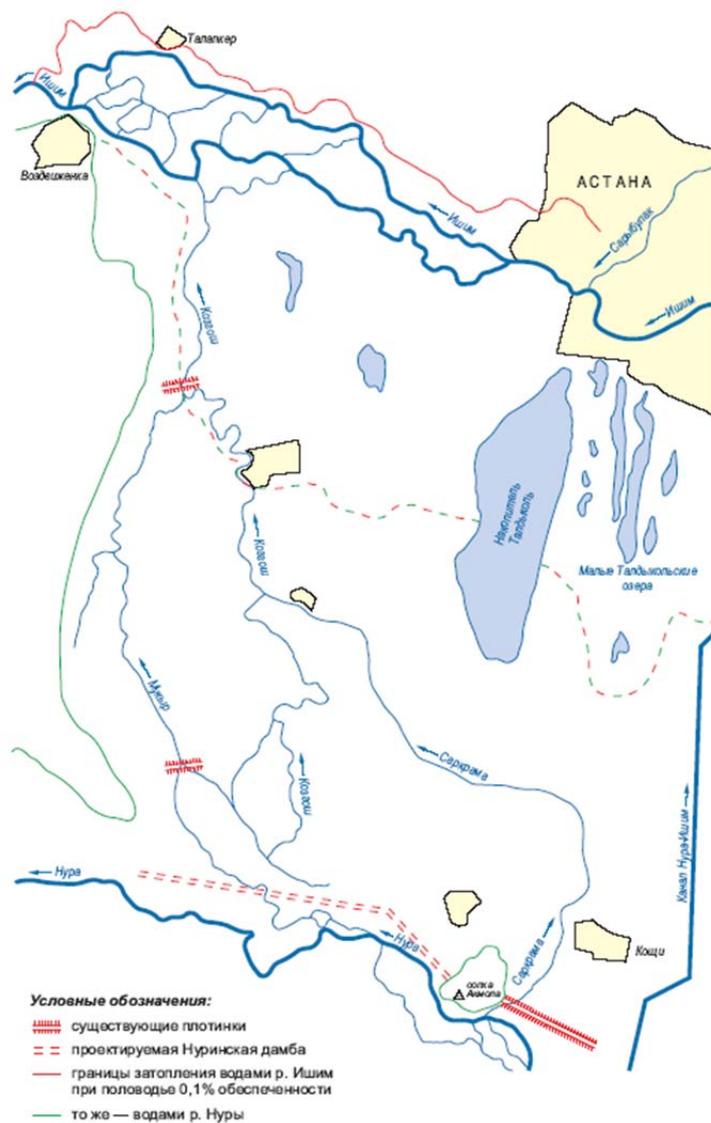


Рисунок 2 – Схема Нура–Есильского междуречья

Figure 2 – Diagram of the Nura–Yesil interfluve

При переливе Нуры в протоки, совместные с Есилем, поступление воды в междуречье может составить до 350 млн м³/сут (при половодье $P = 0,1\%$). Отток по р. Есиль ниже столицы ограничивается объемом 13-150 млн м³/сут. Дополнительные объемы притока рек вызовут подпор и затопление юго-западной и западной частей Астаны.

Следует добавить, что искусственно созданное половодье в мае 2004 года сбросом воды из лиманной системы «Алва» в результате затопления моста в течение месяца лишило население пос. Коргалжын (хутор, маслозавод) возможности проезжать в центральный поселок для посещения школы, работы, магазинов, больницы, пополнения питьевой водой. Для этого им приходилось вместо одного километра, совершать поездки в 30 км. В многоводные годы случаются затопления части поселков, расположенных по берегам Нуры.

Анализ затопления паводковыми водами выполнен с использованием картографического материала масштаба 1:1000 000 и др. По указанным материалам составлен продольный профиль р. Нура от истока до устья, на который нанесены дно реки, правая и левая бровки земли, отметки максимального расхода 1%-й обеспеченности и местные характерные названия, ориентирующие положение реки. Анализ показателей профиля показывает, что в верховой части, примерно до 170 км, значительных участков с превышениями максимальных горизонтов над бровками не отмечается.



Рисунок 3 Мост в пос. Коргалжын через р. Нура (весна 2006 г.)
Figure 3 – Bridge in the village of Korgalzhyn across the Nura River (spring 2006)



Рисунок 4 – Этот же мост весной 2024 г.
Figure 4 – The same bridge in spring 2024

Далее по мере уполаживания уклона местности и соответственно дна реки появляются местами участки превышения указанных горизонтов над бровками, а в районе Самаркандского водохранилища эти превышения уже весьма существенны.

Обсуждение. В нижнем бьефе водохранилища превышения также имеют место, что подтверждается фактическими данными паводка 2024 года (затопление поселков Чкалово, Гагаринский, Андропонниково, Тогисжолу, Ростовка, Березняки). В районе Интумакского водохранилища также отмечается превышение максимальных горизонтов.

Проектом намечена противопаводковая дамба высотой порядка 4,0 м. Ниже Интумакского водохранилища также возможны затопление и подтопление поселков Интумак, Пруды, Самарское, Есенгельды, Плаховка, Изумрудный.

Далее местами возможен выход на пойму и только на участке 550-600 км. Здесь возможно затопление сел Ахетаул, Романовка и пос. Правобережный. От затопления населенных пунктов и для предотвращения попадания вод р. Нура в реку Есиль здесь намечено строительство защитной дамбы. Ниже затопление может проявиться в районах поселков Борлы, Орзак, Жанажол, еще ниже – поселков Садырбай и Коргалжын и других сел и аулов.

Защитные сооружения от паводков определены согласно типовым сечениям защитных дамб, автодороги по дамбе, крепления берега ж/бетонными плитами.

Помимо ущерба, наносимого жилым, производственным постройкам, коммунальным и транспортным объектам, паводки наносят огромный ущерб орнито- и ихтиофауне в пойме Нуры. Так, головной гидроузел лиманной системы «Алва» в результате подпора образует огромные разливы, которые провоцируют здесь нерест в конце апреля, начале мая многих видов рыб. Затем при залповом сбросе воды икра рыб, их личинки и молодь, оставшиеся на затопленных лугах, погибают. Разливы р. Нура ниже плотины в мае провоцируют здесь нерест рыб с более поздними сроками размножения: карась золотой, карась серебряный, карп. При медленном падении уровня (обычно в течение месяца) как взрослые рыбы, так и их молодь зачастую остаются в многочисленных ямах и старицах, многие из которых в зимний период перемерзают, что влечет за собой гибель их обитателей. Определение величины ущерба ихтиофауне, наносимого залповым сбросом паводковых вод с гидроузла «Алва», требует специальных исследований

Для оценки была принята в расчет стоимость отдельных объектов: дома усадебного типа, 1 км дорог различных категорий, удельные показатели водохозяйственных объектов по утвержденным в РК строительным нормам.

Опасность наводнения зависит прежде всего от высоты подъема уровня воды в реке. На каждом гидропосту отмечается уровень неблагоприятного явления – отметка выхода воды на пойму, уровень опасного явления – критическая отметка, при превышении которой наступает подтопление населенных пунктов, строений, объектов экономики. На продольном профиле по водоразделу Нура – Есиль (см. рисунок 1) показан уровень воды в реке при прохождении максимального расхода объемом 3550 м³/с. При переливе Нуры в протоки совместные с Есилем поступление воды в междуречье может составить до 350 млн м³/сут (при половодье P = 0,1%). Отток по р. Есиль ниже столицы ограничивается объемом 13-150 млн м³/сут. Дополнительные объемы притока рек вызовут подпор и затопление юго-западной и западной частей Астаны.

Выводы. Для защиты территорий от затопления проектом предусматривается применение типовых конструкций инженерных сооружений:

- типовая конструкция № 1 – заградительная грунтовая дамба;
- типовая конструкция № 2 – переливная дамба с полотном дороги и креплением откосов каменной наброской;
- типовая конструкция № 3 – крепление берега каменной наброской;
- также возможно применение водоналивных дамб для борьбы с наводнениями и паводками.



Рисунок 5 – Водоналивная дамба

Figure 5 – Water-filling dam

Для предотвращения затопления г. Астаны в числе прочих мероприятий предлагается возведение на правом берегу Нуры защитной дамбы. Земляная защитная дамба общей протяженностью 18,4 км (в том числе 5,9 км наращивания существующей плотины) средней высотой около 4 м исключит переток нуринской воды в Есиль при паводке повторяемостью 1 раз в 1000 лет (P = 0,1%), что соответствует классности большинства сооружений района столицы.

Реконструкция и восстановление водохозяйственных объектов. В бассейне реки Нура выявлено 28 хозяйственных объекта (25 водохранилищ емкостью 1 млн м³ и более, 3 гидроузла), представляющих угрозу затопления территории и населенных пунктов при их разрушении. Из них:

- в республиканской собственности находятся 7 водохранилищ и 3 гидроузла;
- в коммунальной собственности – 2 водохранилища;
- в коллективной и частной собственности – 12 водохранилищ;
- для 4 водохранилищ владелец не определен.

Общие капиталовложения на мероприятия по защите от затопления составляют 5153,69 млн тенге (по расчетам института «Казгипроводхоз» на уровень 2015 г.)

Финансирование. Работа выполнялась по заданию КВР МСХ РК, обновленная «Генеральная схема комплексного использования и охраны водных ресурсов Республики Казахстан» разработана согласно плану работ по программе 103 «Охрана и рациональное использование водных ресурсов», программы 038 «Регулирование использования и охраны водного фонда, обеспечение функционирования водохозяйственных систем и сооружений и мелиорация земель».

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Схема Комплексного использования и охраны водных ресурсов бассейна р. Нуры с притоками. Водные объекты, ресурсы и водоохранные мероприятия. – Алматы: ПК Казгипроводхоз, 2006. – Т. 1. – 150 с.
- [2] СНиП РК 2.03-10-2002. Инженерная защита в зонах затопления и подтопления (СНиП 2.03-10-2002). – Астана, 2002. – 40 с.
- [3] СНиП 2.06.14-85. Защита горных выработок от подземных и поверхностных вод (СНиП 2.06.14-85). – М., 1985. – 50 с.
- [4] СНиП 2.01.14-83. Определение расчетных гидрологических характеристик (СНиП 2.01.14-83). – М., 1983. – 28 с.
- [5] СНиП 2.06.05-84. Плотины из грунтовых материалов (СНиП 2.06.05-84). – М., 1984. – 42 с.
- [6] СНиП 2.07.01-85. Гидротехнические сооружения речные (СНиП 2.07.01-85). – М. 1985. – 17 с.
- [7] СНиП 2.06.01-86. Гидротехнические сооружения. Основные положения проектирования (СНиП 2.06.01-86). – М., 1987. – 33 с.
- [8] СНиП 2.07.01-89. Градостроительство. Планировка и застройка городских и сельских поселений. – М., 1989. – 25 с.
- [9] Филиппова Ю. Н. Методика по оперативному установлению абсолютного прямого ущерба, наносимого наводнениями предприятиям, организациям, учреждениям и личной собственности граждан. – Л., 1974. – 215 с.
- [10] Дегтярев Б. М. Дренаж в промышленном и гражданском строительстве. – М.: Стройиздат, 1990. – 238 с.
- [11] Крицкий С. Н., Менкель М. Ф. М. Гидрологические основы управления водохозяйственными системами. – М.: Наука, 1982. – 271 с.
- [12] Мелиорация и водное хозяйство: Справочник / Водное хозяйство. – М.: ВО Агропромиздат, 1988. – Т. 5. – 399 с.
- [13] Мелиорация и водное хозяйство: Справочник. Т. 4 Сооружения. – М., 1987. – 464 с.
- [14] Гидротехнические сооружения. Справочник проектировщика. – М.: Стройиздат, 1983. – 543 с.
- [15] Правила эксплуатации сооружений Интумакского водохранилища на реке Нура в Карагандинской области. Т. 2. – POSCH & PARTNERS CONSULTING ENGINEERS, Инсбурк, Австрия, 2005. – 40 с.
- [16] Проект управления водными ресурсами бассейнов река Нура и Ишим. Т. 6. Мониторинг водной среды. – JACJOBS GIBB, 2005. – С. 20, 25.
- [17] Рекомендации по оценке надежности гидротехнических сооружений: П 842 / Гидропроект. – М.: Гидропроект, 1986. – 108 с.
- [18] Василевский А.Б., Мгалобелов Ю.Б. О нормировании безопасности гидротехнических сооружений при проектировании // Гидротехническое строительство. – 1993. – № 12. – С. 44-52.
- [19] Стефанишин Д. В. Оценка нормативной безопасности плотин по критериям риска // Гидротехническое строительство. – 1997. – № 7. – С. 83-88.
- [20] Зотеев В. Г., Морозов М. Г., Приходько М. Г. Методические принципы оценки риска аварийных ситуаций на водохранилищах малого объема // Гидротехническое строительство. – 2003. – № 10. – С. 41-48.
- [21] Указ Президента Республики Казахстан от 25.07.2014, № 866. Перечень водохозяйственных сооружений, имеющих особое стратегическое значение. – URL: https://adilet.zan.kz/rus/docs/U040001466_ – С.20, 25.
- [22] Rehman N., Farooq R., van de Giesen N. A critical review of flood risk management and the selection of suitable measures // Applied Sciences, 10(23), 8752. – 2020. – URL: <https://doi.org/10.3390/app10238752> (date of access: 08.06.2025).
- [23] Marín-Muñoz J. L., Hernández C., Zavala M. A. Systematic review of flood and drought literature based on science mapping and content analysis // Water, 13(19), 2788. [Electron. resource]. – 2021. – URL: <https://doi.org/10.3390/w13192788> (date of access: 08.06.2025).
- [24] Takin R., Cilliers E. J., Ghosh S. (2023). Advancing flood resilience: The nexus between flood risk management, green infrastructure, and resilience // Frontiers in Sustainable Cities, 5, 1186885. [Electron. resource]. – 2023. – URL: <https://doi.org/10.3389/frsc.2023.1186885> (date of access: 08.06.2025).

[25] Koerniawan D., Setiawan R., Laksito A. A review of flood mitigation literature: A case study of Sidoarjo Regency, Indonesia // *International Journal of Innovation in Environmental Technology and Management*, 1(2). [Electron. resource]. – 2023. – URL: <https://doi.org/10.62157/ijietom.v1i2.30> (date of access: 08.06.2025).

[26] Issakov A., Johnson P., Liu Y. A systematic review of programs and mechanisms for industry engagement in flood water management: Global challenges and perspectives // *Water*, 17(8), 1155. [Electron. resource]. – 2025. – URL: <https://doi.org/10.3390/w17081155> (date of access: 10.06.2025).

REFERENCES

[1] Scheme of Integrated Use and Protection of Water Resources of the Nura River Basin with Tributaries. Water Bodies, Resources, and Water Protection Measures. Almaty: PC Kazgi-Provodkhoz, 2006. Vol. 1. 150 p. (in Russ.).

[2] SNiP RK 2.03-10-2002. Engineering Protection in Flood and Underwatering Zones (SNiP 2.03-10-2002). Astana, 2002. 40 p. (in Russ.).

[3] SNiP 2.06.14-85. Protection of Mine Workings from Groundwater and Surface Water (SNiP 2.06.14 85). Moscow, 1985. 50 p. (in Russ.).

[4] SNiP 2.01.14-83. Definition of design hydrological characteristics (SNiP 2.01.14-83). Moscow, 1983. 28 p. (in Russ.).

[5] SNiP 2.06.05-84. Dams made of earth materials (SNiP 2.06.05-84). Moscow, 1984. 42 p. (in Russ.).

[6] SNiP 2.07.01-85. River hydraulic structures (SNiP 2.07.01-85). Moscow, 1985. 17 p. (in Russ.).

[7] SNiP 2.06.01-86. Hydraulic structures. Basic design provisions (SNiP 2.06.01-86). M., 1987. 33 p. (in Russ.).

[8] SNiP 2.07.01-89. Urban development. Planning and development of urban and rural settlements. M., 1989. 25 p.

[9] Filippova Yu. N. Methodology for the rapid determination of absolute direct damage caused by floods to enterprises, organizations, institutions and personal property of citizens. L., 1974. 215 p. (in Russ.).

[10] Degtyarev B. M. Drainage in industrial and civil construction. Moscow: Stroyizdat, 1990. 238 p. (in Russ.).

[11] Kritsky S. N., Menkel M. F. M. Hydrological foundations of water management systems management. Moscow: Nauka, 1982. 271 p. (in Russ.).

[12] Handbook of land reclamation and water management / Water management. Moscow: VO Agropromizdat, 1988. Vol. 5. 399 p. (in Russ.).

[13] Handbook of land reclamation and water management. Vol. 4. Structures. M., 1987. 464 p. (in Russ.).

[14] Hydraulic Structures. Designer Handbook. Moscow: Stroyizdat, 1983. 543 p. (in Russ.).

[15] Operating Rules for the Intumak reservoir structures on the Nura river in the Karaganda region. Vol. 2. POSCH & PARTNERS CONSULTING ENGINES, Insburg, Austria, 2005. 40 p. (in Russ.).

[16] Water resources management project for the Nura and Ishim river basins. Vol. 6. Aquatic environment monitoring. JACJOBS GIBB, 2005 (in Russ.).

[17] Recommendations for assessing the reliability of hydraulic structures: P 842 / Hydroproject. M.: Hydroproject, 1986. P. 20, 25 (in Russ.).

[18] Vasilevsky A.B., Mgalobelov Yu.B. On the issue of standardizing the safety of hydraulic structures during design // *Hydrotechnical construction*. 1993. No. 12. P. 44-52 (in Russ.).

[19] Stefanishin D. V. Assessment of the regulatory safety of dams based on risk criteria // *Hydrotechnical construction*. 1997. No. 7. P. 83-88 (in Russ.).

[20] Zoteev V. G., Morozov M. G., Prikhodko M. G. Methodological principles for assessing the risk of emergency situations on small-volume reservoirs // *Hydrotechnical construction*. 2003. No. 10. P. 41-48 (in Russ.).

[21] Decree of the President of the Republic of Kazakhstan dated July 25, 2014, No. 866. List of water management structures of particular strategic importance. – URL: https://adilet.zan.kz/rus/docs/U040001466_

[22] Rehman N., Farooq R., van de Giesen N. A critical review of flood risk management and the selection of suitable measures // *Applied Sciences*, 10(23), 8752. 2020. – URL: <https://doi.org/10.3390/app10238752> (date of access: 08.06.2025).

[23] Marín-Muñiz J. L., Hernández C., Zavala M. A. Systematic review of flood and drought literature based on science mapping and content analysis // *Water*, 13(19), 2788. [Electron. resource]. 2021. – URL: <https://doi.org/10.3390/w13192788> (date of access: 08.06.2025).

[24] Takin R., Cilliers E. J., Ghosh S. (2023). Advancing flood resilience: The nexus between flood risk management, green infrastructure, and resilience. *Frontiers in Sustainable Cities*, 5, 1186885. [Electron. resource]. 2023. – URL: <https://doi.org/10.3389/frsc.2023.1186885> (date of access: 08.06.2025).

[25] Koerniawan D., Setiawan R., Laksito A. A review of flood mitigation literature: A case study of Sidoarjo Regency, Indonesia // *International Journal of Innovation in Environmental Technology and Management*, 1(2). [Electron. resource]. 2023. – URL: <https://doi.org/10.62157/ijietom.v1i2.30> (date of access: 08.06.2025).

[26] Issakov A., Johnson P., Liu Y. A systematic review of programs and mechanisms for industry engagement in flood water management: Global challenges and perspectives // *Water* 17(8), 1155. [Electron. resource]. 2025. – URL: <https://doi.org/10.3390/w17081155> (date of access: 10.06.2025).

Б. С. Ботантаева^{*1}, А. Р. Вагапова², К. Е. Калиева³

^{1*}Т. ғ. к., қауымдастырылған профессор (Гончарова атындағы Қазақ автомобиль-жол институты, Алматы, Қазақстан; botantaeva_b@mail.ru)

²Т. ғ. к., аға оқытушы (Қазақ ұлттық зерттеу техникалық университеті, Алматы, Қазақстан; vagapova-alina@rambler.ru)

³PhD докторы, аға оқытушы (Қазақ ұлттық аграрлық зерттеу университеті, Алматы, Қазақстан; karla_3@mail.ru)

НҰРА ӨЗЕНІ АЛАБЫ АУМАҒЫНДАҒЫ ТЕРРИТОРИЯЛАРДЫ СУ БАСУДАН ҚОРҒАУДЫ БАҒАЛАУ ЖӘНЕ ЖЕТІЛДІРУ

Аннотация. Нұра өзені – Теңіз-Қорғалжын ойпатының негізгі су артериясы болып табылады. Өзеннің бастауы бірнеше ұсақ бұлақтардың қосылуынан құралады. Жоғарғы ағысында (Ақбастау өзеніне дейін) ол Керегетас, Қарашоқы және Байқожа атауларымен белгілі. Көктемгі су тасқыны наурыз айының ортасынан бастап бассейндегі барлық су ағындарында бір мезгілде басталып, мамырдың ортасына дейін, ал кейбір өзендерде маусымның ортасына дейін созылады. Көктемгі тасқын кезеңінде жылдық ағынның 80%-дан астамы өтеді. Бассейндегі өзендердің көктемгі тасқын сипаты негізінен біркелкі. Тасқын қардың қарқынды еруі кезінде, көбінесе мұздың үстімен жүреді. Уақытша тартылатын өзен арналары бойынша ағын қар жамылған арнада өтеді. Көктемгі су тасқыны, әдетте, сәуірдің бірінші жартысында байқалады. Тасқынның жалпы ұзақтығы 16–42 күн, ең көбі – 36–100 күн, ең азы – 1–18 күн. Жоғары су деңгейі бірнеше сағаттан 1–3 күнге дейін сақталады, ал су деңгейінің төмендеуі баяу жүреді және екі айға дейін (сәуірдің басынан мамырдың соңына дейін) созылады. Мақалада «Қазгидромет» ұйымының гидрологиялық зерттеу деректері пайдаланылған. Нұра өзенінің көктемгі су тасқынының есептік ең жоғарғы шығындары, су тасқыны көлемдері, су деңгейлерінің ауытқу амплитудалары және әртүрлі қамтамасыз етілу деңгейлері бойынша су деңгейлері талданды. Су басу аймақтарын анықтау үшін 1:1 000 000 масштабтағы картографиялық материалдар қолданылды. Сонымен қатар, Нұра өзені бассейніндегі су қоймаларының сипаттамасы берілген және Нұра–Есіл суайырығы бойынша бойлық профиль құрастырылған. Территориялар мен елді мекендерді су басудан қорғау бойынша іс-шаралар ұсынылған. Есептеулерде қолданыстағы құрылыс нормалары (СНиП) мен ғылыми әдістемелер пайдаланылды. Бұл мақала гидрология, тіршілік қауіпсіздігі, гидротехникалық құрылыс және автомобиль жолдарын салу пәндерін оқытуда, сондай-ақ СКИОВР құжаттамасын түзету кезінде пайдалы болуы мүмкін.

Түйін сөздер: өзен, су ресурстары, өзен бассейні, судың болуы, гидрологиялық пост, жылдық ағын.

B. S. Botantaeva^{*1}, A. R. Vagapova², K. Ye. Kalieva³

^{1*} Candidate of technical sciences (Kazakh Automobile Road Institute named after Goncharov, Almaty, Kazakhstan; botantaeva_b@mail.ru)

² Candidate of technical sciences (Kazakh National Research Technical University, Almaty, Kazakhstan; vagapova-alina@rambler.ru)

³ PhD (Kazakh National Agrarian Research University, Almaty, Kazakhstan; karla_3@mail.ru)

ASSESSMENT AND IMPROVEMENT OF FLOOD FOR PROTECTION THE NURA RIVER BASIN TERRITORIES

Abstract. The Nura river is the main water artery of the vast Tengiz–Korgalzhyn depression. The river originates from the confluence of several small springs. In its upper course (up to the confluence with the Akbastau river), it is known as Keregetas, Karashoky, and Baykozha. The spring flood begins almost simultaneously throughout the basin in mid-March and lasts until mid-May, and on some watercourses — until mid-June. During the flood period, more than 80% of the annual runoff occurs. The flood usually takes place in the first half of April. Its total duration ranges from 16 to 42 days, with a maximum of 36–100 and a minimum of 1–18 days. The high-water level lasts from several hours to 1–3 days, while the decline of water levels is gradual and may extend up to two months (from early April to late May). The study uses hydrological data provided by “Kazhydromet.” An analysis was performed on the calculated maximum discharges of the river during spring floods, its flood volumes, water-level fluctuation amplitudes and water levels of different probabilities. Flood inundation analysis was carried out using cartographic materials at a 1:1.000.000 scale. Preventive measures for protecting territories and settlements from flooding are proposed. Longitudinal profile along the Nura–Yesil watershed has been constructed. Calculations were performed using construction norms (SNiP) and methodologies referenced. This article is of particular value for hydrology, life safety, hydraulic engineering, and highway construction, and it may be useful for adjusting the SKIOVR documentation.

Keywords: river, water resources, river basin, water availability, hydrological post, annual flow.

Гидрохимия и качество воды

Гидрохимия және судың сапасы

Hydrochemistry and water quality

<https://doi.org/10.55764/2957-9856/2025-4-16-29.43>

FTAMP 87.19.91
ӘӨЖ 502.656

А. Б. Болатова¹, Л. С. Курбанова^{*2}, Б. Х. Тусупова³,
У. Ш. Мусина⁴, Г. З. Бижанова⁵, Қ. Т. Қырғызбай⁶, С. М. Нурмакова⁷

¹ Магистрант (Әл-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университеті,
Алматы, Қазақстан; *aiym.bolatova.01@mail.ru*)

^{2*} Т. ғ. к., аға оқытушы (Әл-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университеті,
Алматы, Қазақстан; *laura.kurbanova@kaznu.edu.kz*)

³ Т. ғ. к., аға оқытушы (Әл-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университеті,
Алматы, Қазақстан; *tusupova_b@kaznu.kz*)

⁴ Т. ғ. к., қауымдастырылған профессор (Қ. И. Сәтбаев атындағы
Қазақ ұлттық техникалық зерттеу университеті, Алматы, Қазақстан; *07061960@mail.ru*)

⁵ Докторант (Әл-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университеті, Алматы, Қазақстан; *gulfairus82@mail.ru*)

⁶ PhD, аға оқытушы (Әл-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университеті,
Алматы, Қазақстан; *kyrgyzbay.kudaibergen@gmail.com*)

⁷ Т. ғ. к., қауымдастырылған профессор (Қ. И. Сәтбаев атындағы Қазақ ұлттық техникалық
зерттеу университеті, Алматы, Қазақстан; *s.nurmakova@satbayev.university*)

ЕРТІС ӨЗЕНІ СУ САПАСЫНЫҢ ҚАЗІРГІ ЖАҒДАЙЫН ГЕОЭКОЛОГИЯЛЫҚ БАҒАЛАУ

Аннотация. Мақалада Өскемен қаласы шегіндегі Ертіс өзені бассейнінің соңғы жылдардағы экологиялық ахуалына талдау жасалды. Ертіс өзені бассейніндегі антропогендік ықпалдың көбеюі су теңгерімінің өзгеруіне әкеп соқтыратыны ескерілді. Сонымен қатар, Өскемен қаласындағы Ертіс өзенінің ағысындағы судың ластануы бойынша «Қазгидромет» РМҚ ақпараттық-талдамалық материалдарын жүйелеу және талдау негізінде судың сапасы мен олардың геоэкологиялық жай-күйіне бағалау жүргізілді. «Өскемен қаласының СЭС (су электр станциясы)», «Өскемен Конденсатор Зауыты», Үлбі өзенінің оң жақ және сол жақ аймақтарының көрсеткіштерін пайдалана отырып, су құрамының ауыр металдармен ластануының жылдық орташа көрсеткіші есептелді. Алынған жылдық орташа көрсеткішті 2024 жылғы Ертіс өзенінің «Өскемен қаласының СЭС (су электр станциясы)», Үлбі өзені (Металл зауыты) аймақтарынан алынған сынама нәтижелерімен салыстырып, талдау жүргізді.

Суды пайдалану сипатына байланысты басым ластаушы заттар, оның ішінде ауыр металдар мыс, мырыш, марганецтің көрсеткіштері сынама алу орындарында әр түрлі екендігі анықталды. Геоэкологиялық бағалау нәтижелері ГАЖ технологиясы арқылы Ертіс өзенінің ауыр металдармен ластануы карта негізінде сипатталды.

Түйін сөздер: геоэкологиялық бағалау, экология, өзен, талдау, бағалау, антропогендік факторлар, ластану, шекті рұқсат етілген концентрация, шекті ластану коэффициенті.

Кіріспе. Су ресурстары мәселесі тұрақты дамудың жалпы проблемасының маңызды құрамдас бөліктерінің бірі болып табылады. Су мәселесінің шиеленісуін табиғи және антропогендік факторлармен түсіндіруге болады. Табиғи факторларға мыналар жатады: аумақ бойынша су ресурстарының біркелкі таралмауы, жылдық ағынның нақты жазғы таралуы, ағынды сулардың зиянды әсері, оның зияны экономика дамыған сайын артып келеді. Адамның шаруашылық қызметінің нәтижесінде суды тұтынудың тез өсуі байқалады және су ресурстарының ластануы көрініс табады [1].

Өзен бассейндерінің су жинау аумағы – гидрогеохимиялық ағындары бар, табиғаты пайдалану мен табиғат жайластырудың кеңістіктегі негізі болып табылатын көп компонентті геожүйе. Олар экологиялық, орта құраушы сияқты маңызды функцияларды атқарады және су объектілерінің жай-күйін кешенді бағалауға мүмкіндік береді. Әр түрлі принциптер мен әдістерді қолдана отырып, өзен бассейндерін сандық және сапалық бағалау үшін жүйеге келтірілген, көпжылдық, объективті гидрологиялық, гидрогеохимиялық және шаруашылық ақпараттық-аналитикалық материалдар қажет [2].

Зерттеу нысаны – Ертіс өзені Қазақстан, Қытай және Ресей елдерінің аумағы арқылы өтетін ең ұзын трансшекаралық өзен. Қара Ертіс – Қытайдың қайнар көзінен Жайсан көліне құятын Ертіс өзенінің жоғарғы ағысы. Бұл учаскеде негізгі арнаның сол жағалауының (Кендірлік ө., Жарлы ө.) және оң жағалауының (Күршім ө., Қалжыр ө.) бірнеше салалары бар. Оң жағалаудың салалары – бірнеше тау жүйелерінің (Сауыр-Тарбағатай, Алтай және т.б.) су алаптарынан бастау алатын таулы өзендер. Сол жағалаудың салалары және суы аз. Олар Тарбағатай жотасының сілемдерінен шыққан, негізінен шөлейт аудандардағы қардың еруінен толады [3, 4].

Өзеннің жалпы ұзындығы 4280 км, оның 1698 шақырымы Қазақстанға, 1964 шақырымы Ресейге, 618 шақырымы Қытайға тиесілі [5].

Су бассейнінің Қазақстандық бөлігінде Ертістің су ресурстарының өзгеруіне ауыл шаруашылығы мен өнеркәсіптен басқа, гидроэлектр станциялары айтарлықтай әсер етеді. Мұнда кенес заманынан бері ірі су қоймаларының каскадтары (Бұқтырма, Өскемен, Шүлбі және т.б.) жұмыс істейді [6].

Үлбі өзені – Ертіс өзенінің оң жағалауындағы саласы және Өскемен су электр станциясының бөгетінен 14 км төмен Ертіске құяды. Өзеннің су жинайтын алабы 5050 км, орташа биіктігі 960 м, орман жамылғысы 55%. Алаптың төменгі бөлігі далалық сипатқа ие. Өзен аңғарының ендік бағыты бар, және ені 1-3 км аралығында, кей жерлерде 0,5 км-ге дейін жетеді. Алқаптың кеңею аймақтарында шөгінді тасымалдаудың жүйекті түрі көп тармақты түрге айналады [7].

Өзендер ластаушы заттарды коммуналдық және өнеркәсіптік ағынды сулардан қабылдайды және әрі қарай тасымалдайды. Өзендердің ластану деңгейін бағалау өзендегі табиғи металл деңгейлері (яғни геогендік шығу тегін) мен өткен ластанулардан қалған антропогендік қалдықтарды біріктіретін геохимиялық фонды анықтауды талап етеді [8].

Қоршаған ортадағы ауыр металдар күй мен концентрациясына байланысты адам денсаулығына елеулі қауіп төндіреді. Өнеркәсіптік ағынды сулар басқа көздерге қарағанда табиғи судың ауыр металдармен едәуір ластануын туғызады, ал одан кейінгі әсер ететін көздерге металдардың атмосферадан шөгуі мен өнеркәсіптік төгінділердің жиналуынан ластану учаскелерінің пайда болуы жатады [9].

Зерттеудің мақсаты – гидрохимиялық көрсеткіштері бар жылдық бақылау нәтижесі негізінде Ертіс өзенінің жай-күйін геоэкологиялық бағалау.

Ертіс өзені Қазақстандағы жергілікті экономика, экология және қоғам үшін маңызды өзендердің бірі болып табылады. Ертіс өзенінің гидрохимиялық құрамын ластаушы заттардың қозғалу, жинақталу және таралу динамикасын және олардың қоршаған ортаға әсерін түсіну үшін ұзақ мерзімді және бірнеше көрсеткіштер бойынша бағалау қажет [10].

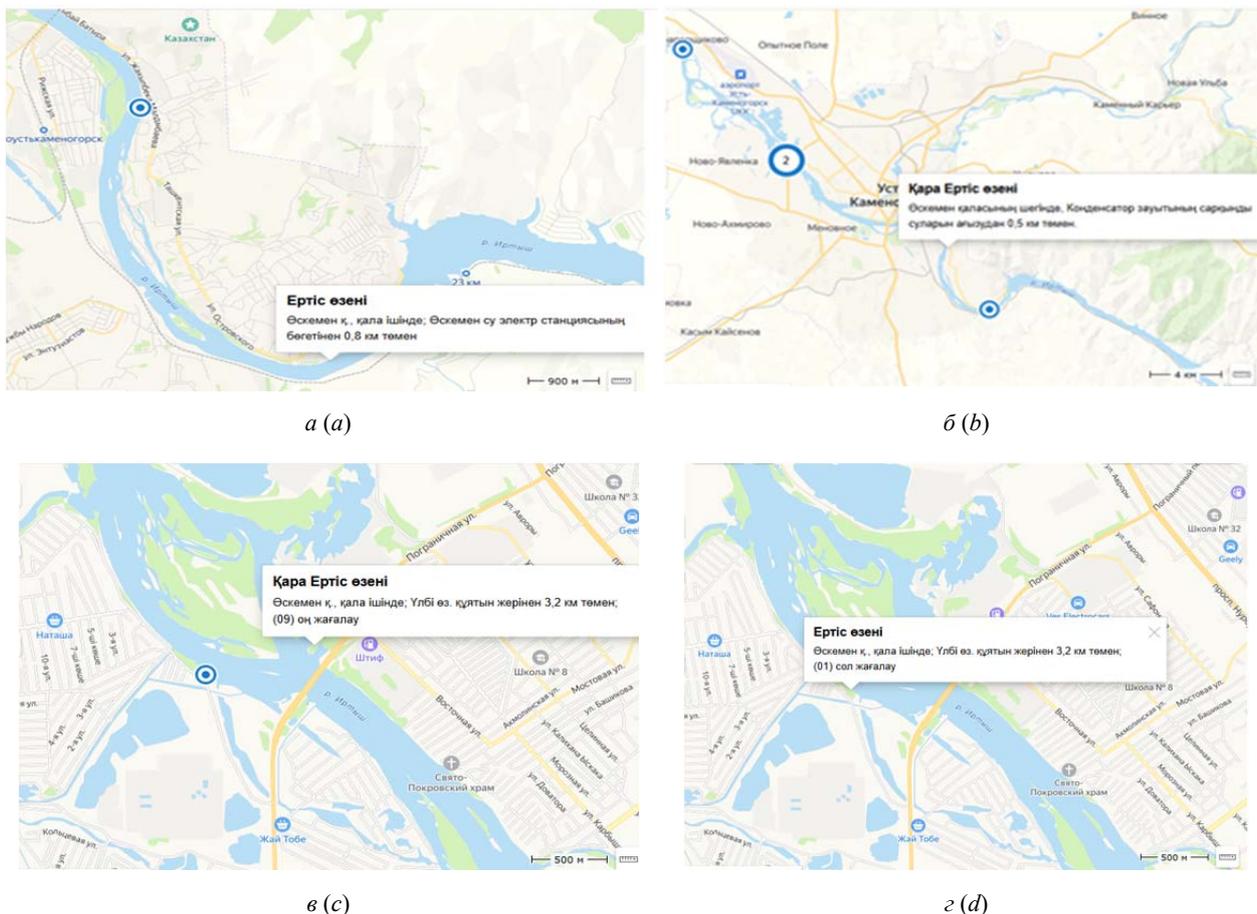
Қазіргі таңда жер үсті суларының сапасы туралы объективті ақпарат алу өзекті мәселе болып отыр. Зерттеудің практикалық маңызы Шығыс Қазақстан облысы, Өскемен қаласы үшін жер үсті суларының сапасын сенімді бағалауда. Бұл жергілікті билік органдарына су ресурстарын ластанудан қорғау саласына негізделген басқару шешімдерін қабылдауға көмектеседі.

Материалдар мен әдістер. Зерттеу нысаны – Қазақстан аумағындағы Өскемен қаласы шегіндегі Ертіс өзенінің бөлігі.

Зерттеудің негізгі бағыты қазіргі антропогендік жүктеме деңгейінде Ертіс өзенінің аумағын ГАЗ технологиясын қолдана отырып, геоэкологиялық бағалау.

Ертіс өзенінің Қазақстандық бөлігіне зерттеулер Өскемен қаласында антропогендік жүктеменің қарқыны мен сипаты бойынша айтарлықтай ерекшеленетін төрт учаскеде жүргізілді (1-сурет).

Материалдар 2024 жылдың желтоқсан айында «Өскемен қаласының СЭС (су электр станциясы)», «Үлбі Металл зауыты аймақтарында жиналды. Сонымен қатар зерттеуде «Қазгидромет» РМК 2024 жылғы айлар бойынша 1-ші суретте көрсетілген. 4 аудан бойынша алынған ресми



1-сурет – Ертіс өзенінің экологиялық жай-күйін бағалау үшін сынама алу тұстамасы:
 а – Өскемен СЭС бөгетінен 0,8 км төмен, сарқырама тұсында; б – конденсатор зауытының ағынды сулары көзінен 0,5 км төмен (оң жағалау); в – Үлбі өзенінің құйылысынан 3,2 км төмен, понтондық көпірден 0,35 км төмен (оң жақ Үлбі); г – Үлбі өзенінің құйылысынан 3,2 км төмен, Понтондық көпірден 0,35 км төмен (сол жақ Үлбі)

Figure 1 – Sampling point for assessing the ecological condition of the Irtysh River:
 а – 0.8 km downstream from the dam of the Oskemen Hydroelectric Power Station, at the waterfall; б – 0.5 km downstream from the wastewater discharge of the condenser plant (right bank); в – at 3.2 km downstream of the Ulba River confluence, and 0.35 km downstream from the pontoon bridge (right bank of the Ulba River); д – at 3.2 km downstream of the Ulba River confluence, and 0.35 km downstream from the pontoon bridge (left bank of the Ulba River)

деректері пайдаланылды. Атап айтқанда: 1) Өскемен СЭС бөгетінен 0,8 км төмен, сарқырама тұсында; 2) Конденсатор зауытының ағынды сулары көзінен 0,5 км төмен, теміржол көпірінен 0,5 км жоғары (оң жағалау); 3) Үлбі өзенінің құйылысынан 3,2 км төмен, понтондық көпірден 0,35 км төмен, титан-магний комбинатының ағынды суларынан 0,5 км төмен (Оң жақ Үлбі); 4) Өскемен қ., қала шегінде, Үлбі өзенінің құйылысынан 3,2 км төмен, Понтондық көпірден 0,35 км төмен, титан-магний комбинатының ағынды суларынан 0,5 км төмен (Сол жақ Үлбі).

ҚР ЭБЖМ «Қазгидромет» РМК қоршаған ортаның, оның ішінде жер үсті суларының сапасын бағалаудың ұлттық операторы болып табылады. 2016 жылдан бастап өзендердің экологиялық жағдайы су нысандарындағы су сапасын жіктеудің бірыңғай жүйесі бойынша бағаланады [11].

«Қазгидромет» РМК 2025 жылғы қаңтардан бастап өзендердегі, каналдардағы және су қоймаларындағы суды бағалау үшін су нысандарындағы су сапасын жіктеудің жаңартылған бірыңғай жүйесін (ҚР ИМ ШҚ 20.03.2024 жылғы № 70 бұйрығы), су сапасын жіктеудің бірыңғай жүйесін (ЭБЖМ бұйрығымен бекітілген ҚР № 275-п 14.11.2024) қолдану жөніндегі бекітілген әдістемелік ұсынымдарға сәйкес бағалайды [12].

Бірыңғай жіктеу, құрамында оттегі режимінің көрсеткіштері, органолептикалық параметрлер, минералдану мәндері, биогендік заттар, металдар, органикалық және улы заттар, пестицидтер,

гидробиологиялық, токсикологиялық және микробиологиялық көрсеткіштері бар су объектісінің экологиялық әлеуетін интегралды бағалауға негізделген.

Бірыңғай жіктеу су сапасының алты класын (I-VI) қамтиды: «ең жақсыдан» «ең нашарға» дейін. Бұл суды пайдалану түрлерінің талаптарын ескеруге мүмкіндік береді: экожүйе, ауыз су, рекреациялық, суару, өнеркәсіп, гидроэнергетика және көлік.

Су ресурстарының сапасын және су экожүйелерінің геоэкологиялық жағдайын бағалау үшін келесі әдістер кеңінен қолданылады: өзгерістердің рұқсат етілген шегі, сыни әсер ету шегі (СӘШ), шекті рұқсат етілген концентрация (ШРК), ластанудың гидрохимиялық индексі және т.б. [13].

МЕМСТ 17.1.3.07-82 «Табиғатты қорғау. Гидросфера. Суды пайдалану және қорғау. Негізгі терминдер мен анықтамалар» жалпы судың сапасы оның құрамы мен қасиеттерінің сипаттамаларын білдіреді, бұл оның суды пайдаланудың нақты түрлеріне жарамдылығын анықтайды. Бұл ретте сапа көрсеткіштері су сапасын бағалау жүргізілетін белгілерді білдіреді. СанЕмН 2.1.4.1074-01 ережелер мен нормаларға сәйкес су эпидемиологиялық тұрғыдан қауіпсіз, химиялық құрамы жағынан зиянсыз және қолайлы органолептикалық қасиеттерге ие болуы керек.

Ертіс өзенінің жай-күйін геоэкологиялық бағалау үшін салыстырмалы түрде, 2 тұстамадан сынама алынып, зерттеу жүргізілді. 1-сынама тұстамасы «Өскемен қаласының СЭС (су электр станциясы)» және 2-сынама тұстамасы «Үлбі өзені (Металл зауыты)». Судың сапасын бағалау оның құрамындағы негізгі металдармен (Cd, Mn, Zn) ластануын анықтау арқылы жүргізілді.

Нәтижелер және оларды талқылау. Салыстыру негізінде алынған сынамаға талдау Алматы қ-сы «Қазгидромет» ШЖҚ РМК филиалында, СТ РК 2214-2012 «Су сапасы. Атомдық абсорбциялық спектрофотометрия әдісімен микроэлементтердің мөлшерін графитті пешті қолдану арқылы анықтау» сынақ әдісі арқылы жасалды [14]. Өлшеу келесі жағдайларда жүргізілді: температура 20,0°C, ылғалдылық 33%, атмосфералық қысым 699,75 мм.сын.бағ. Сынама нәтижелері 1-кестеде берілген.

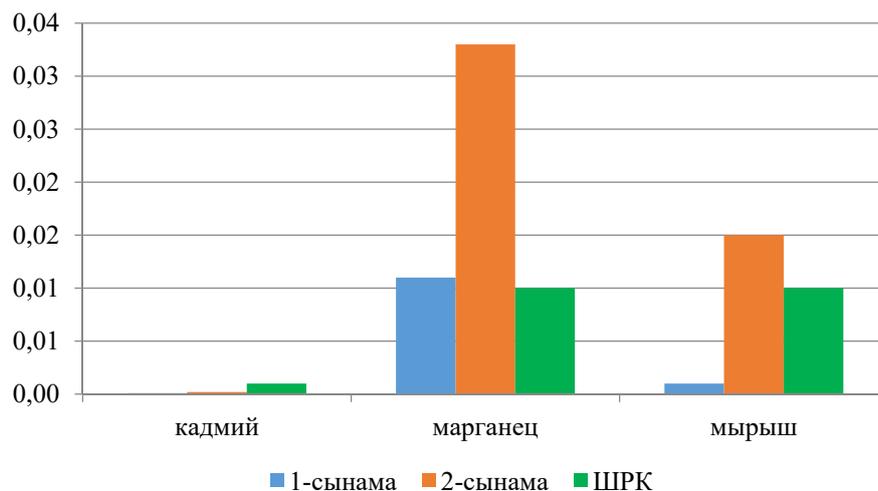
1-кесте – Ертіс өзені суындағы ауыр металдардың құрамы (талдама нәтижесі бойынша)

Table 1 – Heavy metal content in the water of the Irtysh River (according to the analysis results)

Көрсеткіштің атауы, өлшем бірлігі, мг/дм ³	Сынақ әдісінің нормативтік құжаттамада белгіленуі	Нақты мәні
1-сынама «Өскемен қаласының СЭС (су электр станциясы)»		
Кадмий	СТ РК 2214-2012	0,00001
Марганец	СТ РК 2214-2012	0,01104*
Мырыш	СТ РК 2214-2012	0,00142
2-сынама Үлбі өзені (Металл зауыты)		
Кадмий	СТ РК 2214-2012	0,00018
Марганец	СТ РК 2214-2012	0,03341*
Мырыш	СТ РК 2214-2012	0,01552*
*Ауыр металдардың көрсеткіші ШЖҚ-дан жоғары.		

1-кестедегі ластаушы заттар (металдар) көрсеткіштері негізінде сынама нәтижесіне талдау жүргізетін болсақ 1-суретте көрсетілгендей кадмий бойынша 2-нысанда да сынама көрсеткіштері ШРК-дан аспайды, яғни бірыңғай жіктеу жүйесі бойынша 1-классқа (өте жақсы сапа) жатады. Марганец бойынша нысан 2-нысанда да сынама көрсеткіштері ШРК мәнінен асып тұрғанын көрсетеді, яғни бірыңғай жіктеу жүйесі бойынша 3-классқа (орташа ластанған) жатады. Мырыштың 2-ші нысанда Үлбі өзенінде (Металл зауыты) сынама көрсеткіші ШРК-дан асып тұрғанын көрсетеді, бірыңғай жіктеу жүйесі бойынша 4 классқа (ластанған) жатқызамыз.

Аталған талдау нәтижелерімен қатар салыстыру үшін Ертіс өзенінің суындағы ауыр металдардың құрамын зерттеуде Өскемен қаласының «Қазгидромет» РМК филиалынан ресми деректер сұралды. Деректер жоғарыда аталған 4 аймақ бойынша жүргізілген ай сайынғы талдаулар нәтижесінен тұрады. Әр ай бойынша қарастырылған ақпаратты пайдалана отырып, ауыр металдармен жылдық орташа ластану мөлшері есептелді (2-кесте, 3-сурет) [15].



2-сурет – Ертіс өзені суындағы ауыр металдардың көрсеткіштері (талдама нәтижесі бойынша)

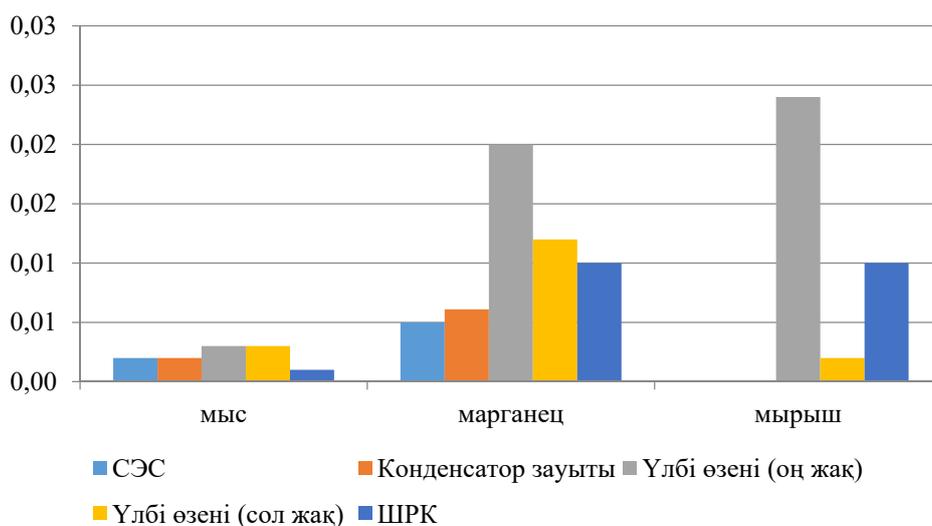
Figure 2 – Heavy metal indicators in the Irtys River water (based on analysis results)

2-кесте – Ертіс өзенінің суындағы ауыр металдардың көрсеткіші («Қазгидромет» РМК бойынша 2024 жыл)

Table 2 – Heavy metal indicators in the Irtys River water (2024, according to RSE «Kazhydromet»)

Көрсеткіштің атауы, өлшем бірлігі	Мыс, мг/дм ³	Марганец, мг/дм ³	Мырыш, мг/дм ³
«Өскемен қаласының СЭС (су электр станциясы)»	0,002*	0,005	0
«Өскемен Конденсатор Зауыты»	0,002*	0,007	0
Үлбі өзенінің оң жақ бөлігі	0,003*	0,019*	0,024*
Үлбі өзенінің сол жақ бөлігі	0,003*	0,012*	0,002
Шекті жол берілетін концентрация (ШЖК)	0,001	0,01	0,01

*Ауыр металдардың көрсеткіші ШЖК артық.

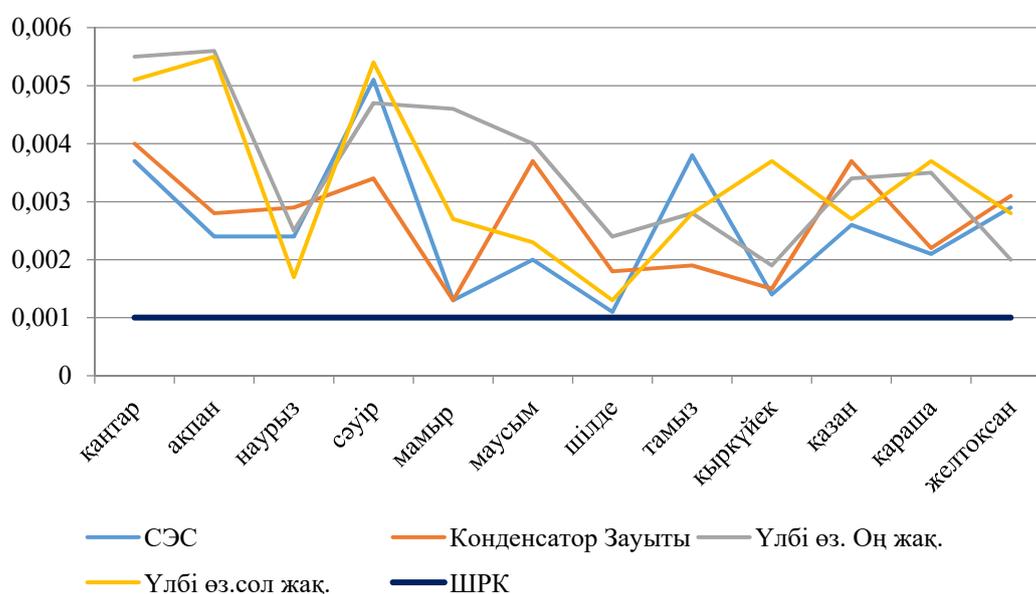


3-сурет – Ертіс өзенінің суындағы ауыр металдардың көрсеткіші, мг/дм³ («Қазгидромет» РМК мәліметтері бойынша, 2024 жыл)

Figure 3 – Heavy metal indicators in the Irtys River water, mg/dm³ (2024, according to RSE «Kazhydromet»)

2-кестедегі ластаушы заттар (металдар) жылдық көрсеткіштері негізінде сынама нәтижесіне талдау жүргізетін болсақ 3-суретте көрсетілгендей мыс бойынша 4-нысанда да сынама көрсеткіштері ШРК-дан асып отыр, яғни бірыңғай жіктеу жүйесі бойынша 2-классқа (жақсы сапа) жатады, ал марганец бойынша 2-тұстамада Үлбі өзенінің оң жақ және сол жақ бөлігі сынама көрсеткіштері ШРК мәнінен асып тұрғанын көрсетеді, яғни бірыңғай жіктеу жүйесі бойынша 2-классқа (жақсы сапа) жатады, ал мырыш 3-ші тұстама, яғни Үлбі өзенінің (оң жағы) сынама көрсеткіші ШРК-дан асып тұрғанын көрсетеді, бірыңғай жіктеу жүйесі бойынша 4 классқа (ластанған) жатқызамыз.

4-суреттегі ластаушы заттардың (металдар) «Қазгидромет» РМК 2024 жылғы 12 айлық көрсеткіштері негізінде талдау жүргізетін болсақ мыстың мәні 4-сынама тұстамаларында да 1) Өскемен СЭС бөгетінен 0,8 км төмен, сарқырама тұсында; 2) Конденсатор зауытының ағынды сулары көзінен 0,5 км төмен, теміржол көпірінен 0,5 км жоғары (оң жағалау); 3) Үлбі өзенінің құйылысынан 3,2 км төмен, понтондық көпірден 0,35 км төмен, титан-магний комбинатының ағынды суларынан 0,5 км төмен (Оң жақ Үлбі); 4) Өскемен қ., қала шегінде, Үлбі өзенінің құйылысынан 3,2 км төмен, Понтондық көпірден 0,35 км төмен, титан-магний комбинатының ағынды суларынан 0,5 км төмен (Сол жақ Үлбі) ШРК-н асып тұр, яғни бірыңғай жіктеу жүйесі бойынша 2 класстан (жақсы сапа) асып тұрғанын көрсетеді [15].

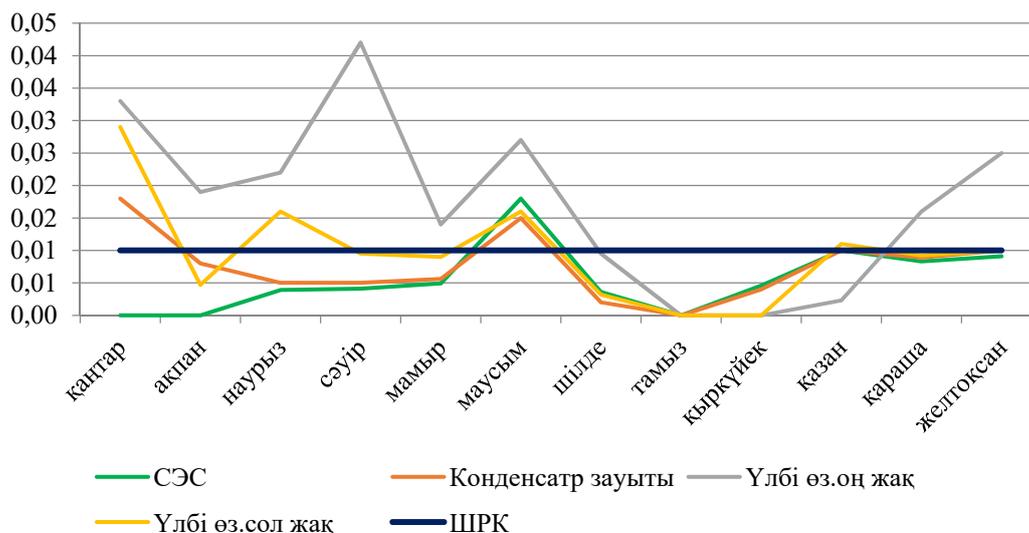


4-сурет – Ертіс өзені суындағы мыс металының көрсеткіші («Қазгидромет» РМК 2024 жылдың 12 айдың мәліметтері)

Figure 4 – Copper content in the Irtysh River water (RSE «Kazhydromet») data for 12 months of 2024)

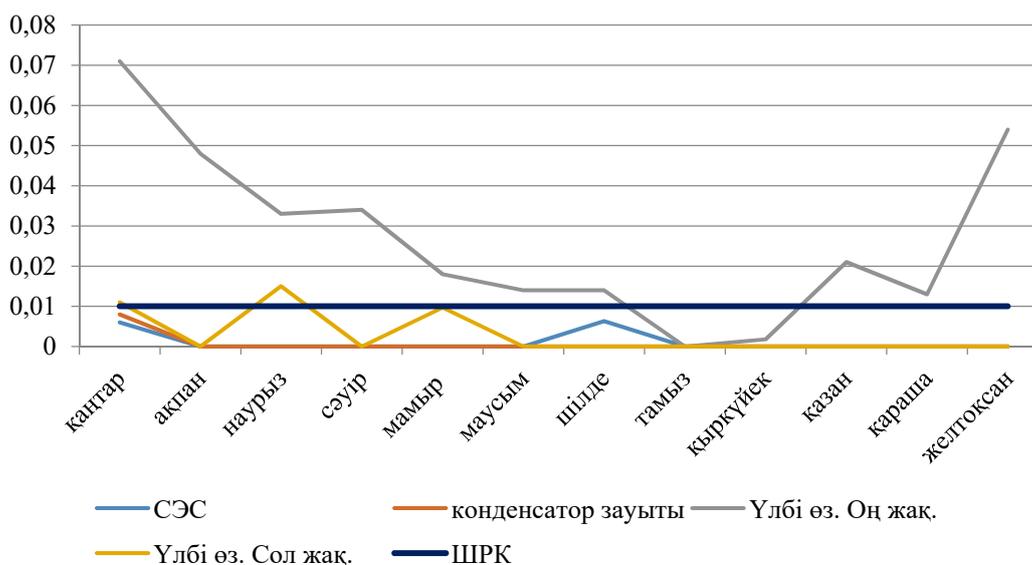
5-суретте көрсетілген марганецтің мәні бойынша 1-тұстама сынамасында Өскемен СЭС бөгетінен 0,8 км төмен, сарқырама тұсында және 2-ші тұстама Конденсатор зауытының ағынды сулары көзінен 0,5 км төмен, теміржол көпірінен 0,5 км жоғарыда (оң жағалау) қаңтар және маусым айларында шектен асып тұрады және 3-тұстама сынамасында Үлбі өзенінің құйылысынан 3,2 км төмен, понтондық көпірден 0,35 км төмен, титан-магний комбинатының ағынды суларынан 0,5 км төменде (Оң жақ Үлбі) (қаңтар, ақпан, наурыз, сәуір, мамыр, маусым, қазан, қараша, желтоқсан айларында) ШРК-дан асып тұрғанын көрсетеді, 4-ші тұстама сынамасында Өскемен қ., қала шегінде, Үлбі өзенінің құйылысынан 3,2 км төмен, Понтондық көпірден 0,35 км төмен, титан-магний комбинатының ағынды суларынан 0,5 км төмен (Сол жақ Үлбі) (қаңтар, наурыз, маусым, қазан айларында) бірыңғай жіктеу жүйесі бойынша 2-класстан (жақсы сапа) асқанын байқаймыз.

6-суретте көрсетілген мырыш мәні бойынша 3-ші тұстама сынамасында Үлбі өзенінің құйылысынан 3,2 км төмен, понтондық көпірден 0,35 км төмен, титан-магний комбинатының ағынды суларынан 0,5 км төменде (Оң жақ Үлбі) барлық айда ШРК-дан асып тұрғанын көрсетті, демек бірыңғай жіктеу жүйесі бойынша 4-классқа (ластанған) жатқызамыз. 4-ші тұстама сынамасында Өскемен қ., қала шегінде, Үлбі өзенінің құйылысынан 3,2 км төмен, Понтондық



5-сурет – Ертіс өзені суындағы марганец металының көрсеткіші («Қазгидромет» РМК мәліметі 2024 жыл 12 ай көрсеткіштері)

Figure 5 – Manganese content in the Irtys River water (RSE «Kazhydromet» data for 12 months of 2024)



6-сурет – Ертіс өзені суындағы мырыш металының көрсеткіші («Қазгидромет» РМК мәліметі 2024 жыл 12 ай көрсеткіштері)

Figure 6 – Zinc content in the Irtys River water (RSE «Kazhydromet» data for 12 months of 2024)

көпірден 0,35 км төмен, титан-магний комбинатының ағынды суларынан 0,5 км төмен (Сол жақ Үлбі) (қаңтар, наурыз, айларында) бірыңғай жіктеу жүйесі бойынша 4-класстан (ластанған) асқанын байқаймыз.

Ауыр металдар тіпті төмен концентрацияда да өлімге әкелуі мүмкін. Мырыш және мыс сияқты кейбір металдар биологиялық функциялар үшін микромөлшерде маңызды болғанымен, олардың жоғары концентрациясы биологиялық процестерді бұзады, су ағзаларына зиян келтіреді және адам денсаулығына айтарлықтай қауіп төндіреді [16].

Ауыр металдардың ластануы экожүйелерге, судың сапасына және табиғатқа айтарлықтай әсер етеді. Су экожүйелерінде кадмий, мыс, марганец, қорғасын және сынап сияқты металдар су ағзалары үшін улы болып табылады, аталған металдар олардың өсуін тежейді және өлімді арттырады [17].

Қауіптілік дәрежесі ретіндегі компоненттер тізбесі: Hg, Tl, Be (I топ – өте қауіпті); Cd, Se, Pb, Li, Ba, Bi, W, AS, Ag, Sb, Nb, Sm, Co, Te (II топ – жоғары қауіпті); V, Fe, Cu, Zn, Ni, Eu (III топ – қауіпті).

Қазақстан аумағындағы Ертіс өзені нысандарының су сапасы мен экологиялық жай-күйіне шекті ластану коэффициентіне (ШПК) (шекте рұқсат етілген концентрациясына) байланысты ($K_{\text{ШЛ}}$) бағалау жүргізілді [2,18].

$$K_{\text{ШЛ}} = C_i / \text{ШПК},$$

мұнда C_i – анықталған элементтің судағы нақты концентрациясы, мг/дм³; ШПК – анықталған элементтің судағы шекте рұқсат етілген концентрация көлемі, мг/дм³; $K_{\text{ШЛ}}$ – судың сапасын сипаттайтын коэффициент. $K_{\text{ШЛ}}$ мәнінің интерпретациясы 4-кесте көрсетілген.

3-кесте – $K_{\text{ШЛ}}$ көрсеткіші бойынша су сапасының жіктелуі

Table 3 – Water quality classification based on indicator K_{shl}

Өте таза	Таза	Орташа таза	Орташа ластанған	Жоғары ластанған	Өте лас
<0,80	-0,81–0,00	0,01–1,00	1,1–3,0	3,1–5,0	>5,1

4-кесте – Зерттеу аймақтарының суындағы ауыр металдардың жылжымалы формалары, $K_{\text{ШЛ}}$ көрсеткіші нәтижелері

Table 4 – Mobile forms of heavy metals in the water of the surveyed zones, according to indicator K_{shl} results

Шекте рұқсат етілген концентрация (ШПК), мг/дм ³	0,001 мг/дм ³	0,01 мг/дм ³	0,01 мг/дм ³	0,001 мг/дм ³
Элементтер	Мыс, мг/дм ³	Марганец, мг/дм ³	Мырыш, мг/дм ³	Кадмий, мг/дм ³
Талдама нәтижесі бойынша $K_{\text{ШЛ}}$ көрсеткіші (2024 жылдың желтоқсан айында)				
«Өскемен қаласының СЭС (су электр станциясы)»	–	1,10	0,14	0,01
Үлбі өзені (Металл зауыты)	–	3,34	0,15	0,18
«Қазгидромет» РМК бойынша $K_{\text{ШЛ}}$ көрсеткіші (жылдық орташа көрсеткіш)				
«Өскемен қаласының СЭС (су электр станциясы)»	2,0	3,8	1,1	–
«Өскемен Конденсатор Зауыты»	2,0	0,7	0	–
Үлбі өзенінің оң жақ бөлігі	3	1,9	3	–
Үлбі өзенінің сол жақ бөлігі	3	0,9	0,2	–

Талдама нәтижесі бойынша (2024 жылдың желтоқсан айындағы) $K_{\text{ШЛ}}$ көрсеткіші:

Марганец – шекте ластану коэффициенті екі сынама алу орнында да ШПК көлемінен көп. «Өскемен қаласының СЭС-ы аймағындағы $K_{\text{ШЛ}} = 1,10$ ($1,1 < K_{\text{ШЛ}} > 3$ – орташа ластанған), ал Үлбі өзені (Металл зауыты) аймағындағы $K_{\text{ШЛ}} = 3,34$ ($3,1 < K_{\text{ШЛ}} > 5,0$ – жоғары ластанған) жіктеліміне жатады.

Мырыш – екі зерттеу аймағында да көрсеткіш көлемі сәйкесінше «Өскемен қаласының СЭС (су электр станциясы)» $K_{\text{ШЛ}} = 0,14$ ($0,01 < K_{\text{ШЛ}} > 1,00$ – орташа таза), ал Үлбі өзені (Металл зауыты) аймағындағы $K_{\text{ШЛ}} = 0,15$ ($0,01 < K_{\text{ШЛ}} > 1,00$ – орташа таза).

Кадмий – сынама алынған нүктелердегі су құрамындағы ауыр металдармен ластану шекте коэффициенті «Өскемен қаласының СЭС (су электр станциясы)» $K_{\text{ШЛ}} = 0,01$ ($0,01 < K_{\text{ШЛ}} > 1,00$ – орташа таза), ал Үлбі өзені (Металл зауыты) аймағындағы $K_{\text{ШЛ}} = 0,18$ ($0,01 < K_{\text{ШЛ}} > 1,00$ – орташа таза).

«Қазгидромет» РМК деректері бойынша $K_{\text{ШЛ}}$ көрсеткіштері (жылдық орташа көрсеткіш):

1. «Өскемен қаласының СЭС (су электр станциясы)». Аймақтағы өзен суы марганецпен $K_{\text{ШЛ}} = 3,8$ ($3,1 < K_{\text{ШЛ}} > 5,0$) жоғары ластанған, мыспен $K_{\text{ШЛ}} = 2$ ($1,1 < K_{\text{ШЛ}} > 3$) орташа ластанған, мырышпен $K_{\text{ШЛ}} = 1,1$ ($1,1 < K_{\text{ШЛ}} > 3$) орташа ластанған.

2. «Өскемен Конденсатор Зауыты». Аумақтағы өзен суы мыспен $K_{\text{ШЛ}} = 2$ ($1,1 < K_{\text{ШЛ}} > 3$) орташа ластанған, марганец $K_{\text{ШЛ}} = 0,7$ ($0,01 < K_{\text{ШЛ}} > 1,00$ – орташа таза), мырыш $K_{\text{ШЛ}} = 0,00$ ($-0,81 < K_{\text{ШЛ}} > 0,00$ – таза).

3. Үлбі өзенінің оң жақ бөлігі. Аумақтағы өзен суы мыспен $K_{\text{ШЛ}} = 3$ ($1,1 < K_{\text{ШЛ}} > 3$) – орташа ластанған, мырышпен $K_{\text{ШЛ}} = 3$ ($1,1 < K_{\text{ШЛ}} > 3$) орташа ластанған, марганецпен де $K_{\text{ШЛ}} = 1,9$ ($1,1 < K_{\text{ШЛ}} > 3$) орташа ластанған.

4. Үлбі өзенінің сол жақ бөлігі. Аталған нүктедегі су құрамы мыспен $K_{\text{ШЛ}} = 3$ ($1,1 < K_{\text{ШЛ}} > 3$) – орташа ластанған), марганец $K_{\text{ШЛ}} = 0,9$ ($0,01 < K_{\text{ШЛ}} > 1,00$ – орташа таза), мырыш $K_{\text{ШЛ}} = 0,2$ ($0,01 < K_{\text{ШЛ}} > 1,00$ – орташа таза) деңгейді көрсетті.

Талқылау. Су ресурстарын сақтау және су сапасын арттыру проблемаларының өзектілігі жыл сайын артып келеді. Сонымен қатар, су ресурстарын басқару міндеттерінің саны да артып келеді. Су ресурстарын тиімді басқару көптеген факторларды есепке алуды және талдауды, сондай-ақ мемлекеттік құрылымдардан бастап қоғамға дейінгі мүдделі ұйымдар мен тұлғалардың кең ауқымына талдау нәтижелерінің қолжетімділігін талап етеді. Бұл бағыттағы қажетті қадамдардың бірі – су ресурстарын басқару бойынша автоматтандырылған ақпараттық-талдау жүйелерін құру. Бұл мәселелерді шешу, әдетте, әртүрлі компьютерлік ақпараттық технологияларды біріктіруді қажет етеді. Атап айтқанда, мұндай жүйелер кеңістіктік ақпаратты жүргізуді, кеңістіктік талдауды орындауды және шығыс картографиялық құжаттарды құруды қамтамасыз ететін геоақпараттық технологияларға негізделуі керек [19, 20].

Сондықтан, Қазақстан аумағындағы Өскемен қаласы шегіндегі Ертіс өзені объектілерінің су сапасының ластану көрсеткіші геоэкологиялық бағалау негізінде жоғарыда зерттелген талдау нәтижелері Ертіс өзенінің сынамалар алынған әр бір нүктелері бойынша ГАЗ технологиясын қолдана отырып картада 7-суретте бейнеленген. Су құрамындағы мыс (Cu), мырыш (Zn), марганец (Mn) ауыр металл концентрация мөлшері көрсетілген. Сонымен қатар «Қазгидромет» РМК деректеріне сүйене отырып, аталған ауыр металдармен ластануының көрсеткіші әр металға үшін жеке-жеке талдау жасап, ластану көрсеткіштерінің мөлшеріне қарай Ертіс өзені суы аймақтарға бөлініп, шартты белгілермен көрсетілген.

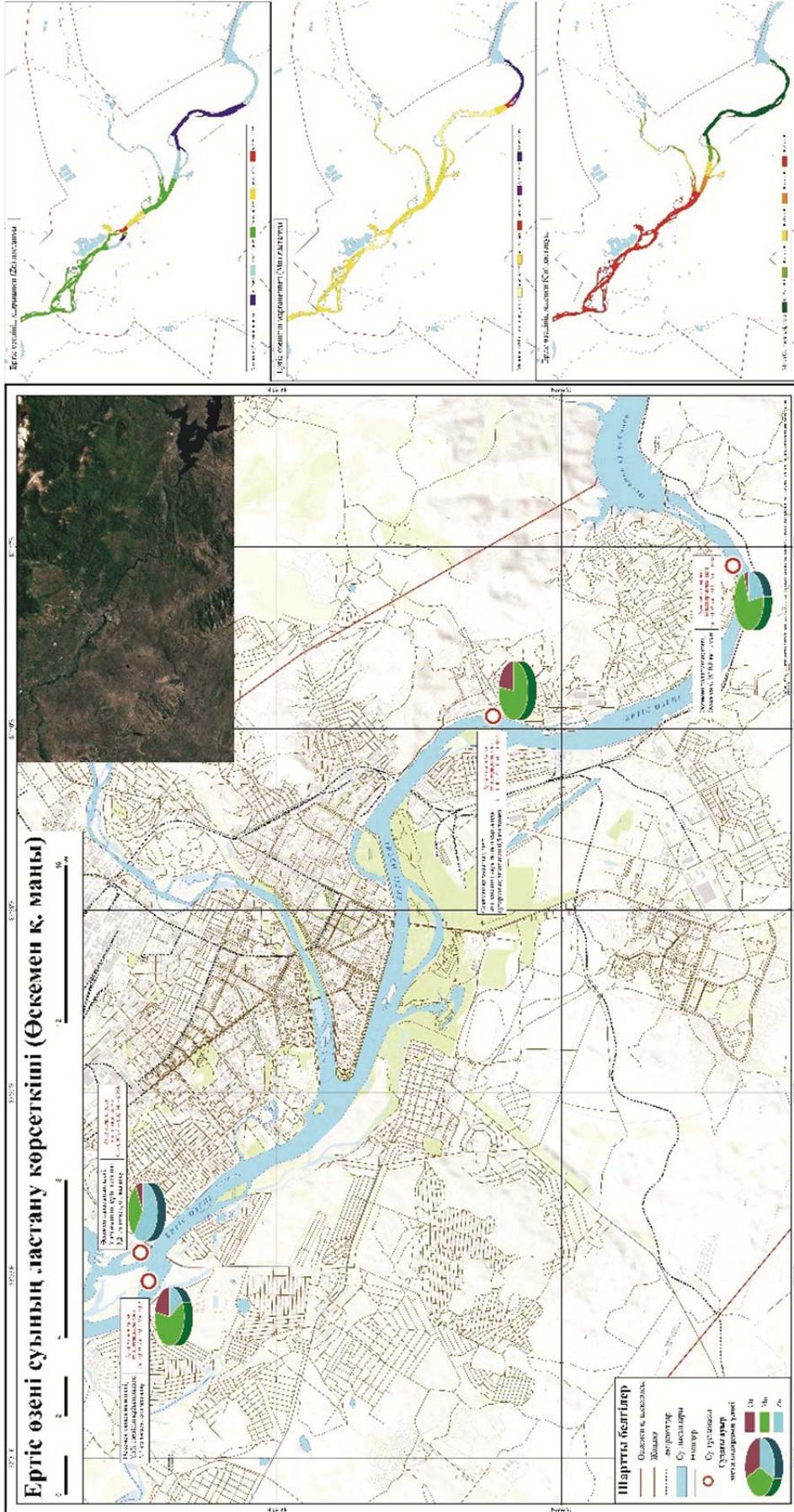
Ауыр металдардың өзен аумағындағы концентрациясы ArcGIS бағдарламасындағы IDW құралының көмегімен анықталды. 7-суретте көрсетілгендей нәтижесінде судағы ауыр металдардың мөлшері, атап айтқанда марганец (Mn) $0,005-0,019$ мг/дм³, мыс (Cu) – $0,002-0,003$ мг/дм³, мырыш (Zn) – $0-0,024$ мг/дм³ аралығын қамтыды.

Ертіс өзені геоэкологиялық бағалау кезінде мыс (Cu), мырыш (Zn), марганец (Mn) жер үсті суының сапасын сипаттайтын ықтимал маңызды ластаушылар ретінде анықталды.

Қорытынды. Қорыта келе, судың сапасын бағалау Ертіс өзені бассейнінің төрт гидрологиялық жармалары бойынша 2024 жылды қамтитын «Қазгидромет» РМК ақпараттық-талдау материалдарының негізінде жүргізілді, атап айтқанда 1) Өскемен СЭС бөгетінен $0,8$ км төмен, сарқырама тұсында; 2) Конденсатор зауытының ағынды сулары көзінен $0,5$ км төмен, теміржол көпірінен $0,5$ км жоғары (оң жағалау); 3) Үлбі өзенінің құйылысынан $3,2$ км төмен, понтондық көпірден $0,35$ км төмен, титан-магний комбинатының ағынды суларынан $0,5$ км төмен (Оң жақ Үлбі); 4) Өскемен қ., қала шегінде, Үлбі өзенінің құйылысынан $3,2$ км төмен, Понтондық көпірден $0,35$ км төмен, титан-магний комбинатының ағынды суларынан $0,5$ км төмен (Сол жақ Үлбі). сонымен қатар салыстырмалы тәжірибе «Өскемен қаласының СЭС (су электр станциясы)», «Үлбі Металл зауыты аймақтарында жүргізілді.

Ертіс өзенінің су сапасын зерттеу нәтижелерінің деректерін талдау негізінде қорытынды ретінде келесілерді көрсетуге болады. Концентрацияны жалпы зерттеу арқылы бассейн сипаты бойынша Ертіс өзенінің трансшекаралық ағысын қатты ластанған деп айтуға болмайды. Су сапасының жалпы параметрлері қолайлы болып саналады. Мыс пен басқа да ауыр металдардың бірыңғай жіктеу жүйесінен асып кетуі белгілі бір кезеңдерде және белгілі бір өзен учаскелерінде су тасқынына байланысты байқалды, бірақ өзен суы сапасының айтарлықтай нашарлауына осы уақытқа дейін себеп болған жоқ. Мүмкін себебі, айналасындағы тау-кен жұмыстарынан шыққан минералды шаңның шайылып, өзенге таралуы немесе мыс шөгіндісінің қатты ағыстан бұзылуы.

Зерттеу жұмысында Өскемен қаласы маңындағы нүктелерден алынған Ертіс өзені суының мыс (Cu), мырыш (Zn), марганец (Mn), кадмий (Cd) сияқты ауыр металдармен шекті ластану коэффициенті есептелді. «Қазгидромет» РМК деректері бойынша жүргізілген есептеулер нәтижесі



7-сурет – Ертіс өзенін ластау көрсеткішінің картасы (Өскемен қ. маңы)
Figure 7 – Map of pollution indicators of the Irtysh River (suburbs of Ust-Kamenogorsk)

барлық су сынамаcы алынған нүктелердегі су құрамының мыспен $1,1 < K_{\text{ШЛ}} > 3$ – орташа ластанған деңгейін көрсетті, ал марганец деңгейі екі аймақ бойынша, атап айтқанда «Өскемен қаласының СЭС-ында», Үлбі өзенінің оң жақ бөлігінде $1,1 < K_{\text{ШЛ}} > 3$ – орташа ластанған. Ең төменгі шекті ластану коэффициенті «Өскемен Конденсатор Зауытына» тиесілі, $-0,81 < K_{\text{ШЛ}} > 0,00$ – таза.

Ал 2024 жылдың желтоқсан айында су сынамаларын алып, атомдық абсорбциялық-спектрофотометрия әдісімен талдау жасалған зертхана қорытындысы шекті ластану коэффициенті «Өскемен қаласының СЭС-ы аймағындағы $1,1 < K_{\text{ШЛ}} > 3$ – орташа ластанған, ал Үлбі өзені (Металл зауыты) аймағында $3,1 < K_{\text{ШЛ}} > 5,0$ – жоғары ластанған деп көрсетті, сондай-ақ екі сынама орнында да ауыр металмен ластану ШРК көлемінен артық болды.

Жүргізілген зерттеулер нәтижелері геоэкологиялық бағалау негізінде ауыр металдардың өзен аумағындағы концентрациясы ArcGIS бағдарламасындағы IDW құралының көмегімен картаға бейнеленді. Карта арқылы Өскемен қаласы шегіндегі Ертіс өзені су сапасының көрсеткіштерін көре аламыз.

Ертіс өзені ластануының айлық көрсеткіші мен орташа көрсеткіші нәтижелері әртүрлі болуы мүмкін. Жыл бойына судың ауыр металдармен ластану деңгейінің өзгеруі табиғи және антропогендік факторлар кешеніне байланысты болады. Дәл көрсеткіштерді алу үшін судың сапасына үнемі мониторинг жүргізіп отыру қажет.

Ертіс өзені су сапасына көп жағдайда Үлбі саласының әсері жоғары екені байқалады. Ертіс трансшекаралық өзенінің өнеркәсіптік, коммуналдық тұрмыстық, ауыл шаруашылығы ағында-рымен ластануын азайту үшін өзеннің су айдынында ғана емес, сонымен бірге негізгі су ағынына елеулі ластануды енгізетін оның салаларында да судың жай-күйіне тұрақты бақылау мен мониторинг жүргізу қажет.

ӘДЕБИЕТ

[1] Ержанов Н. Т., Карабалаева А. Б. Современное экологическое состояние реки Иртыш в пределах Павлодарской области // Гидрометеорология и экология. – 2011. – № 4. – С. 144-147.

[2] Мустафаев Ж. С., Рыскулбекова Л. М. Геоэкологическая оценка качества поверхностных вод речного бассейна с математическим анализом (на примере реки Иле) // Гидрометеорология и экология. – 2021. – № 4. – С. 6-19. <https://doi.org/10.54668/2789-6323-2021-103-4-6-19>

[3] Романова С., Крупа Е., Серикова А., Алексеев С. Современная гидрохимическая характеристика водных объектов казахстанской части бассейна р. Ертыс // Гидрометеорология и экология. – 2024. – № 1. – С. 121-132. <https://doi.org/10.54668/2789-6323-2024-112-1-121-132>

[4] Krupa E., Romanova S., Serikova A., Shakhvorostova L. A Comprehensive Assessment of the Ecological State of the Transboundary Irtysh River (Kazakhstan, Central Asia) // Water. – 2024. – Vol. 16. – 973 p. <https://doi.org/10.3390/w16070973>

[5] Бурлибаев М. Ж., Амиргалиев Н. А., Шенбергер И. В., Скольский В. А., Бурлибаева, Д. М., Уваров Д. В., Смирнова Д. А., Ефименко А. В., Милуков Д. Ю. Проблемы загрязнения основных трансграничных рек Казахстана. – Алматы, 2014. – Т. 1. – 742 с.

[6] Пузанов А. В., Безматерных Д. М., Рыбкина И. Д., Зиновьева А. Т., Кошелева Е. Д., Ловцкая О. В. Трансграничные проблемы реки Иртыш: современное состояние и прогноз до 2030 года // ResearchGate Logo. – 2021. – С. 299-304.

[7] Мамырбекова Г. К., Калыбекова Е. М., Анапьянова С. Б., Колпакова В. П., Еремеева Ю. Н., Шевцов М. Н. Ертіс өзені су сапасына Үлбі саласының әсері // Ізденістер, нәтижелер – Исследования, результаты. – 2024. – № 2(102). – С. 341-350 <https://doi.org/10.37884/2-2024/33>

[8] André-Marie Dendievel, Brice Mourier, Aymeric Dabrin, Hugo Delile, Alexandra Coynel, Antoine Gosset, Yohan Liber, Jean-François Berger, Jean-Philippe Bedell. Metal pollution trajectories and mixture risk assessed by combining dated cores and subsurface sediments along a major European river (Rhône River, France) // Environment International. – 2020. – Vol. 144. – P. 16-29. <http://doi.org/10.1016/j.envint.2020.106032>

[9] Amudham Radha Amal Raj, Prabhakaran Mysamy, V. Sivasankar, B. Sathish Kumar, Kiyoshi Omine, T.G. Sunitha. Heavy metal pollution of river water and eco-friendly remediation using potent microalgal species // Water Science and Engineering. – 2024. – Vol. 17, Is. 1. – P. 41-50. <https://doi.org/10.1016/j.wse.2023.04.001>

[10] Burlibayeva D. M., Burlibayev M. Zh., Christian Opp, Bao Anming. Regime dynamics of hydrochemical and toxicological parameters of the Irtysh river in Kazakhstan // Journal of arid land. – 2016. – Vol. 8, No. 4. – P. 521-532. <https://doi.org/10.1007/s40333-016-0083-y>

[11] Су объектілерінде су сапасын жіктеудің бірыңғай жүйесін бекіту туралы. Қазақстан Республикасының Ауыл шаруашылығы министрлігі Су ресурстары комитеті төрағасының 2016 жылғы 9 қарашадағы № 151 бұйрығы.

[12] «Қазақстан Республикасының су объектілерінде су сапасын жіктеудің бірыңғай жүйесін қолдану жөніндегі әдістемелік ұсынымдарды бекіту туралы» Қазақстан Республикасы Экология және табиғи ресурстар министрінің 2024 жылғы 14 қарашадағы № 275-ө бұйрығы.

[13] Briffa J., Sinagra E., Blundell R. Heavy metal pollution in the environment and their toxicological effects on humans // *Heliyon*. – 2020. – Vol. 6. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2020.e04691>

[14] Steve J. Hill, Andy S. Fisher. Atomic Absorption, Methods and Instrumentation // *Encyclopedia of Spectroscopy and Spectrometry (Third Edition)*, Academic Press. – 2017. – P. 37-43. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-803224-4.00099-6>

[15] Шығыс Қазақстан және Абай облыстары бойынша қоршаған орта жай-күйі жөніндегі ақпараттық бюллетені. – Өскемен, 2024.

[16] Chakraborty S. C., Qamruzzaman M., Zaman M. W. U., Alam M. M., Hossain M. D., Pramanik B. K., Nguyen L. N., Nghiem L. D., Ahmed M. F., Zhou J. L., Mondal M. I. H. Metals in e-waste: occurrence, fate, impacts and remediation technologies // *Process Safety and Environmental Protection*. – 2022. – Vol. 162. – P. 230-252. <https://doi.org/10.1016/j.psep.2022.04.011>

[17] Joy Tuoyo Adu, Frank Ikechukwu Aneke. Evaluation of heavy metal contamination in landfills from e-waste disposal and its potential as a pollution source for surface water bodies // *Results in Engineering*. – Vol. 25. – 2025. – P. 2590-1230. <https://doi.org/10.1016/j.rineng.2025.104431>

[18] Шабанов В. В., Маркин В. Н. Метод оценки качества вод и состояния водных экосистем. – М.: МГУП, 2009. – 154 с.

[19] Хожамуратова Р. Т., Жангабаев Д. М. Роль ГИС-технологии в оценке и анализе современного состояния водных ресурсов // *Экономика и социум*. – 2024. – № 3-1(118). – С. 1018-1020. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/rol-gis-tehnologii-v-otsenke-i-analiza-sovremennogo-sostoyaniya-vodnyh-resursov>

[20] Long X., Liu F., Zhou X., Pi J., Yin W., Li F., Huang S., Ma F. Estimation of spatial distribution and health risk by arsenic and heavy metals in shallow groundwater around Dongting Lake plain using GIS mapping // *Chemosphere*. – 2021. – Vol. 269. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2020.128698>

REFERENCES

[1] Yerzhanov N. T., Karabalaeva A. B. The Current Ecological State of the Irtysh River within the Pavlodar Region // *Hydrometeorology and Ecology*. 2011. No. 4. P. 144-147 (in Russ.).

[2] Mustafayev Zh. S., Ryskulbekova L. M. Geoecological Assessment of Surface Water Quality in a River Basin Using Mathematical Analysis (the Case of the Ile River) // *Hydrometeorology and Ecology*. 2021. No. 4. P. 6-19. <https://doi.org/10.54668/2789-6323-2021-103-4-6-19> (in Russ.).

[3] Romanova S., Krupa E., Serikova A., Alekseev S. Current Hydrochemical Characteristics of Water Bodies in the Kazakhstani Part of the Irtysh River Basin // *Hydrometeorology and Ecology*. 2024. No. 1. P. 121-132. <https://doi.org/10.54668/2789-6323-2024-112-1-121-132> (in Russ.).

[4] Krupa E., Romanova S., Serikova A., Shakhvorostova L. A Comprehensive Assessment of the Ecological State of the Transboundary Irtysh River (Kazakhstan, Central Asia) // *Water*. 2024. Vol. 16. 973 p. <https://doi.org/10.3390/w16070973>

[5] Burlibayev M. Zh., Amirgaliev N. A., Shenberger I. V., Skolsky V. A., Burlibayeva D. M., Uvarov D. V., Smirnova D. A., Efimenko A. V., Milyukov D. Yu. Problems of Pollution of the Main Transboundary Rivers of Kazakhstan. Almaty, 2014. Vol. 1. 742 p. (in Russ.).

[6] Puzanov A. V., Bezmaternykh D. M., Rybkina I. D., Zinovyeva A. T., Kosheleva E. D., Lovtskaya O. V. Transboundary Issues of the Irtysh River: Current State and Forecast up to 2030 // *Proceedings of the All-Russian Scientific and Practical Conference with International Participation, September 20-25, 2021, Sochi. Rostov-on-Don, 2021*. P. 299-304 (in Russ.).

[7] Mamyrbekova G. K., Kalybekova E. M., Anapyanova S. B., Kolpakova V. P., Yeremeyeva Yu. N., Shevtsov M. N. Influence of the Ulba Tributary on the Water Quality of the Irtysh River // *Izdenister, Natyzheler – Research and Results*. 2024. No. 2(102). P. 341-350. <https://doi.org/10.37884/2-2024/33> (in Kaz.).

[8] André-Marie Dendievel, Brice Mourier, Aymeric Dabrin, Hugo Delile, Alexandra Coynel, Antoine Gosset, Yohan Liber, Jean-François Berger, Jean-Philippe Bedell. Metal pollution trajectories and mixture risk assessed by combining dated cores and subsurface sediments along a major European river (Rhône River, France) // *Environment International*. 2020. Vol. 144. P. 16-29 <http://doi.org/10.1016/j.envint.2020.106032>

[9] Amudham Radha Amal Raj, Prabhakaran Mysamy, V. Sivasankar, B. Sathish Kumar, Kiyoshi Omine, T.G. Sunitha. Heavy metal pollution of river water and eco-friendly remediation using potent microalgal species // *Water Science and Engineering*. 2024. Vol. 17, Is. 1. P. 41-50 <https://doi.org/10.1016/j.wse.2023.04.001>

[10] Burlibayeva D. M., Burlibayev M. Zh., Christian Opp, Bao Anming. Regime dynamics of hydrochemical and toxicological parameters of the Irtysh river in Kazakhstan // *Journal of arid land*. 2016. Vol. 8, No. 4. P. 521-532. <https://doi.org/10.1007/s40333-016-0083-y>

[11] On the Approval of a Unified System for Classifying Water Quality in Water Bodies. Order No. 151 of the Chairman of the Water Resources Committee of the Ministry of Agriculture of the Republic of Kazakhstan dated November 9, 2016 (in Kaz.).

[12] «On Approval of Methodological Recommendations for the Application of a Unified System for Classifying Water Quality in Water Bodies of the Republic of Kazakhstan». Order No. 275-o of the Minister of Ecology and Natural Resources of the Republic of Kazakhstan dated November 14, 2024 (in Kaz.).

- [13] Briffa J., Sinagra E., Blundell R. Heavy metal pollution in the environment and their toxicological effects on humans // Heliyon. 2020. Vol. 6. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2020.e04691>
- [14] Steve J. Hill, Andy S. Fisher. Atomic Absorption, Methods and Instrumentation. // Encyclopedia of Spectroscopy and Spectrometry (Third Edition), Academic Press. 2017. P. 37-43 <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-803224-4.00099-6>.
- [15] Environmental Status Information Bulletin for East Kazakhstan and Abai Regions // Branch of «Kazhydromet» RSE. Ust-Kamenogorsk, 2024 (in Kaz.).
- [16] Chakraborty S. C., Qamruzzaman M., Zaman M. W. U., Alam M. M., Hossain M. D., Pramanik B. K., Nguyen L. N., Nghiem L. D., Ahmed M. F., Zhou J. L., Mondal M. I. H. Metals in e-waste: occurrence, fate, impacts and remediation technologies // Process Safety and Environmental Protection. 2022. Vol. 162. P. 230-252 <https://doi.org/10.1016/j.psep.2022.04.011>
- [17] Joy Tuoyo Adu, Frank Ikechukwu Aneke. Evaluation of heavy metal contamination in landfills from e-waste disposal and its potential as a pollution source for surface water bodies // Results in Engineering. Vol. 25. 2025. P. 2590-1230. <https://doi.org/10.1016/j.rineng.2025.104431>
- [18] Shabanov V. V., Markin V. N. Method for Assessing Water Quality and the State of Aquatic Ecosystems. Moscow: MGUP, 2009. 154 p. (in Russ.).
- [19] Khojamutova R. T., Zhangabayev D. M. The Role of GIS Technology in the Assessment and Analysis of the Current State of Water Resources // Economics and Society. 2024. No. 3-1(118). P. 1018-1020 URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/rol-gis-tehnologii-v-otsenke-i-analiza-sovremennogo-sostoyaniya-vodnyh-resursov> (in Russ.).
- [20] Long X., Liu F., Zhou X., Pi J., Yin W., Li F., Huang S., Ma F. Estimation of spatial distribution and health risk by arsenic and heavy metals in shallow groundwater around Dongting Lake plain using GIS mapping // Chemosphere. 2021. Vol. 269. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2020.128698>

А. Б. Болатова¹, Л. С. Курбанова^{*2}, Б. Х. Тусупова³,
У. Ш. Мусина⁴, Г. З. Бижанова⁵, Қ. Т. Қырғызбай⁶, С. М. Нурмакова⁷

¹ Магистрант (Казахский национальный университет им. аль-Фараби,
Алматы, Казахстан; aiym.bolatova.01@mail.ru)

^{2*} К. т. н., старший преподаватель (Казахский национальный университет им. аль-Фараби,
Алматы, Казахстан; laura.kurbanova@kaznu.edu.kz)

³ К. т. н., старший преподаватель (Казахский национальный университет им. аль-Фараби,
Алматы, Казахстан; tussupova@yandex.ru);

⁴ К. т. н., ассоциированный профессор (Казахский национальный исследовательский
технический университет им. К.И. Сатпаева, Алматы, Казахстан; 07061960@mail.ru)

⁵ Докторант (Казахский национальный университет имени аль-Фараби,
Алматы, Казахстан; gulfairus82@mail.ru)

⁶ PhD, старший преподаватель (Казахский национальный университет им. аль-Фараби,
Алматы, Казахстан; kyrgyzbay.kudaibergen@gmail.com)

⁷ К. т. н., ассоциированный профессор (Казахский национальный исследовательский
технический университет им. К. И. Сатпаева, Алматы, Казахстан; s.nurmakova@satbayev.university)

ГЕОЭКОЛОГИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА СОВРЕМЕННОГО СОСТОЯНИЯ КАЧЕСТВА ВОДЫ РЕКИ ЕРТИС

Аннотация. Проведен анализ экологического состояния бассейна реки Ертис в пределах города Усть-Каменогорска за последние годы. Увеличение антропогенного воздействия в бассейне реки приводит к изменению водного баланса. На основе систематизации и анализа информационно-аналитических материалов РГП «Казгидромет» по загрязнению воды в течении реки Ертис в г. Усть-Каменогорске проведена оценка качества воды и ее геоэкологического состояния. С использованием показателей в воде в районе ГЭС города Усть-Каменогорска, Усть-Каменогорского конденсаторного завода, правой и левой зон реки Ульби рассчитан среднегодовой показатель загрязнения воды тяжелыми металлами. Среднегодовой показатель был сравнен с результатами проб, взятых в р. Ертис в районе ГЭС г. Усть-Каменогорска, р. Ульби (металлозавод) в 2024 году и сделан их анализ. Установлено, что в зависимости от характера водопользования показатели преобладающих загрязняющих веществ, в том числе тяжелых металлов меди, цинка, марганца, различаются в местах отбора проб.

Результаты геоэкологической оценки приведены на карте загрязнения реки Ертис тяжелыми металлами, разработанной с использованием ГИС-технологий.

Ключевые слова: геоэкологическая оценка, экология, река, анализ, оценка, антропогенные факторы, загрязнение, предельно допустимая концентрация, предельный коэффициент загрязнения.

A. B. Bolatova¹, L. S. Kurbanova^{*2}, B. H. Tussupova³,
U. Sh. Musina⁴, G. Z. Bizhanova⁵, K. T. Kyrgyzbay⁶, S. M. Nurmakova⁷

¹ Master student (Al-Farabi Kazakh National University, Almaty, Kazakhstan; *aiym.bolatova.01@mail.ru*)

^{2*} Candidate of Technical Sciences, Senior Lecturer (Al-Farabi Kazakh National University, Almaty, Kazakhstan; *laura.kurbanova@kaznu.edu.kz*)

³ Candidate of Technical Sciences, Senior Lecturer (Al-Farabi Kazakh National University, Almaty, Kazakhstan; *tussupova@yandex.ru*)

⁴ Candidate of Technical Sciences, Associated Professor (Satbayev University, Almaty, Kazakhstan; *07061960@mail.ru*)

⁵ Doctoral Student (Al-Farabi Kazakh National University, Almaty, Kazakhstan; *gulfairus82@mail.ru*)

⁶ PhD, Senior Lecturer (Al-Farabi Kazakh National University, Almaty, Kazakhstan; *kyrgyzbay.kudaibergen@gmail.com*)

⁷ Candidate of Technical Sciences, Associated Professor (Satbayev University, Almaty, Kazakhstan; *m.nurmakova@gmail.com*)

GEOECOLOGICAL ASSESSMENT OF THE CURRENT OF THE STATE ERTIS RIVER WATER QUALITY

Abstract. The article analyzes the ecological state of the Ertis River basin within the city of Ust-Kamenogorsk in recent years. It is noted that increased anthropogenic impact in the Ertis River basin leads to changes in the water balance. Based on the systematization and analysis of informational and analytical materials from RSE «Kazhydromet» regarding water pollution in the Ertis River within Ust-Kamenogorsk, an assessment of water quality and its geoecological state was conducted. Using indicators from water samples taken near the Ust-Kamenogorsk hydroelectric power station, the Ust-Kamenogorsk capacitor plant, and the right and left zones of the Ulbi River, the average annual level of water pollution by heavy metals was calculated. The obtained average annual indicator was compared with the results of samples taken from the Ertis River near the Ust-Kamenogorsk hydroelectric power station and the Ulbi River (metal plant) in 2024, and an analysis was performed. It was established that, depending on the nature of water use, the levels of predominant pollutants, including heavy metals such as copper, zinc, and manganese, vary at different sampling locations. The results of the geoecological assessment were presented on maps of heavy metal pollution in the Ertis River, developed using GIS technologies.

Keywords: geoecological assessment, ecology, river, analysis, assessment, anthropogenic factors, pollution, maximum permissible concentration, maximum pollution coefficient.

<https://doi.org/10.55764/2957-9856/2025-4-30-43.44>

МРНТИ 70.27.17

УДК 556.551

Т. Н. Самарханов¹, А. Б. Мырзагалиева*², А. М. Задагали³, Б. З. Медеубаева⁴

¹ PhD, и.о. ассоциированного профессора

(Международный университет «Астана», Астана, Казахстан; talant.68@mail.ru)

^{2*} Д. б. н., профессор

(Международный университет «Астана», Астана, Казахстан; an.myrzagaliyeva@gmail.com)

³ Магистр естественных наук, старший преподаватель

(Международный университет «Астана», Астана, Казахстан; Z.a.aizhan1993@gmail.com)

⁴ Магистр химии, старший преподаватель

(Международный университет «Астана», Астана, Казахстан; medeubayeva_bz@mail.ru)

МОРФОМЕТРИЧЕСКИЕ И ГИДРОХИМИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ СИБИНСКИХ ОЗЕР

Аннотация. Приведены результаты исследования морфометрических показателей и гидрохимического режима Сибирских озер, расположенных на высотах от 710 до 880 м над уровнем моря в горах Коктау Калбинского хребта Восточно-Казахстанской области. Озера тектонического происхождения, занимают общую площадь около 31 км². Глубина озерных котловин варьируется от 2 до 51 м: озеро Шалкар как крупнейший водоем достигает максимальной глубины 51 м, в то время как озеро Караколь имеет глубину до 3 м. По площади зеркал озера Садырколь и Караколь классифицируются как мелкие, а озера Коржынкколь, Торткара и Шалкар – как средние. Длина береговой линии варьируется от 2,6 км (озеро Караколь) до 9,4 км (озеро Шалкар), в среднем составляя 5,8 км. Рассмотрены гидрохимические параметры воды, включая содержание основных анионов и катионов, концентрацию кислорода, pH, минерализацию и жесткость. Химический состав воды определен как гидрокарбонатно-кальциевый тип, слабоминерализованный и с высокой щелочностью. Данные исследования показали стабильный кислородный режим, низкую окисляемость и малую цветность воды, что способствует развитию рекреационного потенциала региона. Результаты работы служат основой для дальнейшего мониторинга водоемов и оценки изменений, вызванных антропогенными воздействиями и климатическими условиями. Подтверждается высокая экологическая устойчивость водоемов, что способствует их эффективному использованию в рекреационных целях.

Ключевые слова: Сибирские озера, Садырколь, Торткара, Шалкар, Коржынкколь, Караколь, морфометрия, гидрохимия.

Введение. Группа Сибирских озер – уникальное природное явление, расположенное ступенчато у южной окраины массива Коктау Калбинского хребта, что придает данной территории особую рекреационную ценность. В группу входят пять озер: Садырколь (Ыстыкпа), Торткара (Дуйсен), Шалкар (Ульмейс), Коржынкколь (Алка) и Караколь (Сасыкколь). Каждое из пяти озер окаймлено скалами, практически лишенными растительности, высота которых достигает 1000–1300 м над уровнем моря. Наличие двух названий у Сибирских озер связано с историко-культурными и этнолингвистическими особенностями региона. Первые названия, такие, как Садырколь, Торткара, Шалкар, Коржынкколь и Караколь, являются более официальными и используются в современной географической и научной литературе. Вторые названия – Ыстыкпа, Дуйсен, Ульмейс, Алка и Сасыкколь чаще происходят из казахских диалектов и связаны с народной топонимикой, отражая особенности быта, исторические события или природные свойства этих озер. Такое дублирование нередко встречается в казахской топонимике, особенно в тех местах, где природа имеет важное культурное и хозяйственное значение для местного населения.

Сибирские озера в целом остаются малоизученными с точки зрения гидрологии, гидрохимии и биологии. В монографии Филонца П. П. «Очерки по географии внутренних вод Центрального, Южного и Восточного Казахстана (озера, водохранилища и ледники)» [1] представлены сведения о водоемах, включая их общую характеристику, физико-химические параметры, морфометрию, генезис озерных котловин, а также данные о водном режиме и балансе. В частности, рассмотрены

уровень минерализации, химический состав воды и видовой состав растительности для четырех озер Сибирской группы. Отдельные предварительные исследования также затрагивают таксономию водных водорослей и многофакторные экологические и биологические особенности Сибирских озер [2, 3].

Имеются труды, посвященные рекреационным возможностям и перспективам развития туристской деятельности Восточного Казахстана, в которых особое внимание уделяется Сибирским озерам. Авторы подчеркивают их живописность, удобное транспортное расположение, а также высокий потенциал для развития водного туризма и пляжного отдыха [4-6].

В настоящее время Сибирские озера активно используются для организации пляжного и спортивного отдыха, привлекая дайверов, фридайверов и подводных охотников. Озера обладают удобными условиями для различных водных активностей, таких, как катание на катерах, гидроциклах, моторных лодках, водных лыжах и пляжный отдых. Берега озер подходят как для кратковременного, так и для длительного отдыха: для первого организуются выезды на природу, для второго развиваются базы и дома отдыха. Функционирующие базы отдыха способствуют развитию рекреационной инфраструктуры региона.

Многочисленные исследования, проведенные в разных географических и климатических регионах мира, выявляют зависимость геохимического состава озерных вод от местных геологических условий, включая состав коренных пород, химические свойства воды и гидравлические процессы [7-10]. Учитывая вклад озер в привлекательность ландшафта и расширение возможностей для досуга [11-13], для их дальнейшего рекреационного использования требуется изучение морфометрических характеристик и гидрохимического состава воды. Эти исследования помогут оценить состояние водоемов, их способность к самоочищению и устойчивость к антропогенной нагрузке, что будет способствовать их рациональному использованию в туристической и оздоровительной деятельности.

Материал и методы исследования. Морфометрические характеристики озер отражают как особенности формирования котловины, так и процессы, происходящие в водной толще. В качестве основных анализируемых морфометрических показателей нами выбраны площадь зеркал озер, объем водной массы, максимальная длина и ширина озер, их максимальные глубины. На основе указанных параметров рассчитывались коэффициент удлиненности и степень развития береговой линии [14].

В ходе полевых исследований максимальная глубина была определена с использованием ручного эхолота Speedtech Depthmate SM-5. Батиметрическая съёмка проводилась по системе параллельных галсов, ориентированных вдоль длинной оси озера, со средним шагом между галсами около 15 м и перекрытием не менее 10 %. Для уточнения рельефа дна выполнялись дополнительные поперечные галсы. Глубины регистрировались с дискретностью 0,5-1 м по ходу движения лодки. Точность измерений соответствовала паспортным характеристикам прибора ($\pm 0,1$ м). Положение галсов и контрольных точек фиксировалось с использованием ручного GPS-приёмника с типовой горизонтальной точностью до 3-5 м. Площадь охвата батиметрической съёмки соответствовала площади акватории каждого исследуемого озера и обеспечивала картирование 90-95% его поверхности [15].

Параметры водной поверхности, такие, как максимальная длина, максимальная ширина, площадь и длина береговой линии, были измерены для каждого водоема с помощью Google Earth Pro и уточнены на основе топографических карт масштабов 1:50 000 – 1:200 000.

Материалы по гидрохимии системы Сибирских озер написаны по данным исследований четырех озер: Садырколь, Торткара, Шалкар, Коржынколь. С каждого озера отобраны по четыре пробы воды, всего проб – 16. Содержание растворенного в воде кислорода определили на месте кислородомером МАРК 302 – Э, рН измеряли с помощью рН-метра типа Марк-901. Гидрохимические исследования и отбор проб воды проводили по общепринятым методикам [16, 17]. Пробы отбирали из поверхностного слоя воды при помощи пробоотборной системы СП-2. Пробы воды отбирали в профундали и литорали.

Гидрохимические анализы проведены в аналитической лаборатории ТОО «Лаборатория-Атмосфера». Испытания проводились в соответствии с требованиями действующих нормативных документов [18].

Соответствие результатов анализов рыбохозяйственным ПДК проводились по общепринятому «Обобщенному перечню ПДК...» [19, 20].

Гидрохимические пробы проанализированы по 17 показателям, включая изучение газового режима, содержания основных ионов и биогенных веществ.

Деление вод по преобладающим ионам и по соотношению между ними проведено по классификации О. А. Алекина. По преобладающему аниону О. А. Алекиным [21] выделяются три класса вод: гидрокарбонатные, сульфатные и хлоридные. По ведущему катиону различают группы кальциевых, магниевых и натриевых вод. Соотношение ионов позволяет установить различные типы вод.

Результаты. Сибинские озера представляют собой однотипные тектонические образования, занимающие общую площадь около 31 км². Глубина озерных котловин варьируется от 2 до 48 м. Согласно батиметрическим измерениям 2018 года озеро Торткара имеет глубину 19 м, а озеро Шалкар – 51 м (рисунок 1, таблица 1). Средняя прозрачность воды в озерах достигает 6-7 м, при этом озеро Шалкар как крупнейший и самый глубокий водоем Сибинской группы отличается максимальной прозрачностью воды до 11 м [13, 22].

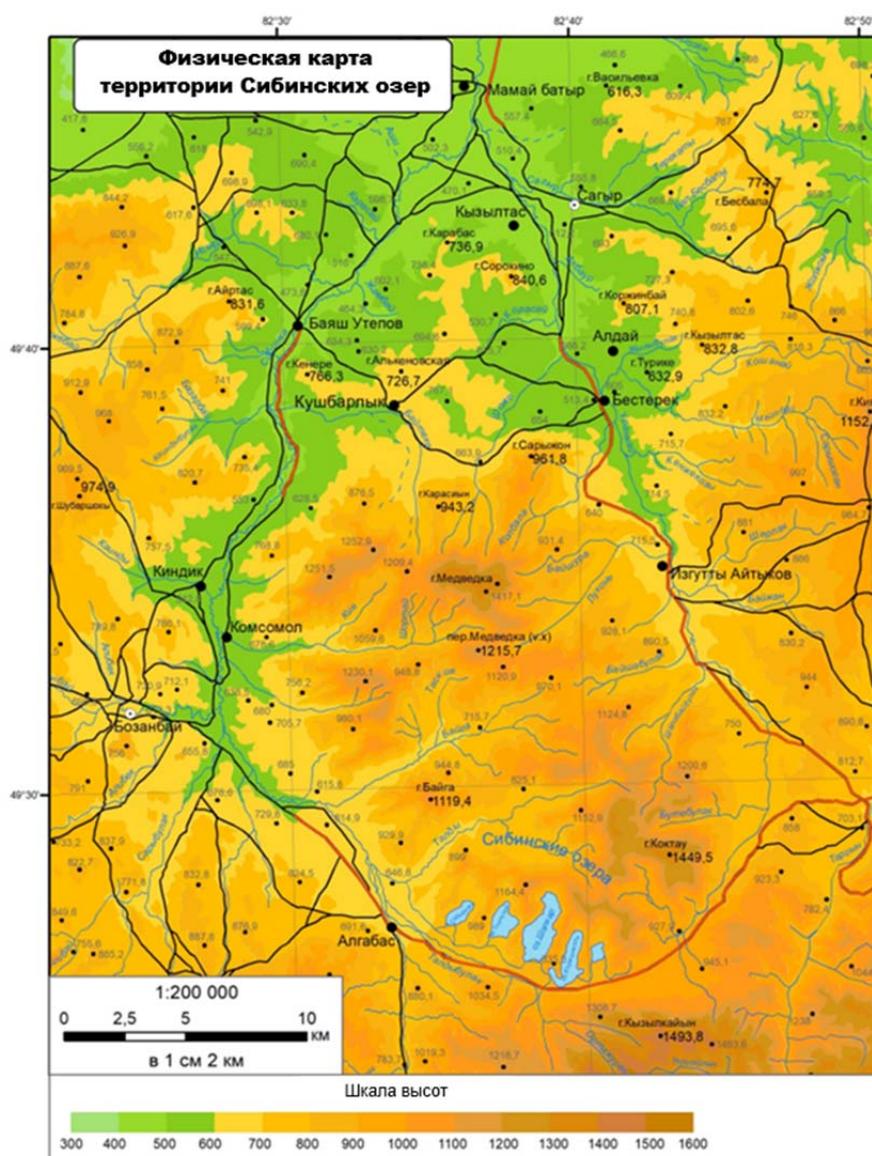


Рисунок 1 – Физическая карта территории Сибинских озер

Figure 1 – Physical Map of the Sibe Lakes Area

Таблица 1 – Морфометрические показатели озер Сибирской группы

Table 1 – Morphometric Indicators of the Sibe Lake Group

Показатели		Садырколь	Торткара	Шалкар	Коржынкoль	Караколь
Высота над уровнем моря, м		714	772	822	841	867
Площадь зеркала озера, км ²		0,69	1,19	2,69	1,6	0,37
Объем водной массы, км ³		4,1x10 ⁻³	1,51x10 ⁻²	8,61x10 ⁻²	1,65x10 ⁻²	–
Максимальная длина озера, км		1,4	1,7	3,1	2,5	0,9
Ширина	максимальная, км	0,6	1,1	1,4	0,95	0,72
	средняя, км	0,5	0,7	0,9	0,64	0,6
Максимальная глубина, м		9	19	51	15,5	–
Длина береговой линии, км		3,8	5,2	9,4	7,8	2,6
Изрезанность береговой линии		0,13	1,34	1,6	1,7	1,2
Коэффициент удлиненности		2,8	2,4	3,4	3,9	1,5

Гидрологические процессы в озерах до конца не изучены. Предположительно глубокие водоносные горизонты проходят через подземные морфоструктурные трещины в магматических породах, формирующих региональную геологическую основу [14]. Нижняя часть озерных котловин сложена рыхлыми песчано-гравийными отложениями. Основное питание водоемов обеспечивается за счет родников, а также весеннего таяния снегов. Кроме того, в озера поступают небольшие сезонные притоки с окружающих холмов, а основной приток сточных вод наблюдается в конце весны (май). Два годовых пика осадков – в марте (102 мм) и августе (85 мм) способствуют временному насыщению верхнего слоя почвы и повышению уровня воды, который достигает максимальных значений в апреле-мае, а затем постепенно снижается в течение летних месяцев (июнь-июль) [22].

Береговая линия озер слабо изрезана, берега преимущественно скалистые и круто спускаются к воде. Литоральная зона выражена слабо, главным образом на юго-восточных побережьях. Характер и распределение грунтов зависят от глубины водоемов: прибрежная зона покрыта крупнозернистым гранитным песком, светло-серыми и темными илами.

Сибирские озера относятся к гидрологически закрытым водоемам, не имеющим внешнего стока, за исключением небольших сезонных поверхностных сбросов. Озера соединены между собой небольшим безымянным ручьем со средней водоемкостью менее 0,5 м³/с. Сток последнего из озер осуществляется из четвертого озера, далее впадает в реку Сибинку, которая, сливаясь с рекой Аблакеткой, соединяется с Иртышом. Пятое, нижнее озеро не имеет непосредственного поверхностного соединения с остальными, однако его сток также поступает в ручей, вытекающий из четвертого озера. После весеннего таяния снегов и летних осадков в августе водность ручья постепенно снижается, а уровень воды в озерах достигает минимальных значений осенью (октябрь-ноябрь). В зимний период (декабрь-март) озера полностью замерзают, а уровень воды остается стабильным.

Одним из наиболее значимых морфометрических параметров озер является их максимальная глубина. Согласно классификации С. П. Китаева [23, 24], к мелким озерам относится Караколь (глубина до 3 м), к средним – Садырколь, а к глубоким – Коржынкoль (15,5 м), Торткара (19 м) и Шалкар (51 м) (см. таблицу 1, рисунок 2).

По площади зеркал озера Садырколь и Караколь классифицируются как мелкие, в то время как Коржынкoль, Торткара и Шалкар относятся к средним озерам. Длина береговой линии варьируется в широком диапазоне – от 2,6 км (озеро Караколь) до 9,4 км (озеро Шалкар), в среднем составляя 5,8 км (см. таблицу 1).

Форма озерных котловин не имеет значительных отличий: у всех озер котловина открыта на юг, в то время как северные, западные и восточные берега сложены гранитами. Озера Садырколь, Торткара и Караколь располагаются в циркообразной котловине. Озеро Шалкар имеет вытянутую в меридиональном направлении котловину. Озеро Коржынкoль отличается удлиненной формой и занимает две циркообразные котловины. Северная котловина обширна и овально вытянута в меридиональном направлении, тогда как юго-западная котловина меньше по размеру [1].



Рисунок 2 – Морфометрические показатели озер Сибинской группы

Figure 2 – Morphometric Indicators of the Sibe Lake Group

Форма озера Коржынколь является основой происхождения его названия. Название «Коржынколь» происходит от казахского слова «коржын», которое обозначает национальный атрибут торжества – сумку с двумя карманами. Форма котловины Коржынколь напоминает эту национальную сумку. Второе название озера «Алқа» в переводе означает «ожерелье», поскольку форма котловины данного водоема также напоминает ожерелье.

Химический состав вод Сибинских озер определяется природными факторами, включая физико-географические характеристики их бассейнов. К таким характеристикам относятся климат, почвенный покров, литологический состав пород, через которые проходит вода, наличие или отсутствие стока, а также глубина, объем и площадь озерных водоемов. Биологические процессы и взаимодействие с подземными водами также играют важную роль в формировании химического состава озерных вод. Далее мы приводим гидрохимическую характеристику четырех озер.

Отбор и анализ гидрохимических проб проводились в июле, в разгар летнего сезона, характеризующегося наибольшей туристической нагрузкой, на четырех озёрах Сибинской группы: Садырколь, Торткара, Шалкар и Коржынколь, обладающих высокой рекреационной ценностью. Пятое озеро не используется в хозяйственных целях, а доступ к нему закрыт для посетителей.

Гидрохимические пробы отбирались в каждом из четырех озер в четырех ключевых точках: одна – из литоральной зоны и три – из пелагиалей.

Поскольку исследование проводилось исключительно в летний период, сезонная изменчивость гидрохимических параметров в рамках этого исследования не оценивалась. Основное внимание уделялось оценке состояния воды в условиях повышенной антропогенной нагрузки в период рекреационного сезона.

Озеро Садырколь. В период отбора проб температура воды озера составляла 24,5-24,9°C. Вода отличалась низкой цветностью и высокой прозрачностью. Гидрохимические показатели озера Садырколь по 17 параметрам представлены в таблице 2.

Таблица 2 – Гидрохимические показатели озера Садырколь

Table 2 – Hydrochemical Indicators of Lake Sadyrkol

Показатели	Ед.изм.	Литораль	Пелагиаль 1	Пелагиаль 2	Пелагиаль 3
Растворенный кислород	мг/дм ³	10,92	10,80	11,23	10,78
Водородный показатель	–	9,14	9,15	9,13	9,11
Азот аммонийный	мг/дм ³	0,297	0,302	0,295	0,295
Азот нитратный	мг/дм ³	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1
Азот нитритный	мг/дм ³	<0,007	<0,007	<0,007	<0,007
Гидрокарбонаты	мг/дм ³	137,25	137,25	134,20	137,25
Жесткость	мг-экв/дм ³	1,18	1,20	1,20	1,23
Калий	мг/дм ³	2,40	2,45	2,36	2,40
Кальций	мг/дм ³	14,5	15,0	15,0	15,0
Карбонаты	мг/дм ³	15,0	15,0	15,0	15,0
Магний	мг/дм ³	5,4	5,4	5,4	5,7
Натрий	мг/дм ³	6,00	6,04	6,00	5,95
Перманганатное число	мг О ₂ /дм ³	2,85	2,88	2,82	2,80
Сульфаты	мг/дм ³	25,3	25,5	25,0	25,0
Сухой остаток (минерализация)	мг/дм ³	85,0	85,3	84,8	85,1
Фосфаты	мг/дм ³	0,040	0,040	0,037	0,041
Хлориды	мг/дм ³	5,56	5,10	5,10	5,56

Значение рН, определяющее форму и соотношение ионов в воде, варьировало в узком диапазоне и в среднем составляло 9,13, что характеризует воду как щелочную. Изменение рН связано с углекислотным равновесием, обусловленным концентрацией гидрокарбонат-ионов и карбонатов. В щелочной среде содержание гидрокарбонат-ионов достигало 90%, что подтверждается результатами анализа. Вода содержала 134,2-137,25 мг/дм³ гидрокарбонат-ионов и 15,0 мг/дм³ карбонат-ионов (см. таблицу 2).

Концентрация растворенного кислорода варьировала от 10,78 до 11,23 мг/дм³, с минимальным значением в третьей точке и максимальным во второй (пелагиаль). Кислородный режим влияет на перманганатную окисляемость, показатель содержания органических веществ. Значение перманганатного числа составляет 2,80-2,88 мгО/дм³, указывая на низкую окисляемость воды (см. таблицу 2).

Среди неорганических азотсодержащих соединений преобладали аммонийные ионы (0,295-0,307 мг/дм³). Источником их поступления являются атмосферные осадки и разложение органики. Концентрация нитрит- и нитрат-ионов была ниже предела обнаружения, что характерно для водоемов с активной растительностью [16, 17]. Фосфат-ионы, наряду с азотсодержащими соединениями, играют важную роль в качестве воды, их концентрация составляла 0,037-0,041 мг/дм³.

Преобладающими анионами были гидрокарбонаты, содержание сульфат-ионов варьировало от 25,0 до 25,5 мг/дм³, концентрация хлоридов – 5,10-5,56 мг/дм³. Среди катионов преобладали ионы кальция (14,5-15,0 мг/дм³), натрия (5,95-6,04 мг/дм³), магния (5,4-5,7 мг/дм³) и калия (2,36-2,45 мг/дм³). По классификации О. А. Алекина воды озера Садырколь принадлежат к гидрокарбонатно-кальциевому классу, первому типу по соотношению ионов [3, 21].

Минерализация воды варьировала от 84,8 до 85,3 мг/дм³, что позволяет отнести воду к слабоминерализованному пресным. Жесткость воды низкая (1,18-1,23 мг-экв/дм³). В целом озеро Садырколь характеризуется высоким содержанием кислорода, щелочной реакцией и малой окисляемостью.

Озеро Торткара. Температура воды во время отбора проб составляла 25,5-25,9°C, вода была прозрачной и малой цветности. Значение рН варьировало в узком диапазоне 9,15-9,18 (в среднем 9,16), что указывает на щелочную среду (см. таблицу 3).

Таблица 3 – Гидрохимические показатели озера Торткара

Table 3 – Hydrochemical Indicators of Lake Tortkara

Показатели	Ед.изм.	Литораль	Пелагиаль 1	Пелагиаль 2	Пелагиаль 3
Растворенный кислород	мг/дм ³	10,61	11,29	11,47	11,44
Водородный показатель	–	9,18	9,15	9,15	9,17
Азот аммонийный	мг/дм ³	0,274	0,285	0,281	0,278
Азот нитратный	мг/дм ³	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1
Азот нитритный	мг/дм ³	<0,007	<0,007	<0,007	<0,007
Гидрокарбонаты	мг/дм ³	131,2	128,1	131,2	128,1
Жесткость	мг-экв/дм ³	1,15	1,18	1,15	1,18
Калий	мг/дм ³	2,10	2,26	2,20	2,16
Кальций	мг/дм ³	14,0	14,5	14,0	14,5
Карбонаты	мг/дм ³	12,0	12,0	12,0	12,0
Магний	мг/дм ³	5,4	5,4	5,4	5,4
Натрий	мг/дм ³	5,66	5,75	5,69	5,65
Перманганатное число	мг О ₂ /дм ³	2,70	2,76	2,70	2,75
Сульфаты	мг/дм ³	22,0	23,0	22,8	22,8
Сухой остаток (минерализация)	мг/дм ³	83,3	84,1	83,7	83,5
Фосфаты	мг/дм ³	0,03	0,04	0,03	0,03
Хлориды	мг/дм ³	5,56	5,10	4,64	5,10

Содержание гидрокарбонат-ионов в озере составляло 128,1-131,2 мг/дм³, карбонат-ионов – 12,0 мг/дм³. Концентрация растворенного кислорода колебалась от 10,61 до 11,47 мг/дм³, минимальное значение зафиксировано в литорали, максимальное – в пелагиали.

Перманганатная окисляемость – 2,70-2,76 мгО/дм³, характеризую воду как слабоокисляемую. Аммонийные ионы были основными азотсодержащими соединениями (0,274-0,285 мг/дм³). Нитриты и нитраты не обнаружены, фосфат-ионы варьировались в пределах от 0,03 до 0,04 мг/дм³ (см. таблицу 3).

Гидрокарбонат-ионы преобладали среди анионов, содержание сульфатов составляло 22,0-23,0 мг/дм³, хлоридов – 4,64-5,56 мг/дм³. Среди катионов доминировали кальций (14,0-14,5 мг/дм³), натрий (5,65-5,75 мг/дм³), магний (5,4 мг/дм³) и калий (2,20-2,26 мг/дм³). Вода относится к гидрокарбонатно-кальциевому классу (по О. А. Алекину) [21].

Минерализация воды – 83,3-84,1 мг/дм³, что соответствует слабоминерализованным пресным водам. Жесткость низкая (1,15-1,18 мг-экв/дм³). Озеро Торткара характеризуется высоким содержанием кислорода, щелочной реакцией среды и малой окисляемостью.

Озеро Шалкар. На озере отбор проб также осуществлялся в четырех точках. В период отбора проб температура воды составляла 23,6-25,1°C. Вода характеризовалась очень низкой цветностью и высокой прозрачностью. рН варьировало от 9,06 до 9,10. По величине водородного показателя вода озера характеризуется как щелочная (таблица 4). В щелочной среде содержание гидрокарбонат-ионов составляет 90%. На озере Шалкар содержание гидрокарбонат-ионов колебалось от 125,05 до 128,10 мг/дм³, а содержание карбонат-ионов составляло 12,0 мг/дм³ (см. таблицу 4).

Содержание растворенного кислорода изменялось от 8,97 до 14,93 мг/дм³. Минимальная концентрация кислорода наблюдалась в третьей точке пелагиали, а максимальная – в первой точке (пелагиаль). Перманганатное число от 3,50 до 3,61 мгО/дм³, вода озера, так же, как и у двух предыдущих, имеет низкую окисляемость.

Из неорганических азотсодержащих соединений по концентрации преобладали ионы аммония. Их содержание колебалось от 0,371 до 0,382 мг/дм³. Содержание нитрит- и нитрат-ионов находилось ниже предела обнаружения на всех станциях отбора. Концентрация фосфат-ионов, являющихся наряду с соединениями азота биогенными веществами, определяющими качество воды, изменялось в узком интервале от 0,05 до 0,06 мг/дм³.

Таблица 4 – Гидрохимические показатели озера Шалкар

Table 4 – Hydrochemical Indicators of Lake Shalkar

Показатели	Ед.изм.	Литораль	Пелагиаль 1	Пелагиаль 2	Пелагиаль 3
Растворенный кислород	мг/дм ³	12,87	14,93	13,21	8,97
Водородный показатель	–	9,06	9,09	9,08	9,10
Азот аммонийный	мг/дм ³	0,375	0,382	0,371	0,373
Азот нитратный	мг/дм ³	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1
Азот нитритный	мг/дм ³	<0,007	<0,007	<0,007	<0,007
Гидрокарбонаты	мг/дм ³	125,05	128,10	128,10	128,10
Жесткость	мг-экв/дм ³	1,25	1,30	1,28	1,25
Калий	мг/дм ³	3,68	3,75	3,64	3,60
Кальций	мг/дм ³	17,0	16,5	16,0	16,5
Карбонаты	мг/дм ³	12,0	12,0	12,0	12,0
Магний	мг/дм ³	4,8	5,7	5,7	5,1
Натрий	мг/дм ³	8,15	8,22	8,11	8,15
Перманганатное число	мг О ₂ /дм ³	3,61	3,58	3,54	3,50
Сульфаты	мг/дм ³	31,0	31,7	29,5	30,0
Сухой остаток (минерализация)	мг/дм ³	93,1	93,7	92,5	92,1
Фосфаты	мг/дм ³	0,058	0,060	0,053	0,050
Хлориды	мг/дм ³	5,10	5,56	5,10	4,64

Преобладающими анионами были гидрокарбонат-ионы, содержание сульфат-ионов варьировало от 29,5 до 31,7 мг/дм³, концентрация хлоридов – от 4,64 до 5,56 мг/дм³. Из катионов с содержанием 16,0-17,0 мг/дм³ доминировали ионы кальция. Концентрация катионов натрия колебалась от 8,11 до 8,22 мг/дм³, содержание ионов магния составило 4,8-5,7 мг/дм³. Количество ионов калия – составляло 3,60-3,75 мг/дм³. По классификации О. А. Алекина воды озера Шалкар принадлежат к гидрокарбонатно-кальциевому классу, первому типу по соотношению ионов [3, 21].

Минерализация озера варьировала от 92,1 до 93,7 мг/дм³, что позволяет охарактеризовать воды как пресные, слабоминерализованные. Минимальная минерализация отмечена в точке №3 пелагиали, а максимальная – в точке № 1 пелагиали. По величине жесткости вода озера очень мягкая (1,25-1,30 мг-экв/дм³).

Озеро Коржынокль. Во время отбора проб температура воды составляла 23,3-24,3°C, вода имела низкую цветность и высокую прозрачность. Вода щелочная, рН варьировало от 9,01 до 9,12 (таблица 5).

Содержание гидрокарбонат-ионов колебалось от 125,05 до 128,10 мг/дм³, а содержание карбонат-ионов составляло 9,0 мг/дм³. Содержание растворенного кислорода изменялось от 11,18 до 11,31 мг/дм³. Минимальная концентрация кислорода наблюдалась во второй точке пелагиали, а максимальная – в литоральной зоне. Кислородный режим оказывает влияние на такой гидрохимический показатель, как перманганатная окисляемость, по которой определяется количество органического вещества в водоеме. Перманганатное число – 2,90-3,02 мгО/дм³, причем наименьшее значение наблюдалось в третьей точке пелагиали, а наибольшее зарегистрировано во второй точке. Вода озера относится к группе вод с очень малой окисляемостью.

Из неорганических азотсодержащих соединений по концентрации преобладали ионы аммония. Их содержание колебалось от 0,324 до 0,331 мг/дм³. Аммонийный азот поступает в поверхностные воды с атмосферными осадками, а также в результате деструкции органических соединений. Содержание нитрит- и нитрат-ионов находилось ниже предела обнаружения на всех станциях отбора. Концентрация фосфат-ионов, являющихся наряду с соединениями азота биогенными веществами, определяющими качество воды, изменялось в узком интервале от 0,04 до 0,05 мг/дм³ [21].

Таблица 5 – Гидрохимические показатели озера Коржынколь

Table 5 – Hydrochemical Indicators of Lake Korzhynkol

Показатели	Ед.изм.	Литораль	Пелагиаль 1	Пелагиаль 2	Пелагиаль 3
Растворенный кислород	мг/дм ³	11,31	11,20	11,18	11,22
Водородный показатель	–	9,01	9,08	9,12	9,09
Азот аммонийный	мг/дм ³	0,325	0,331	0,328	0,324
Азот нитратный	мг/дм ³	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1
Азот нитритный	мг/дм ³	<0,007	<0,007	<0,007	<0,007
Гидрокарбонаты	мг/дм ³	125,05	128,1	125,05	125,05
Жесткость	мг-экв/дм ³	1,20	1,23	1,20	1,23
Калий	мг/дм ³	2,70	3,10	2,82	2,80
Кальций	мг/дм ³	17,5	18,0	18,0	18,0
Карбонаты	мг/дм ³	9,0	9,0	9,0	9,0
Магний	мг/дм ³	3,9	3,9	3,6	3,9
Натрий	мг/дм ³	7,80	7,91	7,78	7,82
Перманганатное число	мг О ₂ /дм ³	2,91	3,02	2,90	2,95
Сульфаты	мг/дм ³	27,0	28,5	27,0	27,8
Сухой остаток (минерализация)	мг/дм ³	91,2	91,8	88,3	89,0
Фосфаты	мг/дм ³	0,045	0,048	0,041	0,045
Хлориды	мг/дм ³	4,17	4,17	3,71	3,71

Преобладающими анионами были гидрокарбонат-ионы, содержание сульфат-ионов варьировало от 27,0 до 28,5 мг/дм³, концентрация хлоридов – 3,71-4,17 мг/дм³. Из катионов с содержанием 17,5-18,0 мг/дм³ доминировали ионы кальция. Концентрация катионов натрия колебалась от 7,78 до 7,91 мг/дм³, содержание ионов магния составило 3,6-3,9 мг/дм³. Количество ионов калия – 2,70-3,10 мг/дм³. По классификации О. А. Алекина воды озера Коржынколь принадлежат к гидрокарбонатно-кальциевому классу, первому типу по соотношению ионов [3, 21].

Минерализация в озере варьировала от 88,3 до 91,8 мг/дм³, что позволяет охарактеризовать воды как пресные, слабоминерализованные. Минимальная минерализация отмечена в точке №2 пелагиали, а максимальная – в точке № 1 пелагиали. По жесткости вода озера очень мягкая (1,20-1,23 мг-экв/дм³).

Таблица 6 – Гидрохимические показатели Сибирских озер

Table 6 – Hydrochemical Indicators of the Sibe Lakes

Озеро*	Растворенный кислород, мг/дм ³	pH	Азот аммонийный, мг/дм ³	Азот нитратный, мг/дм ³	Азот нитритный, мг/дм ³	Гидрокарбонаты, мг/дм ³	Жесткость, мг-экв/дм ³	Калий, мг/дм ³	Кальций, мг/дм ³	Карбонаты, мг/дм ³	Магний, мг/дм ³	Натрий, мг/дм ³	Перманганатное число, мго/дм ³	Сульфаты, мг/дм ³	Сухой остаток, мг/дм ³	Фосфаты, мг/дм ³	Хлориды, мг/дм ³
С	10,93	9,13	0,297	<0,1	<0,007	137,5	1,20	2,40	14,8	15,0	5,4	5,99	2,8	25,2	85,0	0,039	5,33
Т	11,20	9,16	0,274	<0,1	<0,007	129,6	1,16	2,18	14,2	12,0	5,4	5,68	2,72	22,3	83,6	0,03	5,10
Ш	12,47	9,08	0,375	<0,1	<0,007	127,3	1,27	3,66	16,5	12,0	5,3	8,15	3,61	30,5	92,8	0,055	5,10
К	11,22	9,07	0,327	<0,1	<0,007	125,8	1,21	2,85	17,8	9,0	3,8	7,82	2,94	27,5	90,0	0,044	3,94

*С – Садырколь; Т – Торткара; Ш – Шалкар; К – Коржынколь.

Как показывает обобщающая таблица 6, гидрохимический состав озер демонстрирует некоторые незначительные различия в содержании химических элементов, несмотря на близость их водосборных бассейнов. В период отбора проб температура воды в озерах составляла 23,3-25,9 °С. Вода характеризовалась высокой прозрачностью при незначительном окрашивании. Значение рН, являющееся одним из важных показателей, определяющих соотношение ионов в воде и направление химических процессов в озерах, варьировалось в узких пределах и составляло в среднем 9,11. По рН озера относятся к категории щелочных.

В таблице 7 представлены результаты статистической обработки данных по гидрохимическим показателям, полученным в четырех озерах Сибирской группы (Садырколь, Торткара, Шалкар, Коржынколь). Для каждого показателя рассчитаны среднее арифметическое значение, стандартное отклонение, коэффициент вариации (CV, %) и 95%-й доверительный интервал (CI). Показатели с высоким CV отражают большую изменчивость между озерами.

Таблица 7 – Статистическая обработка гидрохимических показателей

Table 7 – Statistical Analysis of Hydrochemical Indicators

Показатели	Среднее	Ст. отклонение	CV, %	95% CI
Растворенный кислород, мг/дм ³	11,45	0,689	6,02	10,36 – 12,55
Ph	9,11	0,042	0,47	9,04 – 9,18
Азот аммонийный, мг/дм ³	0,318	0,044	13,7	0,25 – 0,39
Гидрокарбонаты, мг/дм ³	130,05	5,207	4,0	121,76 – 138,33
Жесткость, мг-экв/дм ³	1,21	0,045	3,76	1,14 – 1,29
Калий, мг/дм ³	2,77	0,654	23,59	1,73 – 3,81
Кальций, мг/дм ³	15,82	1,638	10,35	13,22 – 18,43
Карбонаты, мг/дм ³	12,0	2,449	20,41	8,10 – 15,89
Магний, мг/дм ³	4,97	0,785	15,77	3,72 – 6,22
Натрий, мг/дм ³	6,91	1,255	18,16	5,0 – 8,9
Перманганатное число, мг О ₂ /дм ³	3,01	0,405	13,43	2,37 – 3,66
Сульфаты, мг/дм ³	26,37	3,477	13,18	20,84 – 31,91
Сухой остаток, мг/дм ³	87,8	4,294	4,89	81,01 – 94,68
Фосфаты, мг/дм ³	0,04	0,01	24,82	0,02 – 0,05
Хлориды, мг/дм ³	4,87	0,628	12,9	3,86 – 5,86

Примечание. Расчет доверительных интервалов выполнен при уровне значимости 95% (t – критерий Стьюдента при n = 4, t = 3,182).

Статистическая обработка данных по гидрохимическим показателям четырех озер Сибирской группы показала, что большинство параметров находилось в схожих диапазонах, что обусловлено близостью водоемов и схожими природными условиями. Низкие значения коэффициента вариации по таким показателям, как рН, жесткость, гидрокарбонаты и сухой остаток, свидетельствуют о стабильности химического состава воды в этих озерах. В то же время высокая изменчивость (CV > 20%) у отдельных компонентов (например, калий, фосфаты, карбонаты) может указывать на локальные различия в геохимических условиях, степени антропогенной нагрузки или особенности водообмена. В целом результаты анализа подтверждают общее сходство гидрохимического фона озер, при этом подчеркивая необходимость дальнейших наблюдений, особенно в динамике по сезонам и годам, для выявления устойчивых трендов и потенциальных отклонений.

Обсуждение. Полученные данные свидетельствуют о том, что озера Сибирской группы отличаются высокой степенью схожести по основным гидрохимическим параметрам, что обусловлено их близким географическим положением, общностью литологического субстрата и отсутствием внешнего стока.

Все водоемы имеют щелочную реакцию среды, что характерно для систем с низким уровнем органического разложения и интенсивным фотосинтезом. Повышенные значения рН коррелируют

с высоким содержанием гидрокарбонатных ионов ($125-137 \text{ мг/дм}^3$), отражающих активный газообмен и углекислотное равновесие в поверхностных слоях.

Перманганатное число ($2,7-3,6 \text{ мг О}_2/\text{дм}^3$) указывает на низкую степень окисляемости, то есть на малое содержание органических веществ. Это подтверждает отсутствие значительного антропогенного загрязнения, несмотря на рекреационное использование водоемов.

В составе ионов доминируют Ca^{2+} и HCO_3^- , что позволяет отнести воды всех озер к гидрокарбонатно-кальциевому типу по классификации О. А. Алекина [21]. Такая структура отражает взаимодействие вод с гранитными и метаморфическими породами, содержащими кальций и магний, а также слабое влияние сульфатного стока.

Минерализация воды во всех озерах невысока ($83-94 \text{ мг/дм}^3$), что свидетельствует о питании их преимущественно атмосферными осадками и подземными родниками. Низкая жесткость ($1,15-1,30 \text{ мг-экв/дм}^3$) определяет пресный характер вод.

Сравнение между озерами показывает, что Шалкар отличается несколько большей минерализацией и содержанием кальция, что можно объяснить большей глубиной и объемом водной массы, способствующим устойчивому температурному и химическому стратифицированию. В остальных озерах параметры близки, что отражено в низком коэффициенте вариации ($CV < 10\%$) для большинства показателей (см. таблицу 7).

Небольшие различия в концентрациях калия, фосфатов и карбонатов ($CV > 20\%$) могут быть связаны с локальными факторами – интенсивностью биологической продукции, особенностями донных отложений и разной степенью антропогенной нагрузки в прибрежной зоне.

В целом результаты исследования подтверждают, что вода в Сибирских озерах относится к пресным, слабо минерализованным, гидрокарбонатно-кальциевым водам, характеризующимся высоким содержанием кислорода, щелочной реакцией и малой окисляемостью. Совокупность этих признаков указывает на высокий уровень самоочищения и экологическую стабильность водных экосистем.

Для дальнейшего уточнения особенностей функционирования Сибирских озер необходимо проведение сезонных наблюдений, что позволит оценить динамику химического состава в зависимости от гидрометеорологических условий и уровня рекреационной нагрузки.

Заключение. По морфометрическим данным озера Сибирской группы демонстрируют схожие особенности. Согласно классификации озер С. Китаева по средним и максимальным глубинам, озера Садырколь и Коржыноколь относятся к среднеглубоким, а озера Торткара и Шалкар – к глубоким. Все исследуемые озера имеют показатель удлиненности от 1,5 до 3,9, и их котловины характеризуются «вытянутой» (удлиненно-овальной) формой.

Самым крупным по площади и объему является озеро Шалкар, за ним следуют озера Коржыноколь, Торткара и Садырколь. По классификации озер по величине водной поверхности или площади водного зеркала Садырколь, Торткара, Шалкар и Коржыноколь относятся к средним озерам, в то время как Караколь выделяется как малое озеро. Таким образом, морфометрические характеристики подтверждают схожесть озер группы, а также их различия по размерам и глубине, что может влиять на их экосистемные особенности и использование.

Проведенные исследования позволили всесторонне охарактеризовать гидрохимический режим Сибирских озер, выявив их принадлежность к слабоминерализованным водоемам с гидрокарбонатно-кальциевым составом и щелочной средой. Данные о высоком содержании растворенного кислорода, низкой окисляемости и стабильной прозрачности воды подчеркивают экологическую устойчивость озер, что делает их привлекательными для рекреационного использования и подводных видов спорта.

Результаты статистической обработки подтвердили общее сходство гидрохимического фона озер. Низкие коэффициенты вариации ($CV < 5\%$) по таким параметрам, как рН, жесткость, гидрокарбонаты и сухой остаток, указывают на стабильность химического состава. При этом более высокая вариабельность ($CV > 20\%$) отмечена по показателям калия, фосфатов и карбонатов, что может отражать локальные различия в условиях водообмена или степень антропогенного воздействия. Расчет доверительных интервалов позволил уточнить достоверность полученных средних значений и усилить интерпретацию результатов.

Полученные результаты также свидетельствуют о важности дальнейшего мониторинга гидрохимических показателей для оценки изменений под влиянием антропогенных факторов и климатических условий. Вклад данной работы заключается в создании основы для мониторинга, что позволит проводить оценку изменений состояния водной экосистемы Сибирских озер, содействуя поддержанию ее экологической ценности и обеспечению рационального использования природных ресурсов региона.

Расширение мониторинга как гидрохимических показателей, так и морфометрических характеристик поможет оценить изменения в состоянии водной экосистемы под воздействием антропогенных факторов. Основные природные факторы, влияющие на химический состав и морфометрию озер, включают атмосферные осадки, почвенный покров и подземные воды, что важно для рационального управления водными ресурсами региона.

Таким образом, по результатам исследования вода всех четырех озер Сибирской группы (Садырколь, Торткара, Шалкар и Коржынколь) характеризуется высоким содержанием кислорода, щелочной реакцией среды и очень малой окисляемостью. Она является пресной, очень мягкой по показателям жесткости и относится к гидрокарбонатно-кальциевому классу по классификации О. А. Алекина. Эти гидрохимические показатели благоприятно характеризуют озера Сибирской группы для рекреационного использования.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Филонец П. П. Очерки по географии внутренних вод Центрального, Южного и Восточного Казахстана (озера, водохранилища и ледники). – Алма-Ата: «Наука» КазССР, 1981. – 292 с.
- [2] Myrzagaliyeva A. B. Algae diversity of the lakes Sibinskye, East Kazakhstan // International Symposium Microorganisms and the Biosphere Microbios. In Proceedings of the Materials of Symposium. – Tashkent, 2015. – P. 16-17.
- [3] Samarkhanov T. N., Myrzagaliyeva A. B., Chlachula J., Kushnikova L. B., Czerniawska J., Nigmatzhanov S. B. Geoenvironmental Implications and Biocenosis of Freshwater Lakes in the Arid Zone of East Kazakhstan // Sustainability. – 2021. – Vol. 13, № 10:5756. – P. 2-22 <https://doi.org/10.3390/su13105756>
- [4] Егорина А. В., Логиновская А. Н. Рекреационные ресурсы Восточного Казахстана как основа развития сферы туризма // Вестник КазНУ. Серия географическая. – 2016. – № 2(43). – С. 241-245.
- [5] Егорина А. В., Перемитина С. В., Тураров Н. Б. Пригородные зоны отдыха в Восточном Казахстане // Региональная экономика: технологии, экономика, экология и инфраструктура: Материалы 2-й Международной научно-практической конференции. – Кызыл, 2017. – С. 293-296.
- [6] Нургалиева З., Хасенова К., Куанткан Б., Шафеева Л., Заякина А. Методика и современные экономические подходы к развитию малого и среднего бизнеса организации туристской сферы ВКО и применение мирового опыта // Вестник НАН РК. – 2022. – № 4. – С. 363-378.
- [7] Prairie Y. T. D., Bird D. F., Coll J. J. The Summer Metabolic Balance in the Epilimnion of Southeastern Quebec lakes // Limnology and Oceanography. – 2002. – Vol. 47. – P. 316-321. DOI: 10.2307/3069145
- [8] Zaharescu D. G., Burghelca C. I., Hooda P. S., Lester R. N., Palanca-Soler A. Small lakes in big landscape: Multi-scale drivers of littoral ecosystem in alpine lakes // Science of The Total Environment. – 2016. – Vol. 551-552. – P. 496-505. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2016.02.066>
- [9] Suturin A. Biogeochemistry of Lake Baikal Stony Littoral // Journal of Geoscience and Environment Protection. – 2019. – Vol. 7. – P. 72-79. doi: 10.4236/gep.2019.710006.
- [10] Frerencz B., Toporowska M., Dawidek J., Sobolewski W. Hydro-Chemical Conditions of Shaping the Water Quality of Shallow Łęczna-Włodawa Lakes (Eastern Poland) // Clean Soil Air Water. – 2017. <https://doi.org/10.1002/clen.201600152>
- [11] Hall C.M., Page S.J. The Geography of Tourism and Recreation: Environment, Place and Space – Routledge: London, UK; New York, NY, USA, 1999. – 470 p.
- [12] Wall G. Implications of Global Climate Change for Tourism and Recreation in Wetland Areas // Climate Change. – 1998. – Vol. 40. – P. 371-389. <https://doi.org/10.1023/A:1005493625658>
- [13] Мукаев Ж. Т., Озгелдинова Ж. О., Улыкпанова М. М., Жангужина А. А. Геоэкологическая оценка качества поверхностных вод в рекреационной зоне озера Алаколь // Гидрометеорология и экология. – 2024 – № 1. – С. 110-120.
- [14] Григорьев С. В. О некоторых определениях и показателях в озераведении // Труды Карельского филиала АН СССР. – 1959. – № 18. – С. 29045.
- [15] Науменко М. А., Гузиватый В. В., Сапелко Т. В. Цифровые морфометрические модели малых озер // Ученые записки Российского государственного гидрометеорологического университета. – 2014. – № 34. – С. 26-32.
- [16] Руководство по химическому анализу поверхностных вод суши / Под ред. А. Д. Семенова. – Л.: Гидрометеоздат, 1977. – 542 с.
- [17] Унифицированные методы анализа вод / Под ред. Ю. Ю. Лурье. – М.: Химия, 1973. – 376 с.
- [18] Резников А. А., Муликовская Е. П., Соколов И. Ю. Методы анализа природных вод. – М.: Издательство «Недра», 1970. – 488 с.
- [19] Обобщенный перечень предельно допустимых концентраций (ПДК) и ориентировочно безопасных уровней воздействия (ОБУВ) вредных веществ для воды рыбохозяйственных водоемов: Утв. нач. Главрыбвода Минрыбхоза СССР В. А. Измайловым 09.08.90. – М., 1990. – 46 с.

- [20] Задағали А. М., Жаманғара А. К., Самарханов Т. Н., Адамжанова Ж. А. Көкшетау қыратының кейбір көлдерінің гидрохимиялық режимі // Л. Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университетінің хабаршысы. Химия. География. Экология сериясы. – 2024. – № 4(149). – Б. 148-158.
- [21] Алекин О. А. Основы гидрохимии. – Л.: Гидрометеоиздат, 1970. – 442 с.
- [22] Самарханов Т. Н., Мырзағалиева А. Б., Егорина А. В., Сапаров К. Т. Климатические факторы как компонент оценки рекреационного потенциала Сибирских озер // Гидрометеорология и экология. – 2019. – № 2(93). – С. 7-21.
- [23] Китаев С. П. Основы лимнологии для гидробиологов и ихтиологов. – Петрозаводск, 2007. – 395 с
- [24] Ильмаст Н. В., Китаев С. П., Кучко Я. А., Павловский С. А. Гидроэкология разнотипных озер Южной Карелии. – Петрозаводск: Карельский научный центр РАН, 2008. – 92 с.

REFERENCES

- [1] Filonec P. P. Essays on the geography of the inland waters of Central, Southern, and Eastern Kazakhstan (lakes, reservoirs, and glaciers). Alma-Ata, 1981. 292 p. (in Russ.).
- [2] Myrzagaliyeva A. B. Algae diversity of the lakes Sibinskiye, East Kazakhstan // International Symposium Microorganisms and the Biosphere Microbios. In Proceedings of the Materials of Symposium. Tashkent, 2015. P. 16-17.
- [3] Samarkhanov T. N., Myrzagaliyeva A. B., Chlachula J., Kushnikova L. B., Czerniawska J., Nigmatzhanov S. B. Geoenvironmental Implications and Biocenosis of Freshwater Lakes in the Arid Zone of East Kazakhstan // Sustainability. 2021. Vol. 13, No. 10:5756. P. 2-22 <https://doi.org/10.3390/su13105756>
- [4] Egorina A. V., Loginovskaya A. N. Recreational resources of East Kazakhstan as a basis for the development of the tourism sector // KazNU Bulletin. Geographical series. 2016. No. 2(43). P. 241-245 (in Russ.).
- [5] Egorina A. V., Peremitina S. V., Turarov N. B. Suburban recreation areas in East Kazakhstan // Regional economy: technologies, economics, ecology and infrastructure: Proceedings of the 2nd International Scientific and Practical Conference. – Kyzyl, 2017. P. 293-296 (in Russ.).
- [6] Nurgaliyeva Z., Khassenova K., Kuantkan B., Shafeyeva L., Zayakina A. Methodology and modern economic approaches to the development of small and medium-sized businesses in the tourism sector of East Kazakhstan region and the application of international experience // Bulletin of the National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan. 2022. No. 4. P. 363-378 (in Russ.).
- [7] Prairie Y. T. D., Bird D. F., Coll J. J. The Summer Metabolic Balance in the Epilimnion of Southeastern Quebec lakes // Limnology and Oceanography. 2002. Vol. 47. P. 316-321. DOI: 10.2307/3069145
- [8] Zaharescu D. G., Burghilea C. I., Hooda P. S., Lester R. N., Palanca-Soler A. Small lakes in big landscape: Multi-scale drivers of littoral ecosystem in alpine lakes // Science of The Total Environment. 2016. Vol. 551-552. P. 496-505. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2016.02.066>
- [9] Suturin A. Biogeochemistry of Lake Baikal Stony Littoral // Journal of Geoscience and Environment Protection. 2019. Vol. 7. P. 72-79. doi: 10.4236/gep.2019.710006.
- [10] Frerencz B., Toporowska M., Dawidek J., Sobolewski W. Hydro-Chemical Conditions of Shaping the Water Quality of Shallow Łeczna-Włodawa Lakes (Eastern Poland) // Clean Soil Air Water. 2017. <https://doi.org/10.1002/clen.201600152>
- [11] Hall C. M.; Page, S. J. The Geography of Tourism and Recreation: Environment, Place and Space – Routledge: London, UK; New York, NY, USA, 1999. 470 p.
- [12] Wall G. Implications of Global Climate Change for Tourism and Recreation in Wetland Areas // Climate Change. 1998. Vol. 40. P. 371-389. <https://doi.org/10.1023/A:1005493625658>
- [13] Mukaev Zh. T., Ozigeldinova Zh. O., Ulykpanova M. M., Zhanguzhina A. A. Geoecological assessment of surface water quality in the recreational area of Lake Alakol // Hydrometeorology and Ecology. 2024. No. 1. P.110-120.
- [14] Grigoriev S. V. On some definitions and indicators in lake science // Proceedings of the Karelian Branch of the USSR Academy of Sciences. 1959. No. 18. P. 29-45 (in Russ.).
- [15] Naumenko M. A., Guzivaty V. V., Sapelko T. V. Digital morphometric models of small lakes // Scientific Notes of the Russian State Hydrometeorological University. 2014. No. 34. P. 26-32 (in Russ.).
- [16] Guidelines for the chemical analysis of land surface waters / Edited by A. D. Semenov. L.: Gidrometeoizdat, 1977. 542 p. (in Russ.).
- [17] Unified methods of water analysis / Edited by Y. Y. Lurie. M.: Chemistry, 1973. 376 p. (in Russ.).
- [18] Reznikov A. A., Mulikovskaya E. P., Sokolov I. Y. Methods of natural water analysis. Moscow: Nedra Publishing House, 1970. 488 p. (in Russ.).
- [19] Generalized list of maximum permissible concentrations (MPC) and approximately safe exposure levels (levels) of harmful substances for the water of fishery reservoirs: Approved by the Beginning. Glavrybvoda Minrybkhhoz of the USSR V. A. Izmailov 09.08.90. M., 1990. 46 p. (in Russ.).
- [20] Zadagali A. M., Zhamangara A. K., Samarkhanov T. N., Adamzhanova Zh. A. Hydrochemical regime of some lakes of the Kokshetau range were asked // Bulletin of the L. N. Gumilyov Eurasian National University. Series: Chemistry. Geography. Ecology. 2024. No. 4(149). P. 148-158 (in Kaz.).
- [21] Alekin O. A. Fundamentals of hydrochemistry. L.: Gidrometeoizdat, 1970. 442 p. (in Russ.).
- [22] Samarkhanov T. N., Myrzagaliyeva A. B., Egorina A. V., Saparov K. T. Climatic factors as a component of assessing the recreational potential of Sibinsk lakes // Hydrometeorology and Ecology. 2019. No. 2(93). P. 7-21 (in Russ.).
- [23] Kitaev S. P. Fundamentals of limnology for hydrobiologists and ichthyologists. Petrozavodsk, 2007. 395 p. (in Russ.).
- [24] Ilmast N. V., Kitaev S. P., Kuchko Ya. A., Pavlovsky S. A. Hydroecology of lakes of various types in South Karelia. Petrozavodsk: Karelian Scientific Center of the Russian Academy of Sciences, 2008. 92 p. (in Russ.).

Т. Н. Самарханов¹, А. Б. Мырзагалиева*², А. М. Задағали³, Б. З. Медеубаева⁴

¹ PhD, қауымдастырылған профессор м.а.

(«Астана» халықаралық университеті, Астана, Қазақстан; talant.68@mail.ru)

²*Биология ғылымдарының докторы, профессор

(«Астана» халықаралық университеті, Астана, Қазақстан; an.myrzagaliyeva@gmail.com)

³Жаратылыстану ғылымдары магистрі, аға оқытушы

(«Астана» халықаралық университеті, Астана, Қазақстан; Z.a.aizhan1993@gmail.com)

⁴Химия магистрі, аға оқытушы

(«Астана» халықаралық университеті, Астана, Қазақстан; medeubayeva_bz@mail.ru)

СІБЕ КӨЛДЕРІНІҢ МОРФОМЕТРИЯЛЫҚ ЖӘНЕ ГИДРОХИМИЯЛЫҚ ЕРЕКШЕЛІКТЕРІ

Аннотация. Мақалада Шығыс Қазақстан облысы Қалба жотасының Көктау тауларында теңіз деңгейінен 710-дан 880 м биіктікте орналасқан Сібе көлдерінің морфометриялық көрсеткіштері мен гидрохимиялық режимін зерттеу нәтижелері келтірілген. Көлдер шығу тектері бойынша тектоникалық болып табылады, олардың жалпы ауданы шамамен 31 км². Көл бассейндерінің тереңдігі 2-ден 51 м-ге дейін өзгереді: Шалқар көлі ең үлкен су айдыны ретінде максималды тереңдігі 51 м-ге жетеді, ал Қаракөл көлінің тереңдігі 3 м-ге дейін жетеді. Су айдыны ауданы бойынша Садыркөл және Қаракөл көлдері ұсақ, ал Қоржынкөл, Төртқара және Шалқар орташа көлдер болып жіктеледі. Жағалау сызығының ұзындығы 2,6 км-ден (Қаракөл көлі) 9,4 км-ге дейін (Шалқар көлі), орта есеппен 5,8 км. Судың гидрохимиялық параметрлері, оның ішінде негізгі аниондар мен катиондардың құрамы, оттегінің концентрациясы, рН, минералдану және қаттылық қарастырылған. Судың химиялық құрамы әлсіз минералданған және сілтілілігі жоғары гидрокарбонат-кальций түрі ретінде анықталды. Зерттеу деректері тұрақты оттегі режимін, төмен тотығу қабілеттілігін және судың аз түстігін көрсетті, бұл аймақтың рекреациялық әлеуетінің дамуына ықпал етеді. Жұмыс нәтижелері су нысандарын одан әрі бақылау және антропогендік әсерлер мен климаттық жағдайлардан туындаған өзгерістерді бағалау үшін негіз бола алады. Су нысандарының жоғары экологиялық тұрақтылығы расталды, бұл оларды рекреациялық мақсатта тиімді пайдалануға ықпал етеді.

Түйін сөздер: Сібе көлдері, Садыркөл, Төртқара, Шалқар, Қоржынкөл, Қаракөл, морфометрия, гидрохимия.

T. N. Samarkhanov¹, A. B. Myrzagaliyeva*², A. M. Zadagali³, B. Z. Medeubayeva⁴

¹ PhD, Acting Associate Professor

(«Astana» International University, Astana, Kazakhstan; talant.68@mail.ru)

²*Doctor of Biological Sciences, Professor

(«Astana» International University, Astana, Kazakhstan; an.myrzagaliyeva@gmail.com)

³Master of Natural Sciences, Senior Lecturer

(«Astana» International University, Astana, Kazakhstan; Z.a.aizhan1993@gmail.com)

⁴Master's Degree in Chemistry, Senior Lecturer

(«Astana» International University, Astana, Kazakhstan; medeubayeva_bz@mail.ru)

MORPHOMETRIC AND HYDROCHEMICAL FEATURES OF THE SIBE LAKES

Abstract. The article presents the results of a study of the morphometric parameters and hydrochemical regime of the Sibe lakes located at altitudes from 710 to 880 m above sea level in the Koktau mountains of the Kalba range of the East Kazakhstan region. The lakes are of tectonic origin, covering a total area of about 31 km². The depth of the lake basins varies from 2 to 51 m: Lake Shalkar, as the largest body of water, reaches a maximum depth of 51 m, while Lake Karakol has a depth of up to 3 m. According to the area of mirrors, Sadyrkol and Karakol lakes are classified as small, while Korzhynkol, Tortkara and Shalkar lakes are classified as medium-sized. The length of the coastline varies from 2.6 km (Lake Karakol) to 9.4 km (Lake Shalkar), averaging 5.8 km. The hydrochemical parameters of water are considered, including the content of basic anions and cations, oxygen concentration, pH, mineralization, and hardness. The chemical composition of the water is defined as a bicarbonate-calcium type, slightly mineralized and with high alkalinity. These studies have shown a stable oxygen regime, low oxidability and low color of water, which contributes to the development of the recreational potential of the region. The results of the work serve as a basis for further monitoring of reservoirs and assessment of changes caused by anthropogenic influences and climatic conditions. The high ecological stability of reservoirs is confirmed, which contributes to their effective use for recreational purposes.

Keywords: Sibe Lakes, Sadyrkol, Tortkara, Shalkar, Korzhynkol, Karakol, morphometry, hydrochemistry.

Гляциология и геокриология

Гляциология және геокриология

Glaciology and geocryology

<https://doi.org/10.55764/2957-9856/2025-4-44-56.45>

МРНТИ 37.29.35
УДК 551.324.63

М. Ш. Давлатова¹, Х. Д. Наврузшоев^{*2}, Х. Саидзода³, А. Х. Давлятова⁴

¹ PhD докторант, научный сотрудник (Государственное научное учреждение «Центр изучения ледников Национальной академии наук Таджикистана», Душанбе, Таджикистан; munzifadavlatova95@gmail.com)

^{2*} К. т. н., научный сотрудник, ведущий научный сотрудник (Институт исследований горных сообществ Университета Центральной Азии, Государственное научное учреждение «Центр изучения ледников Национальной академии наук Таджикистана», Душанбе, Таджикистан; hofiz.navruzshoev@ucentralasia.org)

³ Младший научный сотрудник (Государственное научное учреждение «Центр изучения ледников Национальной академии наук Таджикистана», Душанбе, Таджикистан; khaticha.cryos@gmail.com)

⁴ PhD докторант, научный сотрудник (Государственное научное учреждение «Центр изучения ледников Национальной академии наук Таджикистана», Душанбе, Таджикистан; cryosphereadolat@gmail.com)

ДИСТАНЦИОННЫЙ МОНИТОРИНГ ПУЛЬСИРУЮЩИХ ЛЕДНИКОВ БАССЕЙНА РЕКИ ВАНЧ

Аннотация. Представлены результаты многолетнего мониторинга пульсирующих ледников Мегдор (РГО) и Хирсон (Медвежий), расположенных в Ванчском ущелье Центрального Памира, Таджикистан. Исследование охватывает период 1993–2023 гг. и базируется на интерпретации спутниковых снимков (Landsat, Sentinel). Установлено, что в 2000–2020 гг. ледник Мегдор находился в активной фазе пульсационного движения, при этом язык ледника сместился с высот 3240–3070 м до отметок 2950–2590 м. Оценка объемных изменений показала, что с момента публикации Каталога ледников СССР объем ледника Мегдор сократился на 22,6 %, а ледника Хирсон – на 17,8 %. Полученные результаты подчеркивают необходимость систематического наблюдения за пульсирующими ледниками как важными индикаторами климатических изменений в высокогорных регионах Центральной Азии.

Ключевые слова: пульсирующие ледники, объем, климат, бассейн реки Ванч, ледник Мегдор, ледник Хирсон, дистанционное зондирование.

Введение. Ледники являются источником питьевой воды для человечества и производителями электроэнергии (гидроэлектростанции), однако из-за таяния и движения языковой части ледника в нижележащие районы они могут стать причиной природных катастроф, таких, как оползни или наводнения. Проблема движения языковой части ледника является одной из наиболее актуальных и малоизученных в современной науке о ледниках. Движение ледниковых языков, которое недавно считалось редким явлением, в последнее время привлекло повышенное внимание гляциологов, геофизиков, палеогеографов, геологов и специалистов в области прикладной инженерии, став причиной интенсивных дискуссий и споров.

В течение последних двух десятилетий с использованием спутниковых изображений было определено множество движущихся ледников, что создало реальную возможность для оперативного наблюдения за их эволюцией. Это крайне важно для науки о ледниках, поскольку быстрое таяние ледников часто приводит к наводнениям (GLOF).

На ледниках накапливается определенное количество снега и фирна, и если таяние снега, фирна и льда превышает осадки, то ледники начинают деградировать и исчезать. Если же осадки

на ледниках превышают количество таяния, то размер ледников увеличивается. В таком случае под воздействием силы тяжести значительное количество льда начинает двигаться вниз по склонам долины с высокой скоростью. Тогда скорость движения ледника за сутки может составлять десятки метров. Ледник, двигаясь под воздействием высоких температур, тает с большой скоростью, что приводит к наводнению в нижней части долины. Когда ледник движется в долину, он перекрывает русло реки и приводит к образованию озер, которые могут стать причиной внезапных наводнений.

В Таджикистане существует множество пульсирующих ледников – Хирсон, Дехдал (Дидал), Фортотбек, Мушкетов, Равак, Мегдор (РГО), Бобаки Пойин (Саукдара), Улугбек, Хамях (Бивачный) и другие. Движение ледников бассейна реки Ванч еще недостаточно исследовано, однако мы имеем полные данные только о движущихся ледниках Хирсон и Мегдор.

Впервые пульсирующие ледники на территории Республики Таджикистан начали изучать сотрудники Института географии Академии наук России после пульсации ледника Хирсон (1963 год) [0, 0]. После исследования пульсации ледника Хирсон в короткий срок были обнаружены пульсирующие ледники в других горных районах страны, что в 1998 году привело к необходимости составления реестра пульсирующих ледников Памира. В начале исследований известные российские ученые Л. Д. Долгушин и Г. Б. Осипова в 1971 году выявили всего 15 пульсирующих ледников в части Памирского горного массива [0, 0].

На основе анализа наблюдений можно сделать вывод, что скорость движения ледников больше зависит от их размера, толщины, количества осадков в бассейне, свойств подледникового слоя и других факторов. Таким образом, из-за изменения климата и недостаточных осадков в атмосфере в бассейне р. Ванч состояние пульсации в движущихся ледниках встречается реже.

Цикл пульсации ледников зависит не только от изменения климата, но и от расположения ледников, формы их рельефа, увеличения массы и других факторов. Некоторые ледники бассейна р. Ванч в течение длительного времени характеризуются относительной стабильностью, после чего внезапно переходят в фазу интенсивной пульсации. Для таких ледников этот процесс является типичным – после определённого периода стабильности они вступают в активную фазу движения.

Целью настоящего исследования является оценка текущего состояния и динамики подвижных ледников бассейна реки Ванч на примере ледников Мегдор и Хирсон, с акцентом на идентификацию признаков пульсационного поведения и факторов, способствующих их активации (рисунок 1).

Район исследования. Ванч является одним из высокогорных регионов, расположенным на высотах от 2500 до 6000 м над уровнем моря. В бассейне р. Ванч имеется 291 ледник разного размера, общая площадь которых составляет 353,9 км², из них 48 ледников относятся к группе пульсирующих [0]. Крупнейшие ледники этого бассейна Мегдор, Хирсон, Абдукаххор и Дасти-рост.

Все крупные ледники бассейна р. Ванч расположены в одном ряду горных хребтов, а также горных хребтов Дарвоз, Ванч и Язгулам [0]. Ледники, площадь которых превышает 10 км², встречаются в верховьях рек Ванч и Язгулам, и они составляют 50,4% площади льда в этом регионе. В оставшейся части бассейна р. Ванч и Язгулам ледники с площадью от 0,1 до 1,0 км² встречаются гораздо чаще. Следует отметить, что сокращение объема ледников значительно более заметно, чем уменьшение их площади. В некоторых ледниках наблюдается уменьшение объема на 20-30%, при этом их площадь остается неизменной [0].

Расположение ледников в основном зависит от орографии региона и направления потоков влажного воздуха. Поскольку для верховьев реки Ванч характерны абсолютно высокие горные хребты, здесь чаще встречаются сложные долинные и разветвлённые ледники. Кроме того, на распределение ледников оказывает значительное влияние перенос снега западными ветрами на восточные склоны. В результате в верховьях рек Ванч крупнейшие ледники ограничены склонами западной и восточной экспозиции. Ледники правых притоков рек Ванч и Язгулам, расположенные на южных склонах хребтов Дарваз и Ванч, ориентированы в основном в юго-восточном направлении [0].

По характеру движений и их последствиям пульсирующие ледники можно разделить на три категории (рисунок 2).

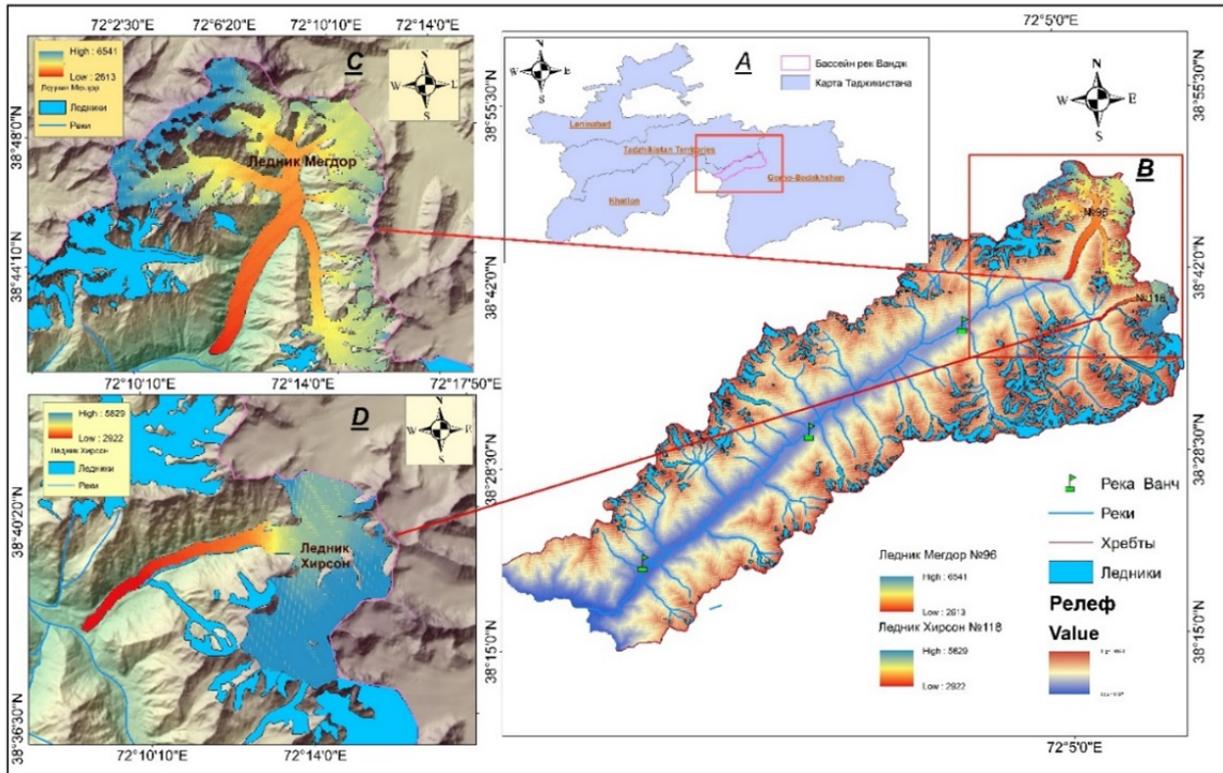


Рисунок 1 – Район исследования:

A – карта Таджикистана; B – бассейн реки Ванч; C – ледник Мегдор; D – ледник Хирсон

Figure 1 – Study area (A) Map of Tajikistan, (B) Vanj River Basin, (C) Meghdor Glacier, (D) Khirson Glacier



Рисунок 2 – Полигонная карта и категории пульсации ледников бассейна реки Ванч

Figure 2 – Polygon map and pulsation categories of glaciers in the Vanj River basin

Первая категория – классические пульсирующие ледники. Эта категория включает ледники, демонстрирующие четко выраженные циклы активности: продолжительная фаза покоя (в среднем от 10 до 60 лет) сменяется фазой активного скольжения, длящейся от нескольких месяцев до нескольких лет. В фазе пульсации скорость движения ледника может возрасти в 10–100 раз по сравнению с обычной. Такие ледники вызывают значительные геоморфологические изменения, включая деформацию морен, формирование трещин и бугров, а также могут способствовать формированию временных озёр и затоплению долин. Примерами могут служить ледники на Аляске, в Исландии и Таджикистане (например, ледник Хирсон).

Вторая категория – псевдопульсирующие ледники. К этой группе относятся ледники, у которых не наблюдается строгой цикличности, однако фиксируются периодические ускорения, часто обусловленные кратковременными гидрологическими или климатическими факторами (интенсивное таяние, изменение внутренней водной системы, высокие летние температуры и др.). Такие ускорения менее интенсивны, чем у классических пульсирующих ледников, и сопровождаются ограниченными морфологическими последствиями. Однако они могут оказывать влияние на устойчивость ледникового фронта и вызывать перераспределение массы ледника в краткосрочной перспективе.

Третья категория – катастрофически активизирующиеся ледники. Эта категория включает ледники, способные к резкой и экстремальной активизации, сопровождающейся высокоскоростным движением ледяной массы. Такие события, как правило, происходят внезапно и имеют катастрофические последствия: образование и прорыв ледниковых озёр (GLOF), ледово-обвальные потоки, разрушение моренных дамб и значительное воздействие на населённые пункты и инфраструктуру. Типичным примером является ледник Колка в Северной Осетии, чей сход в 2002 году стал одним из крупнейших ледниковых катастроф последних десятилетий.

В бассейне реки Ванч обнаружено 48 пульсирующих ледников. К первой категории относятся 14,3%, ко второй – 45,8% и к третьей – 39,5% движущихся ледников. Одними из самых крупных и подвижных ледников бассейна являются ледники Мегдор и Хирсон.

Рельеф. Реки Ванч и Язгулам являются одними из крупнейших притоков правого берега реки Пяндж и расположены в западной части Памира. Эти реки протекают через длинные долины, начиная от северо-восточного экспозиционного направления и переходя в юго-западное экспозиционное направление горных хребтов Дарваз, Ванч и Язгулам. Горные цепи Дарваз служат северной границей региона, разделяя бассейны рек Ванч и Оби-Хингоб. Горные хребты Ванч разделяют бассейны р. Ванч и Язгулам, а горные хребты Язгулам ограничивают территорию и служат границей между бассейнами рек Язгулам и Бартанг.

На востоке эти горные хребты соединяются с горными хребтами Академии наук, которые ориентированы по меридиану. Вершина горных цепей Академии наук является восточной границей региона Ванч. Средняя высота этих горных цепей составляет около 5400 м, с высшей точкой – пиком ледника Гармо (6595 м) и самой низкой точкой – перевалом Кашолях (4340 м). Горный хребет Дарвоз протягивается от вершины ледника Гармо в юго-западном направлении и затем поворачивает в северо-западном направлении через долину реки Пяндж, достигая реки Оби-Хингоб. Части гор, ближайшие к горному хребту Академии наук, имеют среднюю высоту 5800 м, а другие участки этого хребта имеют среднюю высоту 4950 м, с исключением вершины Арнавад (6083 м), которая резко выделяется на фоне остальных.

Южной и юго-восточной границей региона является хребет Язгулам, который, как и хребет Ванч, имеет неоднородную высоту. На западе, около истока реки Ракзу, средняя высота этого хребта составляет 5370 м, с максимальной высотой 6132 м (пик Вудор), который находится в верховьях реки Ванч.

Река Ванч питается за счет снега и ледников. В нижнем течении основными источниками питания являются таяние ледников (41%), сезонные снега (26%) и подземные воды (33%). В верхнем течении в результате таяния ледников годовой сток воды достигает 63%, а за счет сезонных снегов – 37%. Уровень воды в нижнем течении р. Ванч постепенно повышается, начиная с середины апреля, и охватывает весь весенне-летний период. Повышение уровня воды продолжается в течение 196 дней и завершается в конце октября. Наибольший уровень воды наблюдается в июле или августе, при этом точная дата максимального подъема приходится на 24 июля. Наибольшая скорость водного стока, зафиксированная по модулю 129 л/(с·км²) (4 августа 1948 го-

да), составила 278 м³/с. В целом 86% годового стока р. Ванч приходится на этот период. Высокий модуль расхода воды в нижнем течении р. Ванч обусловлен распространением горных пород (мергели, известняки, доломиты и сланцы), которые способствуют насыщению реки подземными водами (33%) [0, 0, 0].

Верхнее течение р. Ванч впервые было изучено в 1965 году гидрологической группой гляциологической экспедиции Института географии АН СССР. Основной период и режим водного стока р. Ванч соответствуют весенне-летнему сезону, тогда как с ноября до середины апреля наблюдается крайне низкий расход воды. Вода в русле реки появляется только в конце апреля, когда начинается таяние сезонного снега в верховьях. В конце октября – начале ноября сток прекращается.

Максимальный среднесуточный расход воды (от 45,5 до 59,0 м³/с) наблюдался с 21 по 29 июля, когда среднесуточная температура воздуха в зоне абляции ледника составляла 18–20,9 °С. В 1965 году пиковый расход воды в реке Ванч был зафиксирован 27 июля и составил 85 м³/с, что соответствует максимальному модулю стока 413 л/(с·км²). В верхнем течении р. Ванч отчетливо проявляется суточная изменчивость уровня и расхода воды, особенно в период интенсивного таяния ледников. В это время суточная амплитуда колебания уровня воды достигает 20–23 см, а расход воды варьируется от 25 до 35 м³/с. В сентябре начинается постепенное снижение водного стока, который к концу октября – началу ноября полностью прекращается [0, 0, 0].

В общей сложности в долине Ванч насчитывается 81 лавиноопасный участок с площадью от 8 га до 4,5 км². В верхнем течении реки Ванч объем лавин иногда достигает 800 тыс м³. В аномально снежную зиму 1968/69 г. в долине Ванч сход лавин разрушил множество вспомогательных и жилых зданий, а также привел к человеческим жертвам [0]. Помимо этого, в различных ущельях бассейна р. Ванч часто происходят разрушительные сели. Например, в левобережных притоках р. Ванч – ущелья Рованд (в 1961 году) и Равак (в 1967 году) – произошли катастрофические селевые паводки, вызванные прорывами ледниковых озер.

Река Абдукаххор – один из крупнейших притоков р. Ванч, берет начало от ледника Абдукаххор, расположенного на склонах хребта Академия наук. Абсолютная высота истока реки составляет 3317 м над уровнем моря, ее длина – 16 км, а площадь бассейна – 329 км². Значительную часть бассейна (112,1 км²) занимают ледники и фирновые поля.

Большинство притоков р. Ванч, берущих начало от ледников Дарвазского и Ванчского хребтов, формируют мощные аллювиальные конусы при слиянии с основной рекой. Крупнейшими притоками р. Ванч являются реки Сунгат, Поймазор и Лангар. Длина р. Ванч составляет 103 км, ее падение – 1083 м, площадь бассейна – 1920 км², а средняя высота бассейна – 3780 м над уровнем моря.

Климат. На территории района Ванч действует метеорологическая станция «Хумроги», расположенная в долине реки Пяндж, рядом с р. Ванч. Станция находится на высоте 1320 м над уровнем моря, и данные с этой станции могут быть использованы для определения метеорологических характеристик региона.

Климатические условия региона определяются его высокой абсолютной высотой и влиянием свободной атмосферы [0]. Амплитуда максимальных подъёмов (до 7000 м) характерна для горных цепей Национальной академии наук Таджикистана, особенно для вершин Исмоили Сомони и ледника Гармо. Эти вершины, с их характерной высотой и глубоким рельефом, являются одними из основных центров крупных горных ледников в современный период [0]. Поскольку долина Ванча открыта для влажного воздуха, в зимний период здесь выпадает большое количество снега. В низовьях р. Ванч (на высоте 1737 м над уровнем моря) осадки составляют 238 мм, в деревне Поймазор (на высоте 2420 м) – 553 мм, а в конце ледника Мегдор (на высоте 2620 м) – 825 мм. С ноября по март около 65% годовых осадков выпадает в виде снега. В районе высот 2700–3400 м над уровнем моря, где происходит большинство лавин, снежный покров в конце зимнего сезона достигает 1,5–2,0 м [0].

Климатические особенности территории исследования. Ледники в бассейне р. Ванч не расположены в одной определённой высотной зоне (от 2600 до 6500 м), и поэтому температура воздуха и условия осадков варьируются в зависимости от высоты. На основе долгосрочных наблюдений на метеорологических станциях Федченко и Хумроги собраны обширные данные о температуре воздуха в регионе.

Весь регион Ванч характеризуется изменением температуры воздуха в зависимости от высоты ледников. Среднегодовая температура воздуха на высотах 3000-4000 м колеблется от 0 до -2°C . Наименьшие температуры наблюдаются в январе, а наибольшие – в июле. Однако в Западном Памире наибольшие температуры могут приходиться на август [0]. Средняя температура зимой опускается до -2°C , а летом повышается до $26-27^{\circ}\text{C}$.

Анализ изменений температуры воздуха и атмосферных осадков в 1997-2022 гг. За последние 26 лет наблюдается устойчивая тенденция к повышению среднегодовой температуры воздуха. Анализ данных показывает, что температурный режим претерпел значительные изменения: от минимального значения – $10,2^{\circ}\text{C}$ в 2000 году до рекордных – $14,1^{\circ}\text{C}$ в 2022 году. Линейный регрессионный анализ выявил статистически значимый тренд роста температуры со скоростью $+0,052^{\circ}\text{C}$ в год, что в совокупности за исследуемый период составило увеличение на $+1,35^{\circ}\text{C}$. Особенно заметным потепление стало после 2010 года, когда среднегодовые температуры стабильно превышали 13°C , достигая абсолютного максимума в последние два года наблюдений. При этом пятилетнее скользящее среднее наглядно демонстрирует усиление теплой тенденции, несмотря на наличие отдельных прохладных периодов, таких, как 1997-2003 годы, когда температура опускалась до минимальных значений.

Динамика атмосферных осадков за тот же период характеризуется высокой межгодовой изменчивостью при отсутствии статистически значимого тренда. Годовое количество осадков колебалось от экстремально низкого значения $85,8$ мм в 2012 году до рекордных $283,9$ мм в 1998 году. Примечательно, что пятилетнее скользящее среднее не выявляет устойчивой направленной динамики, но подчёркивает цикличность в изменении осадков, включая выраженный засушливый период 2012-2016 годов. Анализ экстремальных значений показывает учащение как сильно засушливых (2012, 2016, 2021 годы), так и чрезмерно влажных (1998, 2001, 2006 годы) периодов, что может свидетельствовать об увеличении климатической изменчивости (рисунок 3).

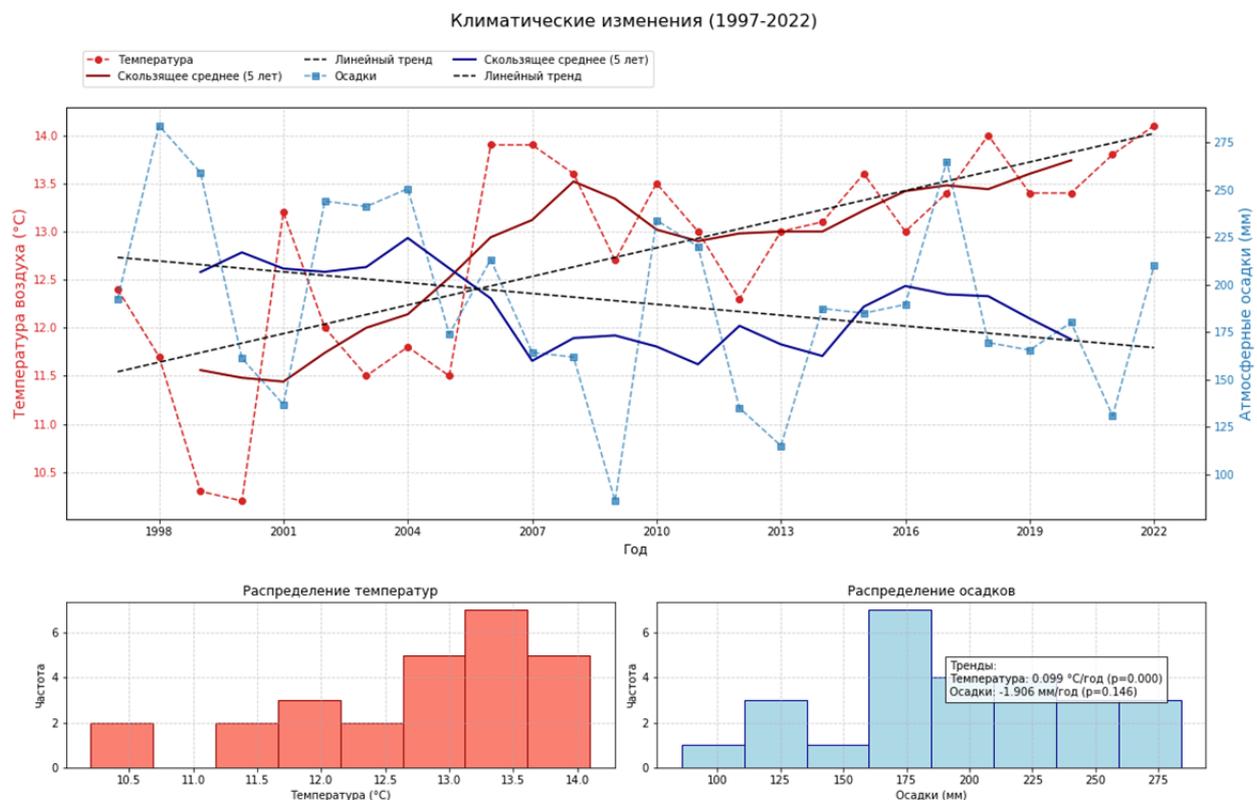


Рисунок 3 – Климатические данные со станции Хумроги за 1997–2022 гг.

Figure 3 – Climate data from Humrogi station for 1997 to 2022.

Исследование взаимосвязи между температурой воздуха и количеством осадков выявило слабую отрицательную корреляцию ($r = -0,25$), что указывает на отсутствие прямой линейной зависимости между этими параметрами. В отдельные годы наблюдались различные сочетания. Так, в 1998 году относительно низкая температура ($11,7^{\circ}\text{C}$) сопровождалась рекордными осадками (283,9 мм), тогда как в 2012 году средняя температура ($13,6^{\circ}\text{C}$) совпала с минимальным количеством осадков (85,8 мм). Особый интерес представляет 2022 год, когда максимальная температура ($14,1^{\circ}\text{C}$) сочеталась с осадками выше среднего уровня (210,0 мм). Такая неоднозначная взаимосвязь свидетельствует о сложном характере климатических процессов в регионе и необходимости учета дополнительных факторов, таких, как крупномасштабные атмосферные циркуляции и антропогенные воздействия.

Полученные результаты имеют важное значение для понимания региональных проявлений глобального изменения климата. Установленный тренд потепления согласуется с общемировыми тенденциями и может быть связан как с естественными климатическими колебаниями, так и с антропогенным влиянием. При этом отсутствие четкого тренда в количестве осадков при увеличении их межгодовой изменчивости указывает на необходимость дальнейших исследований для выявления механизмов, определяющих региональные особенности гидрологического цикла в условиях меняющегося климата.

Методы исследования. Информация о расположении морфологических типов пульсирующих ледников бассейна р. Ванч получена из Каталога ледников СССР, а новые данные собраны методом дистанционного зондирования. Механизм и характер движения языка пульсирующих ледников изучен по спутниковым снимкам Landsat 4-5TM, Landsat 7 ETM+ и Landsat 8-9 OLI, /TIRS, Landsat 1-5 MMS, которые были скачаны и использованы из архива Геологической службы США в открытом доступе [0]. Перечисленные спутниковые снимки с 1993 по 2023 г. Использовались для определения времени подвижки ледников. Полученные снимки обрабатывались в программе Arcgis Map10.6, которые послужили для проведения границ ледников в периоды их пульсации, с последующим составлением карты пульсации ледников бассейна р. Ванч. С помощью онлайн платформы [0] удалось найти информацию об изменении высоты ледников, скорости их подвижки и периода пульсации с 2000 по 2019 год.

Результаты. Ледник Мегдор (РГО) находится в верховьях Ванчской долины. Начало ледник берет с пиков Гармо (6615 м) и Василия Бартольда Коммунистической Академии (6452 м) на стыке хребтов Дарвазский и Национальная академия наук Таджикистана. Первые сведения о леднике относятся к 1916 году когда конец ледника выползал в долину р. Ванч примерно на 2,5 км от его современного положения, перегораживая устьевую часть долины р. Абдукаххор [0].

Притоки ледника берут начало в обширных мульдах, расположенных на высотах 4600-5500 м. Огромная масса снега и фирна, накапливающаяся в мульдах, направляется вниз, доставляя около 50% общего объема фирна, питающего ледник. Следующим важным источником питания ледника Мегдор является его левый приток – ледник Чонфидо (Красноармейский). Учёные установили, что в 1910 г. ледник перекрыл долину река Абдукаххор и образовал водохранилище длиной более 3 км и объем от 70 млн м³, глубиной 45-50 м [9]. Есть признаки того, что уровень озера много раз менялся, и его прорыв должен был вызвать сильное наводнение в долине Ванч. Его прорыв стал настоящей катастрофой для населения долины. Были смыты дороги, мосты, посеы, некоторые селения и погубло много жителей и скота [9, 0]. Вследствие этого процесса конец ледника Мегдор сплошным чехлом покрыт мореной. Однако по новым наблюдениям после 1990 г. при новых движениях ледника не обнаружили новые озера в языковой часть ледника. Новое движение ледника отмечено в 2000 г. с помощью космических снимков. Пульсирующее состояние ледника непрерывно наблюдалось до 2013 года, при этом высокий уровень движения был наиболее заметен с 2002 по 2007 год. Ледник Мегдор имеет дендритный характер, и при створе этого ледника существует еще 5-6 ледников, которые, в свою очередь, также имеют свойства пульсации. Наблюдения показали, что язык ледника постоянно находится на стадии «продвижение вниз по склону» и в 2016 г. достиг самой низкой отметки (рисунок 4).

В (рисунок 4, D) онлайн платформе «Theia Cartographic Layers» удалось найти информацию об изменении высоты ледников, скорости подвижки и периода их пульсации с 2000 по 2020 г. Из за

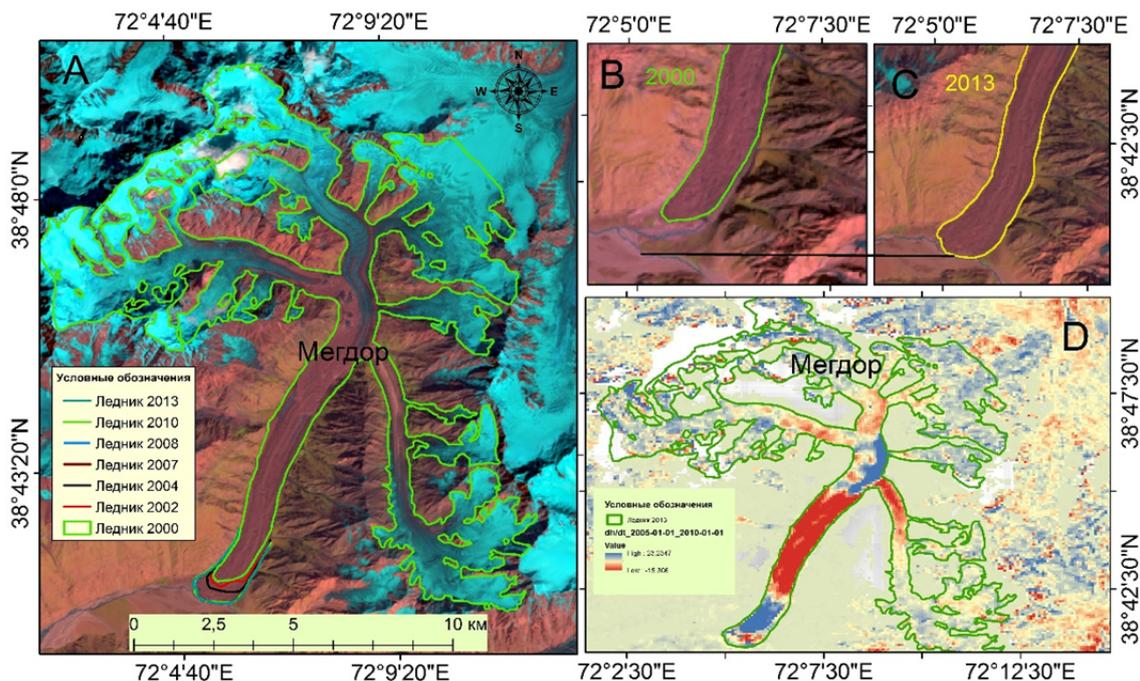


Рисунок 4 – *A* – годы движения ледника Мегдор; *B* – начало движения языка ледника в 2000 г.; *C* – окончание движения языка ледника в 2013 г.; *D* – примеры данных об изменении высоты поверхности, используемых для идентификации ледников нагонного типа. Перенос ледяной массы, связанный с нагонами ледника Мегдор в 2005–2010 гг.

Figure 4 – *A* – Years of movement of the Meghdor Glacier; *B* – Start of glacier tongue movement in 2000; *C* – End of glacier tongue movement in 2013; *D* – Examples of surface elevation change data used to identify surge-type glaciers. Ice mass transport associated with surges of the Meghdor Glacier in the period 2005–2010

пульсации ледника наибольшая толщина льда с 2005 по 2010 г. находилась на высоте от 3240 до 3070 м, однако этот результат изменился с 2011 по 2020 год, когда ледяная масса переместилась к кончику языка и наблюдалась на высотах от 2950 до 2590 м.

В периоды движения ледников и переноса больших масс льда вниз по течению масса льда в леднике не меняется, но меняется площадь его расположения. Также в периоды восстановления наблюдается значительное уменьшение ледникового языка. Язык ледника отступает с 2017 года.

На языке ледника Мегдор выявлены приязыковые озера, количество и площадь которых ежегодно меняются из-за пульсирующего состояния ледника. Озера расположены на высоте от 3000 до 2500 м на языковой части ледника. Встречаются ледниковые озера как на поверхности ледников, так и в краевых депрессиях подпруженных массой главного ледника. В результате обрушения ледниковых языков могут произойти прорывы озер, расположенных вблизи них, что приведет к катастрофическим затоплениям долин. Растущее внимание отчасти обусловлено потенциальной опасностью, которую представляют наступающие ледники.

Ледник Хирсон расположен в северо-западной части Памира на западном склоне хр. Национальная академия наук Таджикистана в верховьях р. Абдукаххор, левого притока р. Ванч. Его фирновая область площадью около 17,5 км² отделена от узкого языка (площадью 5,5 км²) крутым ледопадом (перепад высот 600 м). Общая площадь ледника – около 25 км² [0, 0, 0]. Высота ледника – от 3000 до 5500 м над уровнем моря. С 1963 по 1985 гг. на этом леднике проводились научно-исследовательские экспедиции и полевые наблюдения. В результате были выделены две фазы пульсации и две фазы восстановления. Используя космические наблюдения с 1988 по 1991 г., ученые обнаружили следующее отступление ледника в 1989 г. [0].

Пульсация ледника была замечена 22 апреля 1963 г. уже после того, как вздувшийся язык ледника перекрыл долину р. Абдукаххор. Скорость движения ледника была до 100 м/сут (в среднем около 50 м/сут). Общее продвижение ледника составило 1750 м, в это время в долине р. Абдукаххор образовалось озеро. Глубина озера достигла 80 м, а объем воды составил 14,5 млн м³ [0].

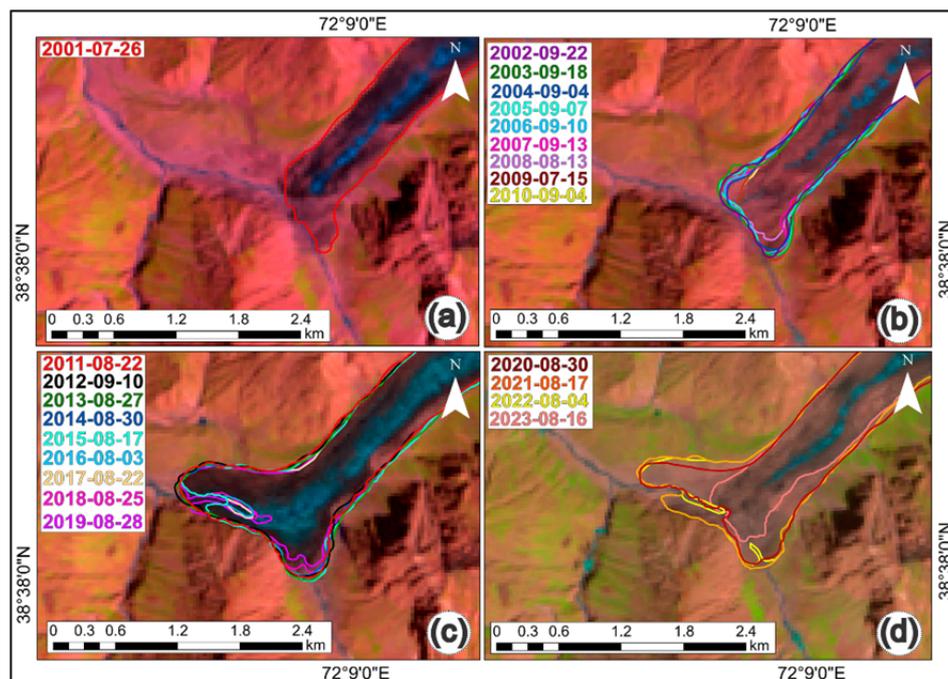


Рисунок 5 – Сравнение прогрессии и регрессии ледника Хирсон до и после с использованием данных Landsat: подрисунки представляют положение конечной части ледника в четырех интервалах: 2001 (a), 2002–2010 (b), 2011–2019 (c) и 2020–2023 (d). Линии иллюстрируют начальное положение конечной части ледника на ранних снимках и его положение на последних снимках [0]

Figure 5 – Comparison of the progression and regression of the Khirson Glacier before and after using Landsat data: The sub-drawings represent the position of the end part of the glacier in four intervals: 2001 (a), 2002–2010 (b), 2011–2019 (c) and 2020–2023 (d).

The lines illustrate the initial position of the glacier terminus in the early images and its position in the latest images [10]

Следующее движение ледника произошло 10 лет спустя, в 1973 г. Скорость движения ледника в 1973 г. была больше, чем в 1963 г. Скорость движения льда на всём протяжении зоны активизации летом 1972 г. была максимальной за всё время наблюдений (от 150–200 см/сут в средней части языка до 300 см/сут и более выше притока), а фронт активизации почти достиг концевого обрыва [0]. К этому времени тоже, как и в 1963 г., язык ледника перегородил реки Дастирост и Абдукаххор, и в долине последней образовалось озеро, максимальный объём которого составлял 16,4 млн м³. Несмотря на некоторые различия в продолжительности и масштабах, подвижки 1963 и 1973 гг. были схожи по своим внешним проявлениям и результатам.

Новое движение ледника произошло в 2000 г. На этот раз он продвинулся всего на 450–500 м, не дойдя 200–250 м до русла р. Абдукаххор. После 2002 г. ледник вступил в период восстановления. К 2010 г. площадь языка ледника сократилась до 400 м. В период новой пульсации в 2011 году ледник сместился на 1100 м. Однако, несмотря на то, что язык ледника закрыл долину реки Абдукаххор, на участке языка не было обнаружено ни одного озера. Небольшие микропульсации ледника были зафиксированы в 1976, 1978, 1981–1982 и 1986 гг. Новые микропульсации наблюдались на леднике в 2018, 2019, 2020 и 2021 гг. За пятьдесят лет ледник пять раз пульсировал. А всего есть сведения, по крайней мере, о восьми его подвижках: 1913–1915, 1937, 1951, 1963, 1973, 1989, 2001 и 2011 гг. [0, 0]. Процесс движения и восстановления ледника занимает 10–14 лет.

Обсуждение. Знание распределения толщины льда ледников мира является фундаментальной предпосылкой для ряда исследований. Прогнозы будущих изменений ледников, оценки доступных ресурсов пресной воды или оценки потенциального повышения уровня моря – все это требует точного ограничения толщины ледникового льда. Предыдущие оценки объемов глобальных ледников в основном основывались на масштабных соотношениях между площадью и объемом ледника, и только одно исследование предоставляет глобальную информацию о распределении толщины льда отдельных ледников [0, 0].

Используя архивные данные, программу Консенсусной оценки распределения толщины льда всех ледников на Земле профессора Даниэля Фаринотти из Цюрихского университета в Швейцарии, можно определить максимальную толщину ледников. Эти исследования сосредоточены на эволюции ледников и их влиянии на водные ресурсы и включают оценку толщины ледникового льда на основе характеристик поверхности, долгосрочного моделирования балансов массы ледников, оценку доли стока с ледниковых водосборов, а также последствия для управления водными ресурсами в высокогорных условиях.

Для определения объема ледников необходимы точные данные об общей площади, максимальной и средней толщине ледников. Максимальную толщину ледников можно загрузить с помощью данные из архива [0, 0], а данные можно обработать в GIS-программах.

Для расчёта максимальной и средней толщины ледников Мегдор и Хирсон были использованы данные из архива [17].

В результате исследований установлено, что общая площадь ледниковой системы Мегдор (ледники № 96, 97, 98, 99, 108, 109, 111) в 2019 году составила 81,6 км², максимальная толщина – 399,3 м, средняя толщина – 91,02 м. На основании общей площади и средней толщины ледника Мегдор его общий объем определен в 7,427 км³ (рисунок 6).

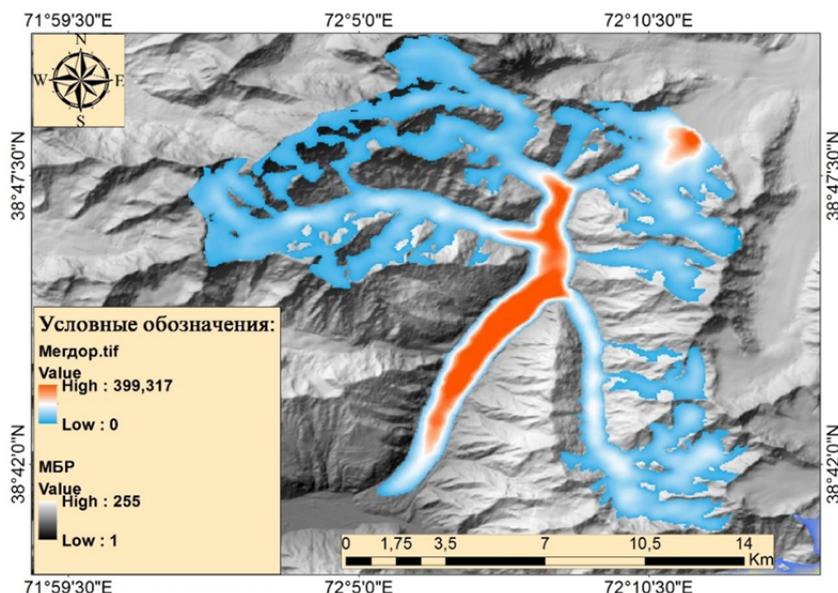


Рисунок 6 – Максимальная толщина ледника Мегдор
(Использованы цифровая модель рельефа
и программа консенсусной оценки распределения толщины льда всех ледников на Земле)

Figure 6 – Maximum thickness of Meghdor Glacier.
(Using the Digital Elevation Model
and the Consensus Estimation Programme of the ice thickness distribution of all glaciers on Earth)

В результате исследований установлено, что общая площадь ледника Хирсон в 2019 году составила 23,4 км², максимальная толщина – 406 м, средняя толщина – 106,7 м. На основании общей площади и средней толщины ледника Медвежий его общий объем определен в 2,495 км³.

Объем ледниковой системы Мегдор (ледники № 96, 97, 98, 99, 108, 109, 111) по каталогу ледников СССР (1978 г) составляет 9,57 км³, по полученным исследованиям – 7,43 км³, разница – 2,14 км³. Исследования показывают, что с момента публикации каталога ледников СССР по 2019 год ледник потерял 22,6% своего объема.

Объем ледника Хирсон (рисунок 7) по каталогу ледников СССР составляет 3,036 км³, по полученным исследованиям – 2,495 км³, разница – 0,541 км³. Исследования показывают, что с момента публикации каталога ледников СССР (1978) по 2019 год ледник потерял 17,8 % своего объема (см. таблицу).

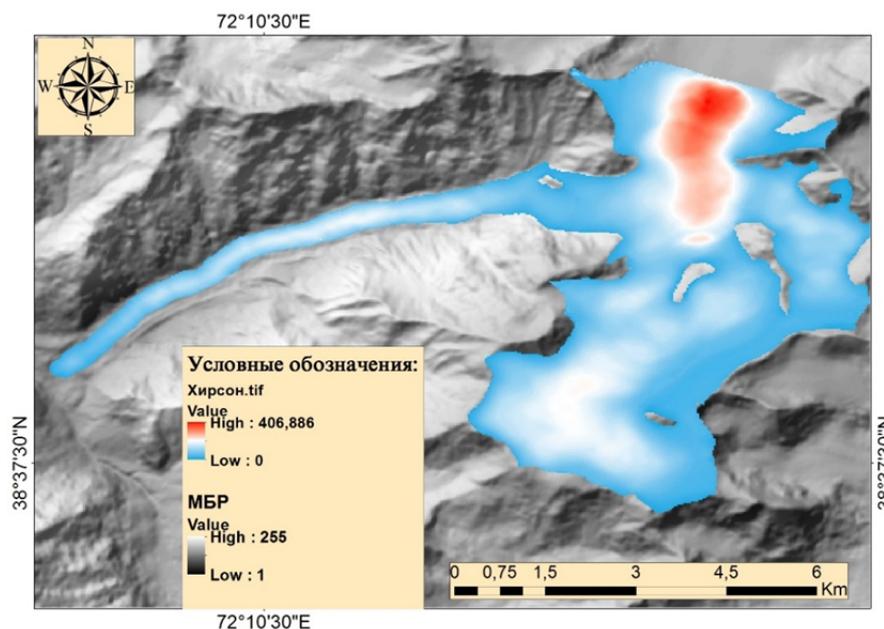


Рисунок 7 – Максимальная толщина ледника Хирсон (определена путем использования цифровой модели рельефа и программы консенсусной оценки распределения толщины льда всех ледников на Земле)

Figure 7 – Maximum thickness of Khirson Glacier (Using the Digital Elevation Model and the Consensus Estimation Programme of the ice thickness distribution of all glaciers on Earth)

Деградация объема ледников Мегдор и Хирсон
Degradation of the volume of the Megdor and Hirson glaciers

Ледник	Общая площадь ледников, км ²		Общий объем ледников, км ³		Уменьшение объема ледников	
	Каталог ледников СССР	2019	Каталог ледников СССР	2019	км ³	%
Мегдор	84,8	81,6	9,6	7,427	-2,173	-22,6
Хирсон	23,3	23,4	3,036	2,495	-0,541	-17,8

Заклучение.

1. В период нашего исследования последнее движение ледника Мегдор началось в 2000 году и продолжалось до 2013 года. При этом высокий уровень движения был наиболее заметен с 2002 по 2007 год. Ледник Мегдор имеет дендритный характер и при его створе существует еще 5-6 ледников, которые, в свою очередь, также имеют свойства пульсации. Наблюдения показали, что язык ледника постоянно находится на стадии «продвижение вниз по склону» и в 2016 г. достиг самой низкой отметки.

2. На языке ледника Мегдор выявлены приязыковые озера, количество и площадь которых ежегодно меняются из-за пульсирующего состояния ледника. Озера расположены на высоте от 3000 до 2500 м на языковой части ледника. Встречаются ледниковые озера как на поверхности ледников, так и в краевых депрессиях, подпруженных массой главного ледника.

3. Небольшие микропульсация ледника были зафиксированы в 1976, 1978, 1981–1982 и 1986 гг. Новые микропульсации наблюдались на леднике в 2018, 2019, 2020 и 2021 гг. За пятьдесят лет ледник пять раз пульсировал. А всего есть сведения, по крайней мере, о восьми его подвижках: 1913–1915, 1937, 1951, 1963, 1973, 1989, 2001 и 2011 гг. Процесс движения и восстановления ледника занимает 10–14 лет.

4. Результаты исследований показали, что в период с 1978 по 2019 г. ледник Мегдор потерял 22,6% своего объема, а ледник Хирсон – 17,8%.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Аброров Ҳ. Пиряхҳои Тоҷикистон. – Душанбе «Дониш», 2017. – 147 с.
- [2] Казанский А. Б. Результаты обследования области питания ледника Медвежьего // Геофизический бюллетень. – 1965. – № 15. – С. 52-60.
- [3] Иқтибосҳо. Суҳанронии Президенти Ҷумҳурии Тоҷикистон дар мулоқоти якуми Панели сатҳи баланд оид ба масъалаҳои об ва иқлим дар сӯғайи видеоконференсия. – Душанбе, 2022. – С. 13-14.
- [4] Кеммерих А. О. Гидрография Памира и Памиро-Алая: (Водные ресурсы). – М.: Мысль, 1978. – 120 с.
- [5] Шульц В. Л. – Реки Средней Азии. – Ленинград, 1965. – 691 с.
- [6] Каюмов А. К. Первая комплексная Международная научная экспедиция по изучению состояния ледников и экологической ситуации в верховьях рек Вахш и Пяндж. Часть 1. Ледники и гидрология. – Душанбе, 2013. – 154 с.
- [7] Долгушин Л. Д., Осипова Г. Б. Природа Мира. Ледники. – Москва, 1989. – 477 с.
- [8] Каталог ледников СССР. Т. 14. Средняя Азия. Вып. 3. Бассейн р. Аму-Дарья. Часть 11. Бассейн р. Ванча. – Ленинград, 1978. – 84 с.
- [9] Долгушин Л. Д., Осипова Г. Б. Пульсирующие ледники. – Л.: Гидрометеиздат, 1982.
- [10] Murodkhudzha M., Lanhai Li., Mustafu S., Mingyang Lv., Amirkhamza M., Aminjon Gulakhmadov, Kabutov Kh., Yubao Q. A comprehensive examination of the Medvezhiy glacier's surges in west Pamir (1968-2023) // Remote Sens (16): 1730.
- [11] Осипова Г. Б. И др. Каталог пульсирующих ледников Памира // Материалы гляциологических исследований. – 1998. – № 85. – С. 3-136.
- [12] Саидзода Х. Омӯзиши пиряхҳои набзони ҳавзаи дарёҳои Қирғизоб ва Гармо бо усули зондиронӣ фосилави // Маҷаллаи илми «Захираҳои об, энергетика ва экология»-и Институти масъалаҳои об, гидроэнергетика ва экологияи Академияи миллии илмҳои Тоҷикистон. – 2024. – № 4. – С. 53.
- [13] Osipova G. B. Fifty years of studying the Medvezhiy Glacier (West Pamirs) by the Institute of Geography, RAS // Ice and Snow. – 2015. – Vol. 55, No. 1. – P. 129-140.
- [14] Dolgoushin, D. Glacier surges and the problem of their forecasting. – IAHS Publ. – 1975. – Vol. 104. – P. 292-304.
- [15] Тукеев О. В. Селевые явления Памира: катастрофы, закономерности, прогноз. – 2002.
- [16] Daniel Farinotti, Matthias Huss, Johannes J. Fürst, Johannes Landmann, Horst Machguth, Fabien Maussion, Ankur Pandit. A consensus estimate for the ice thickness distribution of all glaciers on Earth // Nat. Geosci. 12, 168-173 (2019). <https://doi.org/10.1038/s41561-019-0300-3>
- [17] Gabbi J. et al. Ice volume distribution and implications on runoff projections in a glacierized catchment // Hydrology and Earth System Sciences. – 2012. – Vol. 16, No 12. – P. 4543-4556.
- [18] Электронный источник. <https://vaw.ethz.ch/en/people/person-detail.MTA0Mzg2.TGlzdC8xOTYxLDE1MTczNjI1ODAx.html> (дата обращения 12.04.2025) 12:25
- [19] Давлатова М. Ш. Ҳолати пиряхҳои ҳавзаи дарёи Ванҷ дар шароити тағйирёбии иқлим. Рисолаи магистри. – Душанбе, 2024. – 58 с.
- [20] Геологическая Служба СИСА в открытом доступе <https://earthexplorer.usgs.gov>.
- [21] Theia Cartographic Layers. <http://maps.theia-land.fr/theia-cartographic-layers.html>

REFERENCES

- [1] Abrorov H. Piryakhhoi Tojikiston. Dushanbe. Donish, 2017. 147 p.
- [2] Kazansky A. B. Results of a survey of the feeding area of the Medvezhiy glacier // Geophysical Bulletin. 1965. No. 15. P. 52-60.
- [3] Quotes. "Speech by the President of the Republic of Tajikistan at the first meeting of the High-level Panel on Water and Climate Issues in the framework of a videoconference." Dushanbe, 2022. P. 13-14.
- [4] Kemmerich A. O. Hydrography of the Pamir and Pamir-Alai: (Water Resources). Moscow: Mysl, 1978. 120 p.
- [5] Shults V. L. Rivers of Central Asia. Leningrad, 1965. 691 p.
- [6] Kayumov A. K. The First Integrated International Scientific Expedition to Study the State of Glaciers and the Ecological Situation in the Upper Reaches of the Vakhsh and Pyandzh Rivers. Part 1. Glaciers and Hydrology. Dushanbe, 2013. 154 p.
- [7] Dolgushin L. D., Osipova G. B. Nature of the World. Glaciers. Moscow, 1989. 477 p.
- [8] Catalogue of Glaciers of the USSR. Vol. 14. Central Asia. Part 3. Amu Darya River Basin. Part 11. Vancha River Basin. Leningrad, 1978. 84 p.
- [9] Dolgushin L. D., Osipova G. B. Surging glaciers. L.: Gidrometeoizdat, 1982.
- [10] Murodkhudzha M., Lanhai Li., Mustafu S., Mingyang Lv., Amirkhamza M., Aminjon Gulakhmadov, Kabutov Kh., Yubao Q. A comprehensive examination of the Medvezhiy glacier's surges in west Pamir (1968-2023) // Remote Sens (16): 1730.
- [11] Osipova G.B. e.a. Catalogue of surging glaciers of the Pamirs // Materials of glaciological research. 1998. No. 85. P. 3-136.
- [12] H. Saizoda. In this case, they are not only formed, but also formed in the form of embryos and processes that can form embryos, but also form embryos that can form embryos and processes // Scientific Journal "Water Resources, Energy and Ecology" of the Institute of Water Problems, Hydropower and Ecology of the National Academy of Sciences of Tajikistan. 2024. No. 4. P. 53.
- [13] Osipova G. B. Fifty years of studying the Medvezhiy Glacier (West Pamirs) by the Institute of Geography, RAS // Ice and Snow. 2015. Vol. 55, No. 1. P. 129-140.
- [14] Dolgoushin, D. Glacier surges and the problem of their forecasting. – IAHS Publ. 1975. Vol. 104. P. 292-304.
- [15] Tukeyev O. V. Mudflow phenomena in the Pamirs: catastrophes, patterns, forecast. – 2002.
- [16] Daniel Farinotti, Matthias Huss, Johannes J. Fürst, Johannes Landmann, Horst Machguth, Fabien Maussion, Ankur Pandit. A consensus estimate for the ice thickness distribution of all glaciers on Earth // Nat. Geosci. 12, 168-173 (2019). <https://doi.org/10.1038/s41561-019-0300-3>

- [17] Gabbi J. et al. Ice volume distribution and implications on runoff projections in a glacierized catchment // Hydrology and Earth System Sciences. 2012. Vol. 16. No. 12. P. 4543-4556.
- [18] Electronic source. <https://vaw.ethz.ch/en/people/person-detail.MTA0Mzg2.TGlzdC8xOTYxLDE1MTczNjI1ODA=.html> access date 04/12/2025 12:25
- [19] Davlatova M. S. The state of glaciers in the Wanch River basin under climate change. Master's thesis. Dushanbe, 2024. P. 58.
- [20] Geological Survey SISA in the public domain <https://earthexplorer.usgs.gov>.
- [21] Theia Cartographic Layers. <http://maps.theia-land.fr/theia-cartographic-layers.html>

М. Ш. Давлатова¹, Х. Д. Наврузшоев^{*2}, Х. Саидзода³, А. Х. Давлятова⁴

¹ PhD докторант, ғылыми қызметкер (Тәжікстан Ұлттық ғылым академиясының «Мұздықтарды зерттеу орталығы» мемлекеттік ғылыми мекемесі, Душанбе, Тәжікстан; munzifadavlatova95@gmail.com)

^{2*}Техника ғылымдарының кандидаты, ғылыми қызметкер, жетекші ғылыми қызметкер (Орталық Азия Университетінің Таулы қауымдастықтарды зерттеу институты, Тәжікстан Ұлттық ғылым академиясының «Мұздықтарды зерттеу орталығы» мемлекеттік ғылыми мекемесі, Душанбе, Тәжікстан; hofiz.navruzshoev@ucentralasia.org)

³ Кіші ғылыми қызметкер (Тәжікстан Ұлттық ғылым академиясының «Мұздықтарды зерттеу орталығы» мемлекеттік ғылыми мекемесі, Душанбе, Тәжікстан; khaticha.cryos@gmail.com)

⁴ PhD докторант, ғылыми қызметкер (Тәжікстан Ұлттық ғылым академиясының «Мұздықтарды зерттеу орталығы» мемлекеттік ғылыми мекемесі, Душанбе, Тәжікстан; cryosphereadolat@gmail.com)

ВАНЧ ӨЗЕНІ АЛАБЫНДАҒЫ ПУЛЬСАЦИЯЛЫҚ МҰЗДЫҚТАРДЫ ҚАШЫҚТЫҚТАН МОНИТОРИНГТЕУ

Аннотация. Мақалада Тәжікстанның Орталық Памиріндегі Ванч шатқалында орналасқан Мегдор (РГО) және Хирсон (Медвежий) пульсациялық мұздықтарының көпжылдық мониторинг нәтижелері келтірілген. Зерттеу 1993–2023 жылдар аралығын қамтиды және Landsat пен Sentinel спутниктік суреттерін интерпретациялауға негізделген. Анықталғандай, 2000–2020 жылдары Мегдор мұздығы пульсациялық қозғалыстың белсенді фазасында болды, осы кезеңде мұздық тілі 3240–3070 м биіктіктен 2950–2590 м белгілеріне дейін жылжыған. Көлемдік өзгерістерді бағалау нәтижесінде КСРО Мұздықтар Кatalогы жарияланған кезден бері Мегдор мұздығының көлемі 22,6 %-ға, ал Хирсон мұздығының көлемі 17,8 %-ға қысқарғаны анықталды. Алынған нәтижелер Орталық Азияның таулы аймақтарындағы климаттық өзгерістердің маңызды индикаторлары ретінде пульсациялық мұздықтарды жүйелі түрде бақылаудың қажеттілігін көрсетеді.

Түйін сөздер: мұздық пульсациясы, көлем, климат, Ванч өзені алабы, Мегдор, Хирсон, қашықтықтан зондау.

M. Sh. Davlatova¹, H. D. Navruzshoev^{*2}, Kh. Saidzoda³, A. Kh. Davlyatova⁴

¹ PhD student, Research Associate (State Scientific Institution “Glacier Research Center of the National Academy of Sciences of Tajikistan”, Dushanbe, Tajikistan; munzifadavlatova95@gmail.com)

^{2*} Candidate in Technical Sciences, Research Associate, Senior Research Associate (Mountain Societies Research Institute, University of Central Asia, State Scientific Institution “Glacier Research Center of the National Academy of Sciences of Tajikistan”, Dushanbe, Tajikistan; hofiz.navruzshoev@ucentralasia.org)

³ Junior Research Associate (State Scientific Institution “Glacier Research Center of the National Academy of Sciences of Tajikistan”, Dushanbe, Tajikistan; khaticha.cryos@gmail.com)

⁴ PhD student, Research Associate (State Scientific Institution “Glacier Research Center of the National Academy of Sciences of Tajikistan”, Dushanbe, Tajikistan; cryosphereadolat@gmail.com)

REMOTE MONITORING OF SURGING GLACIERS IN THE VANJ RIVER BASIN

Abstract. This article presents the results of long-term monitoring of the surging glaciers Megdor (RGO) and Khirson (Medvezhiy), located in the Vanj Valley of the Central Pamirs, Tajikistan. The study covers the period from 1993 to 2023 and is based on the interpretation of satellite imagery (Landsat, Sentinel). It was established that during 2000–2020, the Megdor Glacier was in an active surge phase, with its tongue advancing from elevations of 3240–3070 m down to 2950–2590 m. Volume change assessment showed that since the publication of the USSR Glacier Catalogue, the volume of the Megdor Glacier has decreased by 22.6%, while the Khirson Glacier has shrunk by 17.8%. The findings highlight the necessity of systematic monitoring of surging glaciers as critical indicators of climate change in the high-mountain regions of Central Asia.

Keywords: glacier surge, volume, climate, Vanj River Basin, Megdor, Khirson, remote sensing.

<https://doi.org/10.55764/2957-9856/2025-4-57-74.46>

ӨОЖ 556

FTAMP 37.27.23; 37.29.02

А. К. Мусина¹, Ә. С. Абдуллаева², М. Н. Тұрсынғали^{*3}, Қ. М. Наконова⁴, С. Е. Қайрат⁵

¹ Г. ғ. к., қауымдастырылған профессор

(Әл-Фараби атындағы ҚазҰУ, Алматы, Қазақстан; Ainur.Musina@kaznu.edu.kz)

² PhD, доцент м.а. (Әл-Фараби атындағы ҚазҰУ, Алматы, Қазақстан; Assel.Abdullayeva@kaznu.edu.kz)

^{3*} PhD докторант, оқытушы

(Әл-Фараби атындағы ҚазҰУ, Алматы, Қазақстан; Marzhan.Tursyngali@kaznu.edu.kz)

⁴ PhD докторант, кіші ғылыми қызметкер (Әл-Фараби атындағы ҚазҰУ,

«География және су қауіпсіздігі институты» АҚ, Алматы, Қазақстан; nakonova_kymbat3@live.kaznu.kz)

⁵ Магистрант (Әл-Фараби атындағы ҚазҰУ, Алматы, Қазақстан; kairat_saule@live.kaznu.kz)

ІЛЕ АЛАТАУЫНЫҢ СОЛТҮСТІК БЕТКЕЙІНІҢ ОРТАЛЫҚ ЖӘНЕ ШЫҒЫС БӨЛІГІНДЕГІ МҰЗДЫҚТЫҚ-МОРЕНАЛЫҚ КӨЛДЕРДІҢ КЕҢІСТІКТІК-УАҚЫТТЫҚ ҮЛЕСТІРІЛУІН ТАЛДАУ

Аннотация. XX ғасырдың II жартысынан бастау алған ғаламдық жылынудың нәтижесінде байқалған мұздықтардың шегінуі көпжылдық тоң қабаттарындағы мореналардың ішінара еруімен қатар жүреді, бұл, өз кезегінде, мұздықтық-мореналық көлдердің пайда болуына ықпал етеді. Зерттеу аумағындағы мұздықтық-мореналық көлдердің саны мен ауданының артуы олардың қазіргі жағдайы мен өзгеру динамикасының қарқындылығын талдауды қажет етті. Қашықтықтан зондтау және ГАЖ-технологиялары көлдердің жағдайы туралы жан-жақты және сенімді мәліметтерді талдау және өңдеу негізінде зерттеу аумағындағы инвентаризациялық карталарды жасауға мүмкіндік берді. Бұл зерттеу қашықтықтан зондтау мәліметтері мен ГАЖ-технологиялары көмегімен Іле Алатауының орталық және шығыс бөліктеріндегі мұздықтық-мореналық көлдердегі өзгерістерді жүйелі түрде анықтау және кеңістіктік-уақыттық талдау жүргізе отырып, олардың даму ерекшеліктеріне баға беру мақсатында жасалды. Зерттеу нәтижелері мұздықтық-мореналық көлдерінің жалпы санының 1978 жылдан қазіргі уақытқа дейін 20-дан 82-ге дейін өскенін көрсетті. Зерттеу аумағындағы көлдердің жалпы ауданы 160% өскен, 1978 жылы көлдердің жалпы жиынтық ауданы 192 900 м² құраса, қазіргі уақытта оның мәні 536 452 м² дейін артқан. Сонымен қатар, мұздықтық-мореналық көлдердің көрініс беруі 2000 жылдарға дейін 3300-3700 м биіктік аралығында болса, 2013 жылы 3300-3800 м, 2021 жылы 3300-3900 м аралығына дейін, ал қазіргі уақытта (2025 ж.) 3600-3800 м және одан жоғары белдеулерде байқалып отыр. Көлдер саны мен ауданының артуы сел тасқындарының қалыптасу ықтималдығын арттырады және өзен ағысының төменгі жағында орналасқан аудандарға қауіп төндіреді. Сондықтан мұздықтық-мореналық көлдерінің кеңістіктік-уақыттық динамикасын бақылау және бағалау қауіпті экзогендік процесстерді болжауда және олардың алдын-алуда, сондай-ақ мұздықтық-мореналық көлдерінің ақтарылуы кезіндегі су тасқындары (GLOF) қауіпін басқару стратегияларын әзірлеу үшін ерекше маңызды.

Түйін сөздер: мұздықтық-мореналық көлдер, Жерді қашықтықтан зондтау мәліметтері, кеңістіктік-уақыттық өзгерістер, мұздықтық-мореналық көлдердің саны мен ауданы, климаттың ғаламдық жылынуы.

Кіріспе. Климаттың ғаламдық жылынуы Іле Алатауы жотасындағы мұздықтар ауданының айтарлықтай азаюына әкеліп соқтыруда. Мұздықтардың шегінуі мұнда XX ғасырдың II жартысынан бастап байқалып келеді [1] және ауа температурасының маусымдық және ұзақ мерзімді жоғарылауымен тығыз байланысты [2]. 1955 жылдан бастап мұздықтар ауданының кейін шегіну жылына орта есеппен 0,76% құрады, ал 1990 жылдардан бастап ол 1,13%-ға дейін өсті [3]. Мұздықтардың шегінуі жас морена шөгінділерінің ашылуымен қатар жүреді, бұл криогендік және посткриогендік процесстердің белсендірілуіне әкеледі. Мұздықтардың кейін шегінуімен бір мезгілде байқалатын мәңгі тоң қабаттарындағы мореналарының ішінара еруі еріген сулар мен жаңбыр суларына толы қазаншұңқырлардың пайда болуына ықпал етеді, бұл биік таулы аймақтардағы мұздықтық-мореналық көлдердің пайда болуына, олардың өсуіне, дамуына жағдай жасайды.

Отандық [4, 5] және шетелдік [6-8] зерттеушілердің жарияланымдарында биік таулы аймақтағы су жинақталатын қазаншұңқырлардың қалыптасуы мұздықтармен және қазіргі мореналармен байланысты болғандықтан, оларды мұздықтық-мореналық көлдер деп атайды.

Жалпы Қазақстандағы мұздықтық-мореналық көлдердің қалыптасу шарттарын, даму динамикасын, морфометриялық сипаттамаларын зерттеу өткен ғасырдың екінші жартысынан бастап жүргізіле бастады. 1950 жылдан бастап Н. Н. Пальгов, П. А. Черкасов, Н. Ф. Колотилин және Д. А. Качалов және т.б. гляциосфераны зерттеушілер қазіргі мореналарда орналасқан көлдерге қызығушылық таныта бастады [9]. Олар зерттеу жұмыстарында бұл көлдердің ақтарылу қауіптілігі бар екендігін және ақтарылған жағдайында қоршаған орта мен ондағы объектілерге айтарлықтай материалдық зиян келтіруі мүмкін екендігін көрсетті.

1970 жылдардан бастап Іле Алатауында мұздықтардың кейін шегінуне байланысты мұздықтық-мореналық көлдер қарқынды пайда бола бастады, бұл мұздық көлдердің ақтарылу (GLOF) қауіптілігін арттырды. Мұздықтық-мореналық көлдердің елеулі кеңістіктік-уақыттық өзгеріштігі олардың морфометриялық және гидрологиялық сипаттамаларын үздіксіз бақылауды және зерттеуді қажет етеді. Сол себепті, Іле Алатауының мұздықтық-мореналық көлдерді зерттеумен отандық зерттеушілер қарқынды айналыса бастады. Өткен ғасырдың 70 жылдарынан бастап Плеханов П. А., Попов В. И., Токмагамбетов Г. А. мұздықтық-мореналық көлдердің қалыптасу шарттары мен олардың ақтарылу қауіптілігіне баса назар аударса, 1980 жылдардың орта тұсынан бастап Керемкулов В. А., Медеу А. Р., Токмагамбетов Т. Г., Благовещенский В. П. Мұздықтық-мореналық көлдердің морфометриялық сипаттамаларын зерттей отырып, оларды жіктеу жұмыстарын қарқынды жүргізе бастады, сондай-ақ көлдердің құрылымы мен таралуындағы заңдылықтарды анықтады. Осы кездері Іле Алатауы жотасының солтүстік беткейіндегі мұздықтық көлдердің алаптары зерттелді, ең ірі көлдерде аспаптық геодезиялық зерттеулер жүргізілді, алғаш рет көл алаптарының морфометриясы туралы нақты мәліметтер алынды. Сонымен қатар, гляциологтар жұмыстары [9] мұздықтық-мореналық көлдердің пайда болуы ауа температурасының өсуі нәтижесіндегі мұздықтардың кейін шегінуімен тығыз байланысты екендігін көрсетті.

Қазіргі кезде мұздықтық-мореналық көлдер толысып, олардағы су деңгейі көтерілуде. Бұл мәселе жер бедері пішіндерінің, аумақтардың геологиялық және климаттық жағдайларының алуан түрлілігіне байланысты сел тасқыны, жылжымалар, өзен эрозиясы, сияқты қауіпті экзогендік процестердің дамуына және жандануына ықпал етеді [10]. Сел тасқындарының ішінде, мұздықтардың қызметімен сипатталатын гляциалдық селдер ерекше орын алады. Республика аумағында әртүрлі модификациядағы гляциалдық селдер 25%-ды құрайды. Мұздықтық-мореналық көлдердің ақтарылу қауіптілігінің артуына ықпал ететін негізгі көрсеткіштер ретінде су бетінің ауданының ұлғаюын, табиғи бөгет арқылы судың шамадан тыс ағып келуін және көл суы температурасының жоғарылауын келтіруге болады [11]. Мұндай оқиғалардың салдарының ауқымы көл суының көлеміне және сел аймағындағы бос сынықты материалдар қорына тікелей байланысты.

Климаттың жылынуына байланысты орын алып жатқан сел қауіптілігінің артуы мұздықтық-мореналық көлдердің динамикасын жүйелі түрде бақылаудың ерекше маңыздылығын көрсетеді. Дегенмен, жердегі және әуеден түсірілімдерге негізделген дәстүрлі мониторинг әдістері баяу, ауа райы жағдайларына тәуелді және айтарлықтай қаражатты қажет ететіндігі белгілі [12]. Бұл шектеулер ауқымды және жетуі қиын аумақтарды қамтитын жоғары дәлдіктегі мәліметтерді алуға мүмкіндік беретін қашықтықтан зондтау және ГАЖ-технологиялары негізіндегі заманауи бақылау әдістері қажет екендігін көрсетті [13].

Кеңістікті кескіндеу мүмкіндігі жоғары ғарыштық суреттер мен заманауи ГАЖ бағдарламалары көлдердің жағдайы туралы мәліметтерді үнемі, әрі уақытылы жаңартудағы, оларда орын алып жатқан өзгерістердегі тенденцияларды анықтаудағы және әлеуетті қауіптерді модельдеудегі таптырмас құрал. Қашықтықтан зондтау және ГАЖ мәліметтерін кешенді талдау сел қауіптілігін бағалау және оның зиянды салдарын азайтуда басқарушылық шешімдер қабылдау тиімділігін арттырады және әлеуметтік-экономикалық және табиғи объектілерді қорғау үшін қолданылатын көлдер мен мұздықтардың орналасуы және сел қауіптілігі мен сел қауіпті карталары сияқты аналитикалық және тақырыптық карталарды жасауға мүмкіндік береді [14, 15].

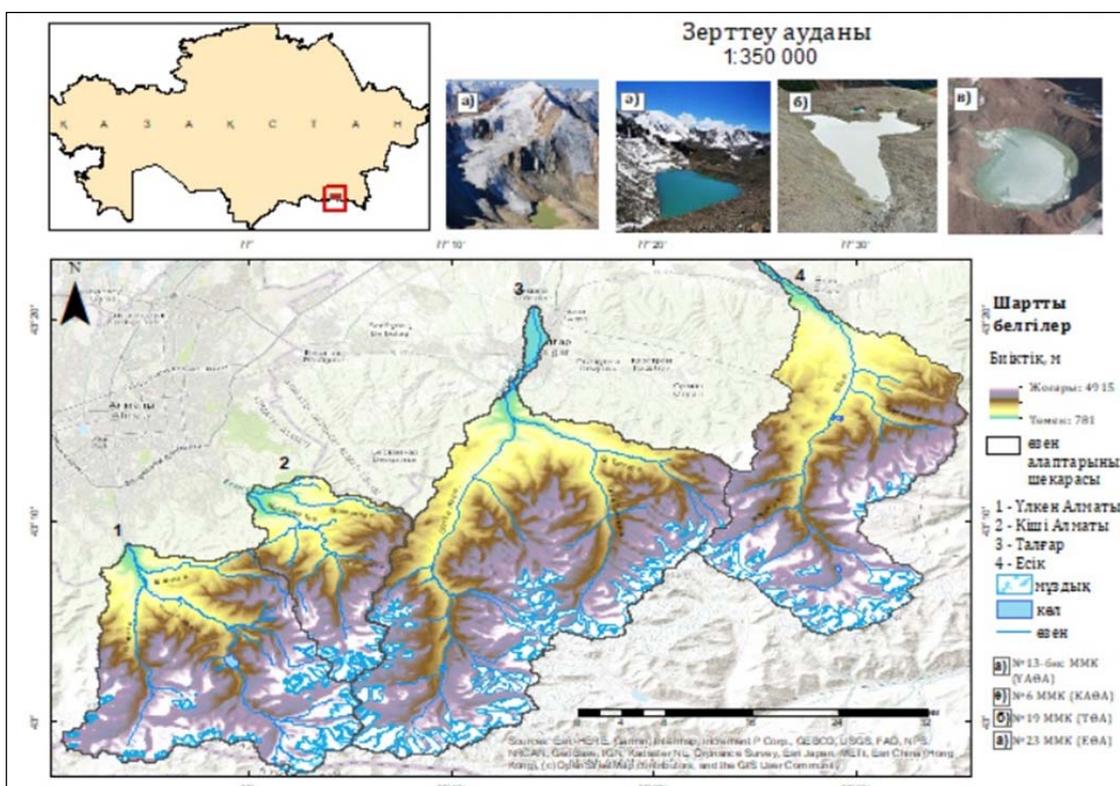
Сондықтан, бұл зерттеудің мақсаты - Іле Алатауының орталық және шығыс бөліктерінде орналасқан мұздықтық-мореналық көлдерді жүйелі түрде инвентаризациялау негізінде олардың кеңістіктік және уақыттық өзгеру қарқындылығын бағалау. Бағалау көлдердің динамикасы мен

қазіргі жағдайын саралауға, олардың эволюциясын анықтауға және мұздықтық-мореналық көлдерінің ақтарылу қауіптілігін бақылау және басқару үшін ғылыми негіз жасауға мүмкіндік береді.

Зерттеу ауданы. Іле Алатауы – Тянь-Шань тау жүйесінің солтүстігінде ендік бағытта 190 км созылып жатқан тау жотасы [16]. Жотаның абсолютті биіктігі Талғар шыңында 4973 м жетеді, ал Іле Алатауының солтүстік беткейінің орталық және шығыс бөлігіндегі мұздықтық-мореналық көлдердің таралу аймағы 3000-3900 м биіктікті қамтиды.

Іле Алатауының солтүстік беткейінің орталық және шығыс бөліктеріндегі негізгі су жинау алаптарына Үлкен және Кіші Алматы, Талғар, Есік өзендері жатады (1-сурет). Бұл өзен алаптары зерттеу ауданының гидрографиялық желісін құрай отырып, Іле Алатауы солтүстік беткейінің орталық және шығыс бөлігінің сумен қамтамсыздандырылуында маңызды рөл атқарады. Үлкен Алматы өзені шамамен 3600 м биіктікте орналасқан Үлкен Алматы көлінен бастау алып, оңтүстіктен солтүстікке қарай ағады. Өзеннің ұзындығы 96 км, су жинау алабының ауданы 425 км². Одан шығысқа қарай Кіші-Алматы өзені Тұйықсу мұздығына жақын 3400 м биіктіктен бастау алады. Кіші Алматы өзенінің су жинау алабының ауданы 124,2 км². Талғар өзені алабы күрделі таулы жер бедерімен және айқын тілімденуімен сипатталады. Алаптың солтүстік беткейі тау өзендерінің су жинау алаптарын бөліп тұратын негізгі жотаның бірқатар сілемдері арқылы көрініс береді. Талғар өзені алабының жалпы ауданы 444,5 км², оның ішінде Сол Талғар 273 км², Орта Талғар 103 км², Оң Талғар 68,5 км² құрайды. Төменгі ағысында таудан шыға берісінде Сол және Оң Талғар қосылып, Талғар өзенін құрайды. Есік өзені шамамен 3400 м биіктіктегі мұздықтардан бастау алады. Оның ұзындығы 98 км, ал су жинау алабының таулы бөлігінің ауданы 265 км². Өзеннің гидрологиялық режимі ең алдымен мұздықтар мен қардың еруінен қалыптасады, бұл оның ағындысының жылышылық үлестірілуінің айқын сипатын көрсетеді.

Зерттеу аймағы қатаң климаттық жағдайлармен сипатталатын биік таулы нивальды аймақта орналасқан. Зерттеулерге сәйкес [17] Іле Алатауының солтүстік беткейі температура мен жауын-шашынның айқын маусымдық құбылмалылығымен сипатталады. Жауын-шашынның ең көп мөлшері көктем мен күзде басым болатын батыс ауа ағындарының әсері күшейген сәуір-мамыр



1-сурет – Зерттеу ауданы

Figure 1 – Study area

айларына түседі. Орта және биік таулы аймақтарда жауын-шашынның максималды мөлшері маусым-шілде айларына ауысады. Қыс айларында (желтоқсан-қаңтар) нөлден төмен температура басым болады және қатты күйдегі жауын-шашын аз болады. Жазда Азиялық термиялық депрессияның әсерінен оңтүстіктен жылы және құрғақ ауа массаларының адвекциясы күшейеді, нәтижесінде ыстық және ылғалдылығы төмен ауа-райы пайда болады.

Іле Алатауының солтүстік беткейінде орналасқан өзендердің гидрологиялық режимі ең алдымен мұздықтар мен қардың еруінен қалыптасады. Олар қыста тұрақты қар қоры бар жазғы және аралас мұздық-жаңбырлы су тасу режимдерімен сипатталады. Мұз бен қардың еруінен пайда болған еріген сулардың әсері, сондай-ақ температураның шектен тыс ауытқуы зерттеу ауданындағы тау жыныстарының физикалық үгілу процестерінің белсенді жүруіне ықпал етеді. Бұл тау жыныстарының интенсивті бұзылуына және зерттелетін аумақ шегінде сел тасқындарының қалыптасуы кезінде шөгінді материал қызметін атқаратын бос сынықты материалдардың үлкен қорының жинақталуына әкеледі [11]. Зерттеулерге сәйкес [11, 18], сел тасқындарындағы қатты құраушылардың үлесі 80% жетуі мүмкін, бұл Іле Алатауының таулы аймақтарында эрозия және жинақталу процестерінің жоғары потенциалын көрсетеді.

Сонымен қатар, соңғы жылдары 5000 м дейінгі биіктікте нөлдік изотерманың тіркелуіне байланысты Іле Алатауы аймағында белсенді мұздық эрозиялық процестер жүріп жатыр, бұл жаңа мореналық кешендерінің пайда болуына ықпал етеді. Мұздықтардың шегінуі нәтижесінде мұнда биіктігі 150-200 м жететін бірнеше фронтальды қырқалар қалыптасуда. Мореналар негізінен құрамында кемінде 0,4% сазды-шанды фракциялары бар ірі құмнан құралған жұмырланбаған сынықтары басым қиыршықтасты-жақпартасты материалдардан түзіледі. Іле Алатауының мореналарында 2 мм үлкен сынықтардан және ұсақ түйіршікті толтырғыштардан (фракциялары 2 мм кіші) тұратын ірі кесекті жыныстар басым болып келеді [11]. Зерттелініп отырған аймақта кіші мұз дәуірінде жиналған көмілген мұздықтары бар жаңа мореналардың ауданы 91,63 км² құрайды [11]. Бұл мореналық кешендер сел тасқындарының қалыптасуында маңызды рөл атқарады, өйткені олар еріген және жаңбыр суымен қозғалысқа ұшырайтын бос сынықты материалдар қорын береді.

Іле Алатауының солтүстік беткейінің орталық және шығыс бөлігіндегі мұздық-мореналық көлдердің қалыптасуына физикалық және химиялық процестер тікелей әсер етеді. Біріншіден, күн сәулесінің тікелей түсуі әсерінен мұздан босап шыққан аумақтарда теріс формадағы микро пішінді ойыстар, шұңқырлар, ойылымдар пайда болып, физикалық процестердің орын алуына ықпал етеді. Екіншіден, мұздықтардың қарқынды еруі әсерінен пайда болған ойыстар, шұңқырлар, ойылымдар сумен толысады және химиялық процестердің көрініс беруі негізінде олардың тереңдігі немесе қазаншұңқырларының аумағы өсе түседі. Осылайша, аталған процестердің орын алуынан толысқан мұздық-мореналық көлдер сел қауіптілігінің туындауына алып келеді.

Төтенше жағдайлар атласында [19] ұсынылған сел қауіптілігі картасына сәйкес зерттелетін аумақ сел қауіптілігі ең жоғары аймаққа жатады. Бұл аймақ экзогендік геоморфологиялық процестердің дамуына, әрі қатты ағындының негізгі көзі ретінде мұздық-мореналық шөгінділердің жинақталуына бейім.

Сонымен, зерттелетін аумақ күрделі орографиялық құрылыммен, биіктік белгілерінің айтарлықтай өзгеруімен, мұздықтармен қоректенетін өзендердің дамыған жүйесімен сипатталады.

Зерттеу материалдары мен әдістері. Өткен ғасырдың 60 жылдарынан бастап мұздық-мореналық көлдердің қалыптасу жағдайларын, морфометриялық сипаттамаларын, пайда болатын апаттылық дәрежесін анықтау мақсатында «Қазселденқорғау» ММ жер беті және аэровизуалды барлау жұмыстарын жүргізе бастады. XX ғасырдың 80 жылдарының ортасында «Қазселденқорғау» ММ тапсырысы бойынша таулы аудандардағы мұздық-мореналық көлдерді идентификациялау және инвентаризациялау мақсатында көлдердің паспорттау құжаттары дайындалған болатын. Мореналық-мұздық көлдерді зерттеу Қазақстанның таулы аймақтарында сел қауіптілігін бағалау және қауіпті азайту шараларын әзірлеу қажеттілігімен тығыз байланысты. Соңғы жылдары жарық көрген Алматы облысы бойынша 832 көлдің кадастры мен олардың морфометриялық және қауіптілік сипаттамалары жүйеленген зерттеу [20] сел қауіпін аймақтық деңгейде бағалап, қауіпті көлдерді анықтауға мүмкіндік беретін құралға айналды.

Мұздық-мореналық көлдердегі өзгерістерді зерттеу мультиспектралды суреттерді біріктіру, су бетінің индексі және көлдер ауданының өзгеруін талдау үшін қашықтықтан зондтау

мәліметтеріне негізінде жүзеге асырылады. Сол себепті, зерттелініп отырған аймақтағы мұздық-мореналық көлдердің қазіргі жағдайы мен даму динамикасын бақылау үшін қашықтықтан зондау әдісі арқылы алынған кеңістікті кескіндеу мүмкіндігі жоғары түсірілімдер, топографиялық карталар, жер бедерінің сандық моделі қолданылды. Көлдердің инвентаризациясын жүргізу барысында, қар қорының минималды шегі байқалатын салыстырмалы түрде құрғақ маусым болып табылатын шілде-тамыз айларына тиесілі 1978-2025 жж. аралығындағы ғарыштық түсірілімдер алынды. Мұздық-мореналық көлдердің инвентаризациясын жүргізу мақсатында бұл жылдардың таңдалып алынуы бұлт және қар қабаттарының минималды шегімен және түсірілімнің жоғары сапасымен түсіндіріледі.

Мұздық-мореналық көлдерді зерттеу барысында 1978 жыл Multispectral Scanner System (MSS), 1990 жыл үшін Thematic Mapper (TM), 1999, 2013 жылдары үшін Thematic Mapper/Enhanced Thematic Mapper Plus (TM/ETM+) Landsat, 2021 және 2025 жылдар үшін Sentinel-2 ғарыштық түсірілімдері пайдаланылды. Сонымен қатар, зерттеу ауданын карта бетіне түсіру үшін жер бедерінің сандық моделі ретінде Alos Palsar (JAXA) халықаралық зерттеу жобасынан алынған мәлімет қолданылды. Осыған байланысты, Sentinel-2 және Landsat ғарыштық спутнигі арқылы түсірілген 10, 30 және 60 м кеңістікті кескіндеу мүмкіндігі жоғары және орташа түсірілімдер пайдаланылды (1-кесте). Таңдап алынған түсірілімдер арқылы мұздық-мореналық көлдерді идентификациялаудың сенімділігі кеңістікті кескіндеу мүмкіндігімен анықталады. Су объектілерін карта бетіне түсіру міндетін шешуде кеңістікті кескіндеу мүмкіндігі 10 м болған жағдайда, объектінің сипатты мөлшері 30 м, ал 30 м болған жағдайда 60 м құрайды.

1-кесте – Мәлімет көздері жөніндегі ақпарат

Table 1 – Information on data sources

Мәліметтер көзі	Түсірілімнің жарияланған уақыты	Түсірілім атауы	Кеңістікті кескіндеу мүмкіндігі
Landsat 2 (USGS)	07.29.1978	LM02_L1TP_161030_19780729_20200906_02_T2	60 м
Landsat 5 (USGS)	07.08.1990	LT05_L2SP_149030_19900807_20200915_02_T1	30 м
Landsat 7 (USGS)	08.08.1999	LE07_L2SP_149030_19990808_20200918_02_T1	30 м
Landsat 8 (USGS)	06.08.2013	LC08_L2SP_149030_20130806_20200912_02_T1	30 м
Sentinel-2 (Copernicus Data Space Ecosystem)	24.07.2021	S2A_MSIL2A_20210724T054641_N0301_R048_T43TFH_20210724T080202	10 м
Sentinel-2 (Copernicus Data Space Ecosystem)	23.07.2025	S2A_MSIL2A_20250723T054641_N0301_R048_T43TFH_20250723T080202	10 м
Alos Palsar (JAXA)			12.5

Мұздық-мореналық көлдерді идентификациялау. Зерттеу мақсатына қол жеткізу үшін су индексінің әртүрлі түрлерін қолдануға болады [21]. Зерттеліп отырған мұздық-мореналық көлдерді осы түрлердің бірі NDWI көмегімен де анықтауға болады. Макфитерс анықтаған NDWI [22] индексі – су объектілерін белгілеп көрсететін, сонымен бірге өсімдіктер мен топырақтың басқа да ерекшеліктерін тежейтін жасыл және жақын инфрақызыл спектрлік жолақтар арасындағы қатынастардың қалыпқа келтірілген индексі. Индекстің теңдеуі келесідей анықталады:

$$NDWI = \frac{\rho_{green} - \rho_{NIR}}{\rho_{green} + \rho_{NIR}}, \quad (1)$$

мұндағы ρ_{green} және ρ_{NIR} – сәйкесінше жасыл және жақын инфрақызыл диапазондар үшін атмосфераның жоғарғы қабаттарының шағылысу коэффициенттері. Бұл шағылысу коэффициенттері ретінде Sentinel-2, Landsat TM және ETM+ сенсорлары үшін тиісті диапазондар алынды.

Мұздық-мореналық көлдер әртүрлі физикалық және химиялық жағдайларға байланысты әртүрлі спектрлік сипаттамаларға ие болғандықтан, көлдердің пиксель мәндері үшін кең NDWI диапазондарын береді. Яғни, зерттелініп отырған аудандағы мұздық-мореналық көлдері үшін

NDWI диапазоны әртүрлі болуы мүмкін. Сол себепті, олар қандай да бір шекті мәнмен шектелмейді.

Көптеген зерттеушілер [23, 24] мұздықтық-мореналық көлдерді идентификациялау үшін 0,15 шекті мәнін қабылдаған. Сол себепті, зерттеу ауданындағы мұздықтық-мореналық көлдерді идентификациялау барысында 0,15-0,20 диапазонындағы NDWI мәндері қолданылды. Landsat 5, Landsat 7 ғарыштық түсірілімдерінен су индексін анықтау үшін 2-4 Band-тер, Landsat 8 космостық түсірілімінен 3-5 Band-тер және Sentinel-2 ғарыштық түсірілімдерінен 3-8 Band-тер қолданылды.

Мұздықтық-мореналық көлдерді картаға түсіру және инвентаризациясын әзірлеу. NDWI индексінің оң диапазоны ретінде белгілен мән арқылы көлдерді анықтау және жер бедерінің сандық моделін пайдалана отырып мұздықтық-мореналық көлдерді карта бетіне түсіру ArcGIS 10.8 бағдарламасы арқылы жүзеге асырылды. Карта бетіне түсіру бірнеше кезеңді қамтиды. Біріншіден, зерттеліп отырған аудандағы мұздықтық-мореналық көлдерін карталаудың алдын-ала нәтижелерін алу үшін Landsat және Sentinel-2 ғарыштық түсірілімдеріне сегментация жасалды. Екіншіден, әрбір зерттелініп отырған жылдар үшін алдын-ала алынған нәтижелерді талдай отырып, әрбір жеке көлді қолмен сандау жұмыстары жасалды.

Спектрлік шағылысу нәтижесінде кейбір көлеңкелі аймақтар мұздықтық-мореналық көл ретінде қате классификацияланды. Сол себепті, дұрыс классификацияланбаған немесе анықталмаған көлдерді Google Earth Pro кескіндерімен беттестіре отырып, салыстыру нәтижесінде түзетулер жүргізілді.

Карталау жұмыстары жасалғаннан кейін, мұздықтық-мореналық көлдердің қазіргі жағдайы мен даму динамикасын бағалау мақсатында инвентаризацияны әзірлеу үшін әрбір көлге атрибут ретінде келесі сипаттамалар берілді:

зерттеу ауданындағы мұздықтық-мореналық көлдерінің атауы;

зерттеу ауданындағы мұздықтық-мореналық көлдерінің координаталары;

зерттеу ауданындағы мұздықтық-мореналық көлдерінің биіктік белгілері, м;

зерттеу ауданындағы мұздықтық-мореналық көлдерінің ауданы, м²;

қол жеткізілген аудандық сипаттамалар келесі жіктемелік ерекшеліктер негізінде > 5000 м²; 5000-20000 м²; 20000 м², сәйкесінше, ұсақ, орташа және ірі көлдер болып бөлінді.

Зерттелініп отырған аудан үшін мұздықтық-мореналық көлдердің ауданын және т.б. сипаттамаларын қашықтықтан зондау мәліметтерін қолдана отырып дәл есептеу мүмкін емес. Есептеулерді жүргізу барысында қандай да бір қателіктер кетуі айқын. Яғни, мұздықтық-мореналық көлдердің түсірілімде берілген көріністері түсірілімдердің кеңістікті кескіндеу мүмкіндіктеріне, түсірілген уақыттағы көлдердің жағдайына (бұлт, тау жоталарының көлеңкелері немесе қар қабаттары) тәуелді болатын әртүрлі деңгейдегі дәлділікті береді.

Мақалада зерттеу ауданы үшін қателіктерді максималды азайту мақсатында маусым-тамыз айларының ғарыштық түсірілімдер пайдаланылды. Зерттеу барысында Хеншоу мен Букхаген ұсынған әдіске сәйкес [25] мұздықтық-мореналық көлдердің ауданын картаға түсірудегі қателіктер бағаланды. Бұл әдісте ауданды анықтау және өлшеудегі қателік Гаусс үлестірімін қамтиды, яғни көрсетілетін пиксельдердің ~ 69% (1σ) қателіктерге ұшырайды деген болжамға негізделген [26]. Сонымен, аудандардың қателігі келесі формуламен есептеледі:

$$Error(1\sigma) = (P/G) \cdot 0,6872 \cdot G/2, \quad (2)$$

$$E = Error(1\sigma)/A \cdot 100\%, \quad (3)$$

мұндағы P – картаға түсірілген көлдің периметрі; G – тор ұяшығының өлшемі; E – мұздықтық-мореналық көлдің салыстырмалы қателігі; A – мұздықтық-мореналық көлдің жалпы ауданы. Бұл жерде, мұздықтық-мореналық көлдердің шекарасын құрайтын пиксельдер саны көлдің периметрін тор ұяшығының өлшеміне (G) бөлу арқылы есептеледі. Пиксельдердің 69%-ы қателіктерге бейім болғандықтан, мұздықтық-мореналық көлдердің шекарасын құрайтын пиксель 0,6872 (± 1σ) көбейтіледі. Содан кейін, сан бір пиксельдің жарты ауданына көбейтіледі.

Алынған қателер шамамен 5% құрайды, бұл қашықтықтан зондтау әдістері арқылы мұздықтардың контурын бағалайтын зерттеулермен салыстыра отырып белгіленген көрсеткіш [25].

Нәтижелер. Іле Алатауы жотасындағы мұздық-мореналық көлдер санының артуы мен олардың су айдынының кеңеюі негізінен климаттың ұзақ мерзімді жылынуы және мұздық массасының кейін шегінуімен байланысты. Мұздықтық-мореналық көлдерінің саны мен көлемінің ұлғаюын климаттың ғаламдық жылынуына байланысты мұздықтардың кейін шегіну процесімен түсіндіруге болады. Мұздықтық-мореналық көлдердің өсуі мен дамуы климаттың өзгеруімен және топографиялық жағдайлармен тығыз байланысты [26]. Климаттық өзгерістерге қатысты зерттеулер көрсеткендей, Солтүстік Тянь-Шаньда температура трендтері оң, және жергілікті мұздықтардың аумағы азайып жатыр [27, 28]. Бұл жылыну, әсіресе жазғы кезеңдегі жоғары абляциямен тығыз байланысты, нәтижесінде кейін шегінген мұздықтар орнындағы мореналық шөгінділермен көмкерілген бос кеңістіктерде су жиналып, жаңа көлдердің пайда болуына жағдай жасалады. Сонымен қатар, жылыну мұз тау жыныстары аралас қоспаның беріктігін төмендетеді, яғни мореналық қабаттың тұрақсыздығына алып келеді, ал бұл, өз кезегінде, көл қалыптасуына қолайлы шарттар туғызады. Зерттеу ауданындағы жергілікті жердің климатының өзгеруін және олардың мұздықтық-мореналық көлдердің қалыптасуы мен дамуына әсерін бағалау үшін ашық ресурстағы CRU TS (Climatic Research Unit gridded Time Series) желісінен қолданылған 1978 жылдан 2020 жылға дейінгі ауа температурасының мәліметтерін талдау отырып, оның әрбір он жыл сайын $0,3\text{ }^{\circ}\text{C}$ -қа көтерілу тенденциясының бар екендігін көрсетті [29]. Температураның жоғарылауы мұздықтардың шегінуінің және Іле Алатауындағы мұздықтық-мореналық көлдердің пайда болуының және олардың су деңгейлерінің көтерілуі әсерінен зерттеліп отырған аумақта шығу-тегі гляциалды сел тасқындары қалыптасуының негізгі қозғаушы күші болып саналады [28].

Зерттеу ауданындағы мұздықтық-мореналық көлдердің кеңістіктік-уақыттық таралуы 2-кестеде келтірілген. Мореналық көлдердің кеңістіктік таралуы зерттеу уақыт аралығында 3000-3900 м қамтығандықтан, осы аралық шартты түрде 3000-3200, 3200-3400, 3400-3600, 3600-3800, 3800 м және одан да жоғары аралықты қамтитын градациялар бойынша бағаланды. Уақыттық үлестірілуі қашықтықтан зондау мәліметтерінің зерттеу ауданына қатысты бар-жоқтығына, сапасына және бұлттылық дәрежесіне байланысты келесі онжылдықтар (1978, 1990, 1999, 2013, 2021, 2025 жж.) бойынша таңдалып, сондай-ақ ғарыштық суреттерді таңдау барысында зерттеу ауданының мұздан арылу мезгілі, яғни жаз айларындағы кескіндері пайдаланылу негізінде талданды.

Іле Алатауының солтүстік беткейіндегі шығыс және орталық бөліктері бойынша 1978-2025 жылдар аралығында жүргізілген талдау мұздықтық-мореналық көлдердің санының да, олардың аудандарының да тұрақты өсу трендін көрсетеді. 2-кесте мәліметтері бойынша, зерттеу ауданындағы көлдер саны 1978 жылмен салыстырғанда 2025 жылы 2-4 есеге артқан (2-сурет). Бұл тенденция соңғы онжылдықтарда байқалған мұздықтардың қарқынды шегіну процесімен тікелей байланысты, ол Іле Алатауында 1950-жылдардан бері 30-40 % шамасында мұздық көлемінің азаюына алып келгені белгілі.

Үлкен Алматы өзен алабы бойынша 1978 жылы 7 көл тіркелсе, 2025 жылы олардың саны 26-ға жетті. Көлдер ауданы да айтарлықтай артқан: $F < 5000\text{ м}^2$ ұсақ көлдерден бастап $20\ 000\text{ м}^2$ асатын ірі көлдерге дейін барлық градацияларда өсу байқалады. Әсіресе ХХІ ғасырдың бірінші онжылдығынан ірі ($F > 20\ 000\text{ м}^2$) көлдердің пайда болуы мұздықтардың қарқынды еруінің нәтижесі болып табылады.

Талғар өзен алабы ең белсенді өзгерістермен сипатталады. 1978 жылғы 5 көлден 2025 жылы 31 көлге дейін өсім байқалды, ал жалпы ауданы 3 еседен аса артты. Мұнда ауданы $20\ 000\text{ м}^2$ үлкен көлдердің тұрақты түрде пайда болуы байқалады (3-сурет, А), бұл алаптағы мұздық аймақтарының үлкендігімен және мұздық жамылғысының қарқынды еру процестерімен түсіндіріледі. Бұл тенденция Орталық Азиядағы ең динамикалық көл жүйелерінің дәл осы Талғар жоталарында қалыптасатынын көрсететін ғылыми зерттеулермен сәйкес келеді.

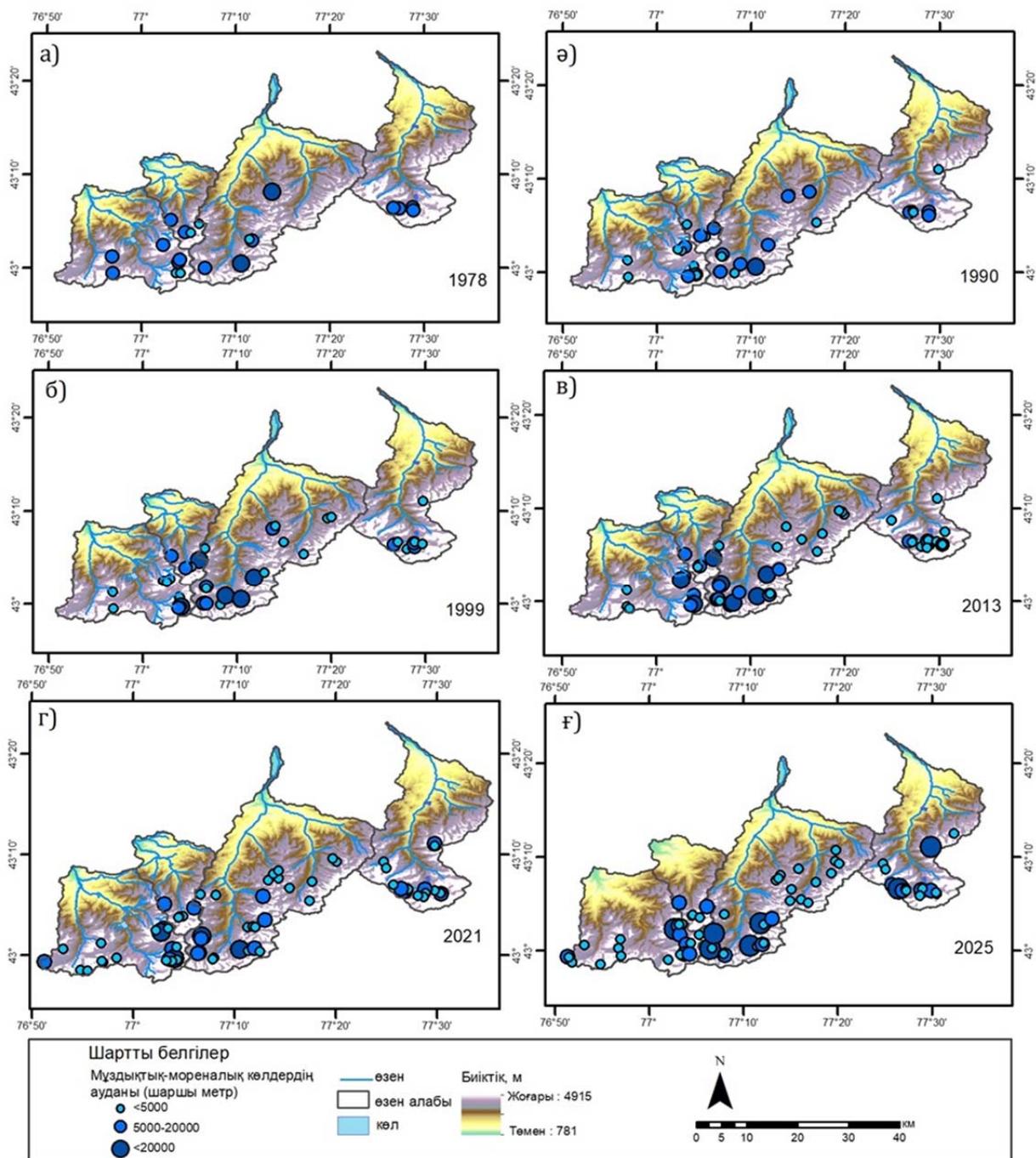
Есік және Кіші Алматы өзен алаптарында да көлдер саны біртіндеп өсуде, бірақ динамикасы Талғар және Үлкен Алматы өзен алаптарына қарағанда баяуырақ. Бұл мұздықтар ауданының салыстырмалы түрде кіші болуы [28, 30] және «Қазселденқорғау» ММ уақытылы жүзеге асырылатын алдын-алу шараларына байланысты.

2-кесте – Іле Алатауы солтүстік беткейінің орталық және шығыс бөлігіндегі мұздықтық-мореналық көлдердің кеңістіктік-уақыттық үлестірілуі

Table 2 – Spatial and temporal distribution of glacial-moraine lakes in the central and eastern parts of the northern slope of the Ile Alatau

Жыл	Зерттеу ауданы	ММК жалпы саны	Ауданы (F, м ²)						Биіктігі (H, м)				
			<5000		5000-20000		20000<		3000-3200	3200-3400	3400-3600	3600-3800	3800<
			саны (N)	F, м ²	саны (N)	F, м ²	саны (N)	F, м ²					
1978	Үлкен Алматы	7	2	5400	5	47 600	–	–	–	–	4	3	–
	Кіші Алматы	4	1	1800	3	24 800	–	–	–	2	2	–	–
	Талғар	5	2	5700	1	7400	2	51 600	–	1	2	2	–
	Есік	4	–	–	4	48 600	–	–	–	1	2	1	–
1990	Үлкен Алматы	9	6	17 500	3	31 100	–	–	–	1	4	4	–
	Кіші Алматы	4	2	4650	2	18 600	–	–	–	2	1	1	–
	Талғар	15	8	20 500	6	57 900	1	66 100	–	5	6	3	1
	Есік	7	4	9350	3	44 250	–	–	–	2	3	2	–
1999	Үлкен Алматы	10	8	20 400	1	6100	1	22 950	–	–	6	4	–
	Кіші Алматы	5	2	3800	2	11 400	1	20 800	–	3	1	1	–
	Талғар	20	13	30 300	4	30 250	3	114 250	–	8	7	5	–
	Есік	8	5	9800	3	38 700	–	–	–	2	4	2	–
2013	Үлкен Алматы	11	6	11 250	3	44 200	2	61 750	–	–	5	6	–
	Кіші Алматы	4	1	2700	2	17 300	1	22 450	–	1	2	1	–
	Талғар	23	12	28 800	7	73 850	4	153 800	2	7	8	6	–
	Есік	14	10	19 600	4	42 300	–	–	–	2	10	2	–
2021	Үлкен Алматы	21	14	26 400	5	52 950	2	76 550	–	–	7	13	1
	Кіші Алматы	5	3	6900	2	21 600	–	–	–	1	3	1	–
	Талғар	29	21	44 300	6	66 750	2	103 850	1	10	9	8	1
	Есік	22	17	30 000	5	74 650	–	–	–	3	13	5	1
2025	Үлкен Алматы	26	18	43 597	7	79 278	1	37 472	–	–	12	11	3
	Кіші Алматы	5	3	8037	2	23 651	–	–	–	2	3	–	–
	Талғар	31	23	39 888	4	38 258	4	178 035	2	7	14	6	2
	Есік	20	12	18 741	5	47 163	1	22 332	–	4	9	4	1

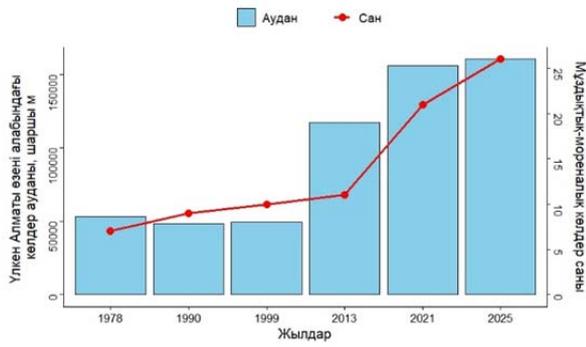
Зерттеу ауданындағы мұздықтық-мореналық көлдердің кеңістіктік таралуы негізінен 3000-3900 м биіктік аралығында шоғырланғанын көрсетеді. Бұл биіктік белдеуі соңғы 50 жылда мұздықтардың белсенді түрде шегіну аймақтарына сәйкес келеді. Мысалы, 3000-3200 м биіктік аралығында 1978-1990 жж. қарағанда 2000 жылдан кейін көлдердің саны арта түскен. Мұны мореналардың мұздан толық арылуы және су жинау қазаншұңқырларының тұрақтануымен түсіндіруге болады. 3200-3400 м және 3400-3600 м аралықтары барлық кезеңдерде ең көп көлдер шоғырланған аралық болып табылады. Ірі көлемді ($F > 20\,000\text{ м}^2$) көлдердің басым бөлігі осы биіктіктерде кездеседі. Ал 3600-3800 м аралығы да соңғы онжылдықта белсенді көл қалыптасушы аймаққа айналды, әсіресе Талғар мен Үлкен Алматы өзен алаптары үшін. 3800 м-ден жоғары аймақтарда көлдердің пайда болуы тек 1999 жылдан кейін байқалады (3-сурет, Ә).



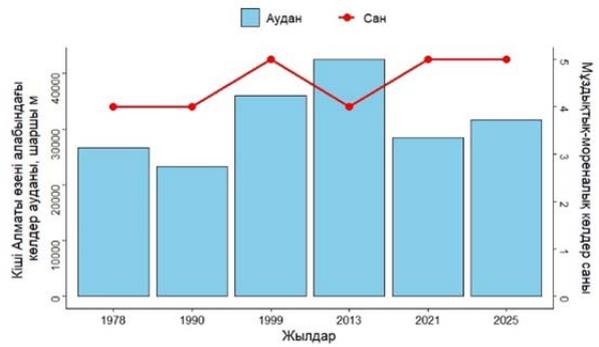
2-сурет – Зерттеу ауданындағы өзен алаптары бойынша 1978-2025 жж. аралығындағы мұздықтық-мореналық көлдердің кеңістіктік-уақыттық таралуы

Figure 2 – Spatiotemporal distribution of glacial-moraine lakes along river massifs in the study area from 1978 to 2025

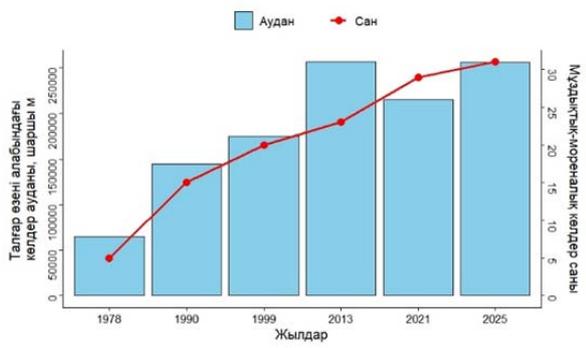
A



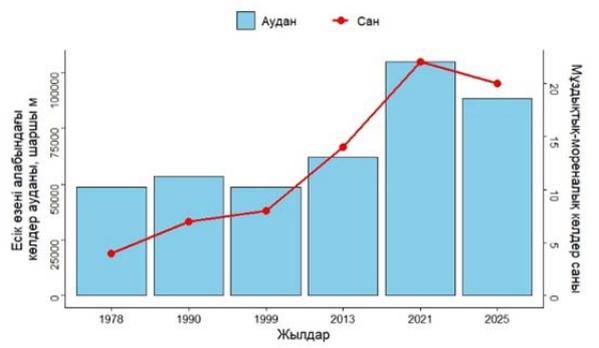
а



ә

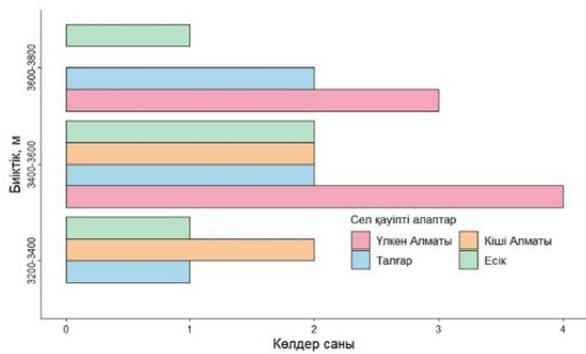


б

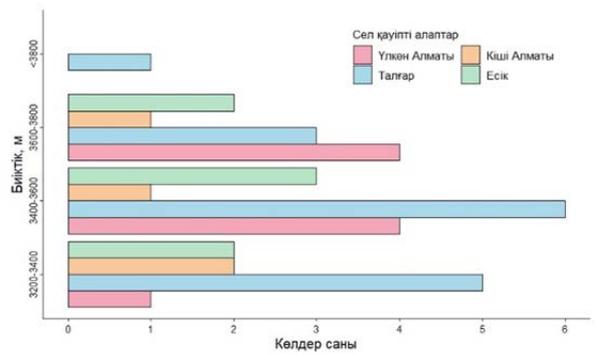


в

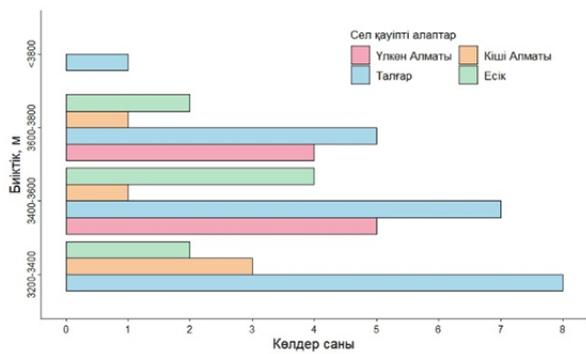
Ә



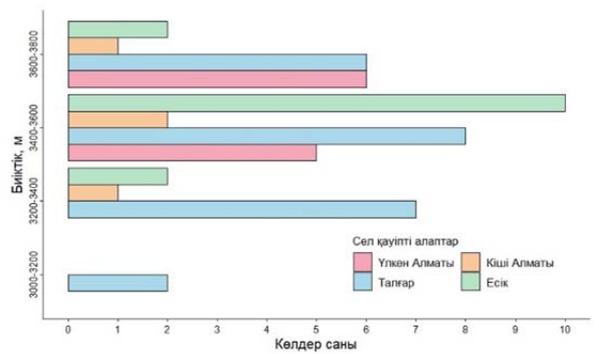
1978



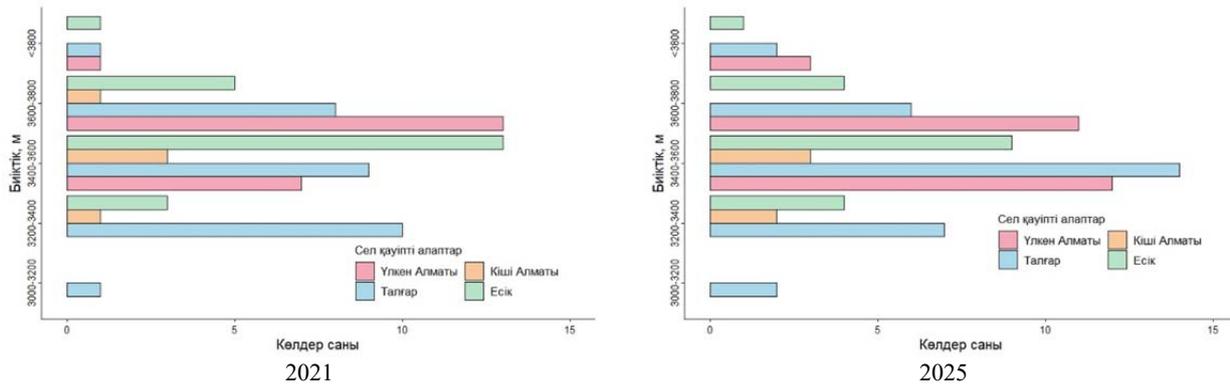
1990



1999



2013



3-сурет – Зерттеу ауданындағы мұздықтық-мореналық көлдердің 1978-2025 жж. аралығында:
А – ауданы бойынша өзгеруі; Ә – биіктігі бойынша таралуы

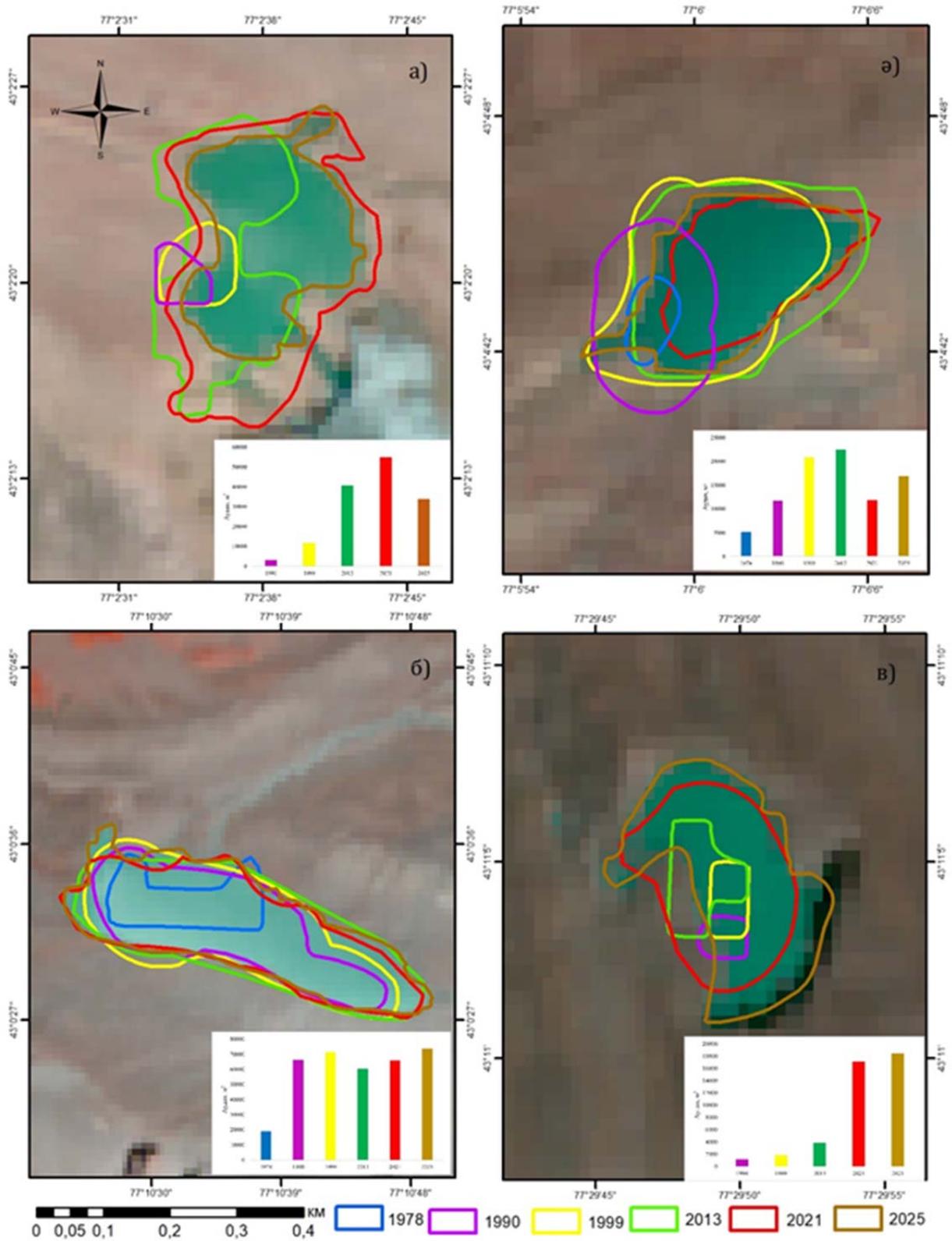
Figure 3 – Distribution of glacial-moraine lakes in the study area by area A – and height B – from 1978 to 2025

Келтірілген суреттер бойынша, Іле Алатауының солтүстік беткейі орталық және шығыс бөліктеріндегі бірнеше мұздықтық-мореналық көлдердің ауданы артып, сел қауіптілігін төндіріп отыр. Қазіргі таңда сел қауіптілігін төндіретін мұздықтық-мореналық көлдердің ақтарылуының алдын алу мақсатында жүргізілетін жұмыстардың бірі – алдын-алу шаралары. «Қазселденқорғау» ММ-нің басшылығымен жүргізілетін превентивті жұмыстардың 3 негізгі әдісі бар – сифондар әдісі, эвакуациялық канал қазу арқылы су жіберу және кешенді әдіс. Қазіргі уақытта мұздықтық-мореналық көлдер толысып, ақтарылу қауіптілігі төнген жағдайда қауіптіліктің алдын-алу мақсатында «Каселденқорғау» ММ ұйымдастырылған превентивті жұмыстар уақытылы жүргізіледі. Сол себептен де мұздықтардың қарқынды еруімен байланысты мореналық көлдердің саны артқанымен, аудандық көрсеткіштерінің тербелісі, уақытылы жүргізілетін превентивті шаралардың нәтижесі.

Превентивті жұмыстар жүргізілген көлдердің бірі Кіші Алматы өзен алабында қалыптасу қарқындылығымен ерекшеленетін №6 мұздықтық-мореналық көлі болып табылады. Кіші Алматы өзен алабының жоғарғы ағысында шоғырланған №6 мұздықтық-мореналық көлі 3580 м биіктікте М. Маметова мұздығының тілінде орналасқан. Зерттеліп отырған мұздықтық-мореналық көл өткен ғасырдың 50 жылдарынан бастап қалыптаса бастап, оның интенсивті толысуы 1970 жылдары байқалған. Көлдің мореналық кешенінің енділігіне және орналасу жеріне байланысты ақтарылу қаупін тудырғандықтан, 1976 жылдары көл қазаншұңқырларында су деңгейін төмендету жұмыстары жүзеге асырылған. 1976-1978 жылдар аралығында жүзеге асырылған превентивті шаралар нәтижесінде көлдегі судың деңгейі 3,4 м-ге төмендетілген. «Қазселденқорғау» ММ-нің барлау жұмыстарының қорытындылары бойынша 1978 жылы көлдің ауданы 4280 м² болса, ғарыштық түсірілімді өңдеу бойынша 1990 жылы 11734,7 м², 1999 жылы 20807,4 м² құраған. Ал 2013 жылы оның ауданы 22458,6 м² өссе, 2021 жылы 11877 м²-ге азайып, 2025 жылы қайтадан 16 901 м² дейін ұлғаяды (4-сурет, б). Көл ауданының өзгеруі «Қазселденқорғау» ММ жүргізетін превентивті жұмыстарымен түсіндіріледі.

Демек, зерттеу ауданындағы мұздықтармен қоректенетін көлдер негізінен мұздықтардың шегінуіне байланысты дамиды және өседі деп қорытынды жасауға болады. Зерттеліп отырған аудандағы мұздықтық-мореналық көлдердің 97% мұздықтармен қоректенеді, олардың ішінде 13 көл мұздықтармен тікелей байланысты, ал 10 көл мұздықтармен жанама байланыста орналасқан.

Көл өлшемдерінің дәлдігіне әртүрлі кеңістікті кескіндеу мүмкіндігі, түсірілімдердің алынған күні, оның түсірілу бұрышы, геометриялық және радиометриялық түзетулер және карталау әдістері әсер етеді. Мұздықтық-мореналық көлдерінің ауданын анықтау кезінде орын алған орташа қателік 2,6-13 % құрайды. Қателік периметрге көбейтілген жарты пиксельді қолдану арқылы бағаланғандықтан, кішігірім мұздықтық-мореналық көлдер үшін қателік жоғары болды.



4-сурет – Мұздықтық-мореналық көлдердің уақыттық үлестірілуі (1978-2025 жж. аралығындағы 10-жылдықтар бойынша): а – 13-бис көлі (Үлкен Алматы өзен алабы); ә – №6 көл (Кіші Алматы өзен алабы); б – №8 көл (Талғар өзен алабы); в – №23 көл (Есік өзені алабы)

Figure 4 – Temporal distribution of glacial-moraine lakes (by decades from 1978 to 2025): а – Lake 13-bis (Ulken Almaty River basin); б – Lake No. 6 (Kishi Almaty River basin); в – Lake No. 8 (Talgar River basin); d – Lake No. 23 (Esik River basin).

Талқылау. Іле Алатауының солтүстік беткейіндегі мұздықтық-мореналық көлдердің кеңістіктік-уақыттық динамикасы зерттелген кезең ішінде айқын өзгерістерге ие болды. Кесте мәліметтері көрсеткендей, 1978-2025 жылдар аралығында көлдердің санының артуымен қатар, олардың аудандарында да бағытталмаған, тербелмелі өзгеріс байқалады. Бұл өзгерістердің негізгі себебі ретінде соңғы онжылдықтардағы мұздықтардың қарқынды еруін атауға болады. Шағын және орта көлемді цирктік мұздықтардың шегінуі оларға жақын орналасқан мұздықтық мореналық көлдердің ауданының ұлғаюына жағдай жасап, жаңа немесе ұлғайған көл қазаншұңқырларының пайда болуына алып келді.

1978-2025 жылдар аралығында Іле Алатауының солтүстік беткейіндегі мұздықтық-мореналық көлдердің саны мен ауданының өсуі аймақтың қарқынды мұздық деградациясын көрсетеді. Зерттеу нәтижелеріне сәйкес, ең айқын өзгерістер Талғар алабында байқалды. Бұл алап Іле Алатауындағы ең ірі мұздық массивтерімен сипатталады. Мұнда көл аудандарының үш еседен астам ұлғаюы мұздықтардың жедел абляциясы мен мұздан босанған мореналық материалдың көлемінің артуымен байланысты. Бұл үрдіс Солтүстік Тянь-Шаньдағы басқа зерттеулермен де расталады [1, 3, 15, 21].

Керісінше, Кіші Алматы және Есік алаптарында көлдердің ауданы мен саны біршама баяу өзгерген. Бұл алаптардың мұздық ауданы салыстырмалы түрде шағын және біршама оқшауланған цирктік мұздықтармен шектеледі. Соған қарамастан, мұнда да 2013 жылдан кейін көлдердің тұрақты түрде ұлғаюы байқалып, климаттық жылынудың әсері айқындалды. Алайда зерттеу нәтижелері көлдердің өзгерісі тек табиғи климаттық факторлармен шектелмейтінін көрсетеді. Жекелеген көлдердің ауданының азаюы немесе тұрақтануы инженерлік шаралармен байланысты. «Қазселденқорғау» ММ тарапынан сел қауіптілігі жоғары көлдерге жүргізілетін превентивті жұмыстар мұнда маңызды реттеуші рөл атқарады. Атап айтқанда, қазіргі кезде көлдердің шамадан тыс толуы және кенеттен ақтарылуы сифон орнату арқылы су деңгейін төмендету, эвакуациялық каналдар арқылы суды қауіпсіз өтімдермен босату, сондай-ақ кешенді инженерлік тәсілдерді қолдану арқылы реттелуде [10]. Осы шаралардың уақытылы іске асуы көлдердің аудандық мәндерінің табиғи түрде ұлғаю тенденциясын бәсеңдетіп, кей жағдайларда олардың кішіреюіне де ықпал етіп отыр.

Сондықтан мұздықтардың еруімен байланысты көл саны артқанымен, олардың аудандарының бірқалыпты емес динамикасы табиғи процестерге және қауіптің алдын алу шараларының уақытылы жүзеге асырылуына тәуелді. Бұл ерекшелік Іле Алатауы жағдайында көлдердің дамуы тек климаттық тенденцияларға тәуелді емес, сонымен қатар аймақтағы селден қорғау жүйесінің тиімділігімен тікелей байланысты екенін көрсетеді.

Зерттеу нәтижелері сондай-ақ биіктік белдеулеріне байланысты көлдердің тұрақтылығы мен қауіптілік деңгейі айтарлықтай ерекшеленетінін көрсетті. 3200-3600 м аралығындағы көлдер климаттық өзгерістерге тәуелді екендігі анықталды, ал 3600 м-ден жоғары орналасқан жаңадан пайда болған тұрақсыз көлдер ауданы соңғы жылдары елеулі өзгерістерге ұшырауда, сондықтан олардың нақты өзгерісін бағалауда табиғи процестер мен инженерлік реттеу шараларының әсерін ажырата қарастыру қажет.

Жалпы алғанда, алынған нәтижелер мұздықтық-мореналық көлдердің кеңістіктік-уақыттық динамикасы климаттық жылыну жағдайында күшейіп келе жатқанын, алайда олардың қауіптілігін басқару аймақта жүргізілетін инженерлік шаралармен тиімді түрде реттелетінін көрсетеді. Сондықтан мұндай көлдер табиғи жағдайдың индикаторы ғана емес, сонымен бірге селден қорғау стратегияларының тиімділігін бағалауға мүмкіндік беретін маңызды объект болып табылады.

Қорытынды. Іле Алатауының солтүстік беткейінің орталық және шығыс бөлігіндегі 82 мұздықтық-мореналық көлдің кеңістіктік-уақыттық өзгерістерін және олардың даму ерекшеліктерін анықтау мақсатында жүргізілді. Зерттеу ауданындағы көлдер 3000-3900 м биіктік белдеуінде шоғырланған және 1978-2025 жылдар аралығындағы кеңістікті кескіндеу мүмкіндігі орташа және жоғары қашықтықтан зондтау мәліметтері негізінде талданды. Зерттелген кезең ішінде көлдердің саны мен жалпы ауданы барлық алаптарда айтарлықтай өсті. Мысалы, Талғар өзені алабында 1978 жылы 5 көл тіркелсе, 2025 жылы олардың саны 31-ге жетіп, ауданы 64 700 м²-ден 256 181 м²-ге дейін ұлғайды. Үлкен Алматы өзені алабында көлдер саны 7-ден 26-ға дейін өсіп, ауданы 53 000 м²-ден 160 000 м²-қа жеткен. Ал Кіші Алматы және Есік алаптарында өсім салыстырмалы түрде баяу болып, Кіші Алматыда 4-тен 5-ке, ауданы 26 600 м²-ден 31 688 м²-ге, Есік алабында

4-тен 20-ға, ауданы 48 600 м²-ден 88 236 м²-ге дейін артқан. Бұл көрсеткіштер алаптар бойынша мұздық аудандарының салыстырмалы көлемімен толық сәйкес келеді: Талғар және Үлкен Алматы өзен алаптарында мұздық көлемі үлкен болса, Кіші Алматы мен Есік алаптарындағы мұздық көлемі орташа және шағын болып келеді.

Көлдердің биіктік бойынша таралуы да уақыт ішінде өзгеріске ұшырады. 1978 жылы көпшілік көлдер 3200-3600 м аралығында шоғырланған болса, 2025 жылы 3600-3800 м және одан жоғары биіктіктерде жаңа көлдер пайда болған. Бұл мұздықтардың шегінуі мен мореналық қабаттардың босануына байланысты жаңа көл қазаншұңқырларының пайда болуын көрсетеді. Сонымен қатар, көлдердің саны, ауданы мен биіктік бойынша өзгеруі гидрологиялық, метеорологиялық, геоморфологиялық және геологиялық факторларға тәуелділігін сақтап отыр.

Мұздықтық-мореналық көлдер биік таулы мұздықтық-мореналық кешендегі күрделі химиялық және физикалық процестердің көрінісі болып табылады. Олар қалыптасып, дамып, кейде көл байламдары арқылы ақтарылады немесе деградацияға ұшырайды, нәтижесінде төмен жатқан аудандарда сел қауіптілігі артады. Сондықтан мұздықтық-мореналық көлдерді үздіксіз бақылау мен мониторинг объектісі ретінде қарастыру аса маңызды. Мұздықтық-мореналық көлдердің ақтарылуы Алматы, Талғар, Есік қалаларына, айтарлықтай қауіп төндіруі мүмкін.

Осыған орай, ММК қалыптасу жағдайларын, олардың уақыт бойынша өзгеруін және даму перспективаларын жүйелі түрде зерттеу қауіпті экзогенді процестердің алдын алу мен сел қауіпін басқару мәселелерінде шешуші рөл атқарады.

Қорытындылай келе, мұздықтық-мореналық көлдердің қалыптасуы, олардың даму динамикасы және қарқындылығы климаттың өзгеруі әсерінен мұздықтардың кейін шегінуімен тікелей байланысты екендігі айқын болып отыр. Сонымен қатар, мұздықтар массасының жоғалту темпі соңғы он жылда ұлғайған. Және де мұздықтардың кейін шегінуі әсерінен пайда болатын қауіпті экзогендік процестер климаттың жылынуы салдарынан жиі, әрі апатты болуы мүмкін.

Қаржыландыру. Бұл зерттеу Қазақстан Республикасы Ғылым және жоғары білім министрлігі Ғылым комитетінің қаржылық қолдауымен орындалды. Зерттеу нәтижелері екі ғылыми жоба аясында алынған мәліметтерге негізделді: Жастарға арналған гранттық қаржыландыру конкурсы аясында орындалатын «Іле Алатауының шығыс бөлігіндегі мұздықтық-мореналық көлдерінің ақтарылу қауіптілігін бақылау мен бағалауға арналған аймақтық геоақпараттық жүйені әзірлеу» (ЖТН АР27511595) жобасы бойынша Есік және Талғар өзен алаптарындағы мұздықтық-мореналық көлдердің кеңістіктік-уақыттық таралуы талданды, ал бағдарламалық-мақсатты қаржыландыру бойынша жүзеге асырылатын «Іле және Күнгей Алатауы беткейлері өзен алаптарындағы аса қауіпті мореналық көлдер қауіпін басқарудың кешенді жүйесін әзірлеу» (ЖТН BR28713751) жобасы аясында Кіші Алматы және Үлкен Алматы өзен алаптарындағы мұздықтық-мореналық көлдердің кеңістіктік-уақыттық өзгерістері зерттелді.

ӘДЕБИЕТ

- [1] Usmanova Z., Shahgedanova M., Severskiy I., Nosenko G., Kapitsa V. Assessment of glacier area change in the Tekes River Basin, Central Tien Shan, Kazakhstan between 1976 and 2013 using Landsat and KH-9 imagery // *The Cryosphere Discussions*. Preprint. – 2016. – DOI: 10.5194/tc-2016-82
- [2] Saidaliyeva Z., Shahgedanova M., Yapiyev V., Wade A. J., Akbarov F., Esenaman uulu M., Kalashnikova O., Kapitsa V., Kasatkin N., Rakhimov I., Satylkanov R., Sayakbaev D., Semakova E., Severskiy I., Petrov M., Umirzakov G., Usubaliyev R. Precipitation in the mountains of Central Asia: isotopic composition and source regions // *Atmospheric Chemistry and Physics*. – 2024. – Vol. 24. – P. 12203-12224. DOI: 10.5194/acp-24-12203-2024
- [3] Severskiy I., Vilesov E., Armstrong R., Kokarev A., Kogutenko L., Usmanova Z., Morozova V., Raup B. Changes in glaciation of the Balkhash–Alakol Basin, Central Asia, over recent decades // *Annals of Glaciology*. – 2016. – Vol. 57, No. 71. – P. 382-394. DOI: 10.3189/2016Aog71A575
- [4] Медеуов А., Колотилин Н.Ф., Кремкулов В.А. Сели Казахстана. – Алматы: Ғылым, 1993. – 160 с.
- [5] Виноградов Ю. Б. Гляциальные прорывные паводки и селевые потоки. – Алматы: Гидрометеоздат, 1997. – 156 с.
- [6] Kinzi H. La glaciación actual y pleistocénica en los Andes Centrales // *Colloquium Geographicum. Geoecología de las regiones montañosas de las Américas Tropicales*. – 1981. – Vol. 9. – P. 1-27.
- [7] Knudsen T. V. Drainage of an ice-dammed lake, Okstindan, Nordland, Norway // *Norsk Geografisk Tidsskrift – Norwegian Journal of Geography*. – 1978. – Vol. 32, No. 2. – P. 55-61. DOI: 10.1080/00291957808552026
- [8] Libouty L. Les catastrophes glaciaires // «*La Recherche*». – Mai 1971. – Vol. 2, No. 12. – P. 417-423.
- [9] Медеу А. Р., Благовещенский В. П., Баймолдаев Т. А., Киренская Т. Л., Степанов Б. С. Селевые явления Юго-Восточного Казахстана. – Алматы: Институт географии, 2018. – Т. 2, ч. 2. Основы мониторинга в Иле Алатау. – 288 с.

- [10] Баймолдаев Т., Виноходов В. Н. «Казселезашита» – оперативные меры до и после стихии. – Алматы: Бастау, 2007. – 284 с.
- [11] Медеу А.Р. Селевые явления Юго-Восточного Казахстана. Основы управления. Алматы, 2011. – Т. 1. – 284 с.
- [12] Mussina A. K., Abdullayeva A. S., Barandun M. The importance of conducting research methods to assess the state of glacial-moraine lakes // *News of the National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan. Series of Geology and Technical Sciences.* – 2022. – Vol. 6, No. 456. – P. 147-155. DOI: 10.32014/2518-170X.245
- [13] Raj K. B. G., Remya S. N., Kumar K. V. Remote sensing-based hazard assessment of glacial lakes in Sikkim Himalaya // *Current Science.* – 2013. – P. 359-364. URL: <https://www.jstor.org/stable/24089638>
- [14] Mussina, A. K., Zhanabayeva, Z. A. GIS-technology in the management of mudflow risk // *Journal of Geography and Environmental Management.* – 2016. – Vol. 42, No. 1. URL: <https://bulletin-geography.kaznu.kz/index.php/1-geo/article/view/293>
- [15] Zhang M., Chen F., Guo H., Yi L., Zeng J., Li B. Glacial lake area changes in High Mountain Asia during 1990–2020 using satellite remote sensing // *Research (Washington, D.C.).* – 2022. – Article ID 9821275. DOI: 10.34133/2022/9821275
- [16] К.К. Дускаев, А.Г. Чигринец, А.К. Мусина, Ж.А. Жанабаева, С.Т. Ахметова, Е.К. Ермаш. Оценка максимальных расходов воды рек города Алматы // *Гидрометеорология и экология.* – 2019. – № 2. – С. 96-110. URL: <https://journal.kazhydromet.kz/kazgidro/article/view/770>
- [17] Shahgedanova M., Afzal M., Hagg W., Kapitsa V., Kasatkin N., Mayr E., Rybak O., Saidaliyeva Z., Severskiy I., Usmanova Z. et al. Emptying Water Towers? Impacts of Future Climate and Glacier Change on River Discharge in the Northern Tien Shan, Central Asia // *Water.* – 2020. – Vol. 12, No. 3. – Article 627. <https://doi.org/10.3390/w12030627>
- [18] Яфязова Р.К. Природа селей Заилийского Алатау. Проблемы адаптации. – Алматы, 2007. – 158 с.
- [19] Медеу А.Р. Атлас природных и техногенных опасностей и рисков чрезвычайных ситуаций. – Алматы: Институт географии, 2009.
- [20] Ауелхан Е. С., Кулбекова Ш. А., Бостаева А. К., Касенов М. К., Заппаров М. Р. Критерии прорывоопасности моренно-ледниковых озер: научно-методологическое обоснование / Ред. А. Баймуканова. – Алматы: Мектеп, 2023. – 181, [2] с.: ил. – ISBN 978-601-07-1657-5.
- [21] Shrestha F., Gao X., Khanal N. R. et al. Decadal glacial lake changes in the Koshi basin, central Himalaya, from 1977 to 2010, derived from Landsat satellite images // *J. Mt. Sci.* – 2017. – Vol. 14. – P. 1969-1984. – <https://doi.org/10.1007/s11629-016-4230-x>
- [22] McFeeters S. K. The use of the Normalized Difference Water Index (NDWI) in the delineation of open water features // *International Journal of Remote Sensing.* – 1996. – Vol. 17, No. 7. – P. 1425-1432. <https://doi.org/10.1080/01431169608948714>
- [23] Fisher A., Flood N., Danaher T. Comparing Landsat water index methods for automated water classification in eastern Australia // *Remote Sensing of Environment.* – 2016. – Vol. 175. – P. 167-182. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2015.12.055>
- [24] Muneeb F., Baig S. U., Khan J. A., Khokhar M. F. Inventory and GLOF susceptibility of glacial lakes in Hunza River Basin, Western Karakorum // *Remote Sensing.* – 2021. – Vol. 13, No. 9. – P. 1794. <https://doi.org/10.3390/rs13091794>
- [25] Hanshaw M. N., Bookhagen B. Glacial areas, lake areas, and snow lines from 1975 to 2012: status of the Cordillera Vilcanota, including the Quelccaya Ice Cap, northern central Andes, Peru // *The Cryosphere.* – 2014. – Vol. 8. – P. 359-376. <https://doi.org/10.5194/tc-8-359-2014>
- [26] Prakash C., Nagarajan R. Glacial lake inventory and evolution in northwestern Indian Himalaya // *IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing.* – 2017. – Vol. 10, No. 12. – P. 5284-5294. <https://doi.org/10.1109/JSTARS.2017.2767098>
- [27] Сағат М. С., Сыдық Н. Қ., Искалиева Г. М., Мерекеев А. А., Амангелді А. А., Абишев Б. Ж. Іле-Алатауының қол жетпейтін аудандарындағы морена көлдерінің жағдайын қашықтықтан зондау деректерін пайдалана отырып бағалау // *Ғылым және білім.* – 2025. – Т. 5, № 3(80). – Б. 295-307. <https://doi.org/10.52578/2305-9397-2025-3-5-295-307>
- [28] Bolch T., Peters J., Yegorov A., Pradhan B., Buchroithner M., Blagoveshchensky V. Identification of potentially dangerous glacial lakes in the northern Tien Shan // *Natural Hazards.* – 2011. – Vol. 59. – P. 1691-1714. <https://doi.org/10.1007/s11069-011-9860-2>
- [29] Mussina A., Abdullayeva A., Barandun M., Ciccoira A., Tursyngali M. Assessment of the current state and temporal changes of glacial-moraine lakes in the Central and Eastern part of the northern slope of the Ile Alatau, Kazakhstan // *Journal of Water and Land Development.* – 2024. – Vol. 63. – P. 19-24. <https://doi.org/10.24425/jwld.2024.151786>
- [30] Вилесов Е.Н. Изменение размеров и состояния ледников Казахстана за 60 лет (1955–2015 гг.) // *Лёд и Снег.* – 2018. – С. 159-170. <https://doi.org/10.15356/2076-6734-2018-2-159-170>

REFERENCES

- [1] Usmanova Z., Shahgedanova M., Severskiy I., Nosenko G., Kapitsa V. Assessment of glacier area change in the Tekes River Basin, Central Tien Shan, Kazakhstan between 1976 and 2013 using Landsat and KH-9 imagery // *The Cryosphere Discussions.* Preprint. 2016. DOI: 10.5194/tc-2016-82.
- [2] Saidaliyeva Z., Shahgedanova M., Yapiyev V., Wade A. J., Akbarov F., Esenaman uulu M., Kalashnikova O., Kapitsa V., Kasatkin N., Rakhimov I., Satylkanov R., Sayakbaev D., Semakova E., Severskiy I., Petrov M., Umirzakov G., Usabaliev R. Precipitation in the mountains of Central Asia: isotopic composition and source regions // *Atmospheric Chemistry and Physics.* 2024. Vol. 24. P. 12203-12224. DOI: 10.5194/acp-24-12203-2024.
- [3] Severskiy I., Vilesov E., Armstrong R., Kokarev A., Kogutenko L., Usmanova Z., Morozova V., Raup B. Changes in glaciation of the Balkhash–Alakol Basin, Central Asia, over recent decades // *Annals of Glaciology.* 2016. Vol. 57, No. 71. P. 382-394. DOI: 10.3189/2016AoG71A575.
- [4] Medeuov A., Kolotilin N. F., Kremkulov V. A. Mudflows of Kazakhstan. Almaty: Gylym, 1993. 160 p. (in Russ.).

- [5] Vinogradov Yu. B. Glacial Outburst Floods and Mudflows. Almaty: Gidrometeoizdat, 1997. 156 p. (in Russ.).
- [6] Kinzi H. La glaciación actual y pleistocénica en los Andes Centrales // *Colloquium Geographicum. Geoecología de las regiones montañosas de las Américas Tropicales*. 1981. Vol. 9. P. 1-27.
- [7] Knudsen T. V. Drainage of an ice-dammed lake, Okstindan, Nordland, Norway // *Norsk Geografisk Tidsskrift – Norwegian Journal of Geography*. 1978. Vol. 32, No. 2. P. 55-61. DOI: 10.1080/00291957808552026.
- [8] Liboutry L. Les catastrophes glaciaires // «La Recherche», Mai 1971. Vol. 2, No. 12. P. 417-423.
- [9] Medeu A. R., Blagoveshchensky V. P., Baimoldayev T. A., Kirenskaya T. L., Stepanov B. S. Mudflow Phenomena of South-Eastern Kazakhstan. Almaty: Institute of Geography, Part 2. Fundamentals of Monitoring in the Ile Alatau. 2018. Vol. 2, 288 p. (in Russ.).
- [10] Baimoldayev T., Vinokhodov V. N. “Kazselezashchita” – Operational Measures Before and After Natural Hazards. Almaty: Bastau, 2007. 284 p. (in Russ.).
- [11] Medeu A. R. Mudflow Phenomena of South-Eastern Kazakhstan. Fundamentals of Management. Almaty, 2011. Vol. 1. 284 p. (in Russ.).
- [12] Mussina A. K., Abdullayeva A. S., Barandun M. The importance of conducting research methods to assess the state of glacial-moraine lakes // *News of the National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan. Series of Geology and Technical Sciences*. 2022. Vol. 6, No. 456. P. 147-155. DOI: 10.32014/2518-170X.245.
- [13] Raj K. B. G., Remya S. N., Kumar K. V. Remote sensing-based hazard assessment of glacial lakes in Sikkim Himalaya // *Current Science*. 2013. P. 359-364. URL: <https://www.jstor.org/stable/24089638>
- [14] Mussina, A. K., Zhanabayeva, Z. A. GIS-technology in the management of mudflow risk // *Journal of Geography and Environmental Management*. 2016. Vol. 42, No. 1. URL: <https://bulletin-geography.kaznu.kz/index.php/1-geo/article/view/293>
- [15] Zhang M., Chen F., Guo H., Yi L., Zeng J., Li B. Glacial lake area changes in High Mountain Asia during 1990–2020 using satellite remote sensing // *Research (Washington, D.C.)*. 2022. Article ID 9821275. DOI: 10.34133/2022/9821275.
- [16] Duskayev K. K., Chigrinets A. G., Mussina A. K., Zhanabaeva Zh. A., Akhmetova S. T., Yermash E. K. Assessment of Maximum Water Discharges of Rivers in Almaty City // *Hydrometeorology and Ecology*. 2019. No. 2. P. 96-110. URL: <https://journal.kazhydromet.kz/kazgidro/article/view/770> (in Russ.).
- [17] Shahgedanova M., Afzal M., Hagg W., Kapitsa V., Kasatkin N., Mayr E., Rybak O., Saidaliyeva Z., Severskiy I., Usmanova Z. et al. Emptying Water Towers? Impacts of Future Climate and Glacier Change on River Discharge in the Northern Tien Shan, Central Asia // *Water*. 2020. Vol. 12, No. 3. Article 627. <https://doi.org/10.3390/w12030627>
- [18] Yafiazova R. K. The Nature of Mudflows in the Zailiysky Alatau: Adaptation Issues. Almaty, 2007. 158 p. (in Russ.)
- [19] Medeu A. R. Atlas of Natural and Technogenic Hazards and Emergency Risks. Almaty: Institute of Geography, 2009 (in Russ.).
- [20] Auelkhan E. S., Kulbekova Sh. A., Bostaeva A. K., Kasenov M. K., Zapparov M. R. Criteria for the hazard of moraine-glacial lakes: scientific and methodological justification / Ed. A. Baymukanova. Almaty: Mektep, 2023. 181 p. ISBN 978-601-07-1657-5 (in Russ.).
- [21] Shrestha F., Gao X., Khanal N. R. et al. Decadal glacial lake changes in the Koshi basin, central Himalaya, from 1977 to 2010, derived from Landsat satellite images // *J. Mt. Sci.* 2017. Vol. 14. P. 1969-1984. <https://doi.org/10.1007/s11629-016-4230-x>
- [22] McFeeters S. K. The use of the Normalized Difference Water Index (NDWI) in the delineation of open water features // *International Journal of Remote Sensing* 1996. Vol. 17, No. 7. P. 1425-1432. <https://doi.org/10.1080/01431169608948714>
- [23] Fisher A., Flood N., Danaher T. Comparing Landsat water index methods for automated water classification in eastern Australia // *Remote Sensing of Environment*. 2016. Vol. 175. P. 167-182. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2015.12.055>
- [24] Muneeb F., Baig S. U., Khan J. A., Khokhar M. F. Inventory and GLOF susceptibility of glacial lakes in Hunza River Basin, Western Karakorum // *Remote Sensing*. 2021. Vol. 13, No. 9. P. 1794. <https://doi.org/10.3390/rs13091794>
- [25] Hanshaw M. N., Bookhagen B. Glacial areas, lake areas, and snow lines from 1975 to 2012: status of the Cordillera Vilcanota, including the Quelccaya Ice Cap, northern central Andes, Peru // *The Cryosphere*. 2014. Vol. 8. P. 359-376. <https://doi.org/10.5194/tc-8-359-2014>
- [26] Prakash C., Nagarajan R. Glacial lake inventory and evolution in northwestern Indian Himalaya // *IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing*. 2017. Vol. 10, No. 12. P. 5284-5294. <https://doi.org/10.1109/JSTARS.2017.2767098>
- [27] Sagat M. S., Sydyk N. K., Iskalieva G. M., Merekeev A. A., Amangeldi A. A., Abishev B. Zh. Assessment of the condition of moraine lakes in remote areas of the Ile-Alatau using remote sensing data // *Science and Education*. 2025. Vol. 5, No. 3(80). P. 295-307. <https://doi.org/10.52578/2305-9397-2025-3-5-295-307> (in Kaz.).
- [28] Bolch T., Peters J., Yegorov A., Pradhan B., Buchroithner M., Blagoveshchensky V. Identification of potentially dangerous glacial lakes in the northern Tien Shan // *Natural Hazards*. 2011. Vol. 59. P. 1691-1714. <https://doi.org/10.1007/s11069-011-9860-2>
- [29] Mussina A., Abdullayeva A., Barandun M., Cicoira A., Tursyngali M. Assessment of the current state and temporal changes of glacial-moraine lakes in the Central and Eastern part of the northern slope of the Ile Alatau, Kazakhstan // *Journal of Water and Land Development*. 2024. Vol. 63. P. 19-24. <https://doi.org/10.24425/jwld.2024.151786>
- [30] Vilesov E.N. Changes In The Size And Condition Of The Glaciers In Kazakhstan For The Last 60 Years (1955–2015). *Ice and Snow*. 2018. Vol. 58(2). P. 159-170 (in Russ.). <https://doi.org/10.15356/2076-6734-2018-2-159-170>

А. К. Мусина¹, Ә. С. Абдуллаева², М. Н. Тұрсынғали^{*3}, Қ. М. Наконова⁴, С. Е. Қайрат⁵

¹ К.г.н., ассоциированный профессор

(КазНУ им. аль-Фараби, Алматы, Казахстан; Ainur.Musina@kaznu.edu.kz)

² PhD, и.о. доцента (КазНУ им. аль-Фараби, Алматы, Казахстан; Assel.Abdullayeva@kaznu.edu.kz)

³* PhD докторант, преподаватель

(КазНУ им. аль-Фараби, Алматы, Казахстан; Marzhan.Tursyngali@kaznu.edu.kz)

⁴ PhD докторант, младший научный сотрудник (КазНУ им. аль-Фараби,

АО «Институт географии и водной безопасности», Алматы, Казахстан; nakonova_kymbat3@live.kaznu.kz)

⁵ Магистрант (КазНУ им. аль-Фараби, Алматы, Казахстан; kairat_saule@live.kaznu.kz)

АНАЛИЗ ПРОСТРАНСТВЕННО-ВРЕМЕННОГО РАСПРЕДЕЛЕНИЯ МОРЕННО-ЛЕДНИКОВЫХ ОЗЕР В ЦЕНТРАЛЬНОЙ И ВОСТОЧНОЙ ЧАСТИ СЕВЕРНОГО СКЛОНА ИЛЕ АЛАТАУ

Аннотация. Отступление ледников, происходящее на фоне глобального потепления, начавшегося во второй половине XX века, сопровождается дестабилизацией моренных толщ и их частичным таянием, что способствует формированию и активному развитию моренно-ледниковых озер. Возрастающее количество и площадь этих озер в пределах исследуемой территории обусловили необходимость анализа их современного состояния, морфометрических характеристик и интенсивности пространственно-временной динамики. Использование методов дистанционного зондирования Земли и ГИС-технологий обеспечило получение всесторонних и достоверных сведений о параметрах озер, позволило выполнить комплексную интерпретацию спутниковых данных и составить инвентаризационные карты центральной и восточной частей Иле Алатау. Результаты исследования показали, что общее количество моренно-ледниковых озер с 1978 года по настоящее время увеличилось с 20 до 82, а их совокупная площадь возросла на 160%: если в 1978 году она составляла 192 900 м², то к 2025 году достигла 536 452 м². Существенные изменения наблюдаются и в высотном распределении озер: до 2000 года они фиксировались преимущественно в диапазоне 3300-3700 м, к 2013 году эта зона расширилась до 3300-3800 м, к 2021 году – до 3300-3900 м, а в настоящее время (2025 г.) основная концентрация озер отмечается на высотах 3600-3800 м и выше, что отражает активное продвижение зон формирования озер вверх по высотному градиенту в условиях деградации ледников. Увеличение количества и площади моренно-ледниковых озер непосредственно повышает вероятность формирования селевых потоков и создает опасность для территорий, расположенных ниже по течению горных рек. В связи с этим контроль за текущим состоянием озер, оценка их пространственно-временной динамики и своевременное выявление потенциально опасных объектов являются критически важными для прогнозирования и предотвращения опасных экзогенных процессов, а также для разработки эффективных стратегий управления рисками наводнений, связанных с прорывом моренно-ледниковых озер (GLOF).

Ключевые слова: моренно-ледниковые озера, данные дистанционного зондирования Земли, пространственно-временные изменения, количество и площади моренно-ледниковых озер, глобальное потепление климата.

A. K. Mussina¹, A. S. Abdullayeva², M. N. Tursyngali^{*3}, K. M. Nakonova⁴, S. Ye. Kairat⁵

¹ Candidate of geographical sciences, Associate Professor

(Al-Farabi Kazakh National University, Almaty, Kazakhstan; Ainur.Musina@kaznu.edu.kz)

² PhD, Acting Associate Professor (Al-Farabi Kazakh National University,

Almaty, Kazakhstan; Assel.Abdullayeva@kaznu.edu.kz)

³* PhD doctoral student, lecturer (Al-Farabi Kazakh National University,

Almaty, Kazakhstan; Marzhan.Tursyngali@kaznu.edu.kz)

⁴ PhD doctoral student, junior researcher (Al-Farabi Kazakh National University,

JSC «Institute of Geography and Water Security», Almaty, Kazakhstan; nakonova_kymbat3@live.kaznu.kz)

⁵ Master's student (Al-Farabi Kazakh National University, Almaty, Kazakhstan; kairat_saule@live.kaznu.kz)

ANALYSIS OF THE SPATIAL AND TEMPORAL DISTRIBUTION OF GLACIAL-MORaine LAKES IN THE CENTRAL AND EASTERN PARTS OF THE NORTHERN SLOPE OF THE ILE ALATAU

Abstract. The retreat of glaciers occurring against the background of global warming that began in the second half of the twentieth century is accompanied by the destabilization and partial melting of moraine deposits, which in turn contributes to the formation and active development of glacial-moraine lakes. The increasing number and total area of these lakes within the study region have necessitated an assessment of their current state, morphometric

characteristics, and the intensity of their spatiotemporal dynamics. The use of remote sensing methods and GIS technologies has enabled the acquisition of comprehensive and reliable information on lake parameters, facilitated the detailed interpretation of satellite data, and allowed for the compilation of inventory maps for the central and eastern parts of the Ile Alatau. The results of the study demonstrate that the total number of glacial-moraine lakes has increased from 20 in 1978 to 82 at present, while their combined area has grown by 160%: if in 1978 it amounted to 192 900 m², by 2025 it had expanded to 536 452 m². Significant changes have also been observed in the altitudinal distribution of the lakes. Until 2000, they were predominantly located within the 3300-3700 m elevation range; by 2013, this zone had expanded to 3300-3800 m; by 2021 – to 3300-3900 m; and at present (2025), the main concentration of lakes is recorded at elevations of 3600-3800 m and higher, reflecting a pronounced upward migration of lake-formation zones along the altitudinal gradient under conditions of accelerated glacier degradation. The increase in the number and area of glacial-moraine lakes directly raises the likelihood of debris-flow formation and poses a threat to the areas situated downstream. Therefore, monitoring the current state of the lakes, assessing their spatiotemporal dynamics, and promptly identifying potentially hazardous sites are critically important for forecasting and preventing dangerous exogenous processes, as well as for developing effective flood-risk management strategies associated with the outburst of glacial-moraine lakes (GLOF).

Keywords: glacial-moraine lakes; remote sensing data; spatiotemporal changes; number and area of glacial-moraine lakes; global climate warming.

Земельные ресурсы, ландшафтоведение и рациональное природопользование

*Жер ресурстары, ландшафттану
және қоршаған ортаны басқару*

*Land resources, landscape science
and environmental management*

<https://doi.org/10.55764/2957-9856/2025-4-75-89.47>

МРНТИ 39.01.94
УДК 910.4

К. М. Ахмеденов¹, С. К. Рамазанов², А. А. Тургумбаев^{*3}, Д. Ж. Искалиев⁴

¹ К. г. н., профессор (Западно-Казахстанский университет им. М. Утемисова,
Казахский национальный университет им. аль-Фараби, Уральск, Казахстан; kazhmurat78@mail.ru)

² К. г. н., старший преподаватель (Западно-Казахстанский университет им. М. Утемисова,
Казахский национальный университет им. аль-Фараби, Уральск, Казахстан; serik-ram@mail.ru)

^{3*} Старший преподаватель (Западно-Казахстанский университет им. М. Утемисова,
Казахский национальный университет им. аль-Фараби, Уральск, Казахстан; akhan.turgumbayev@mail.ru)

⁴ Старший преподаватель (Западно-Казахстанский университет им. М. Утемисова,
Казахский национальный университет им. аль-Фараби, Уральск, Казахстан; iskaliyev84@mail.ru)

ИЗМЕНЕНИЕ КОРМОВЫХ РЕСУРСОВ ЗАПАДНО-КАЗАХСТАНСКОГО РЕГИОНА В КОНТЕКСТЕ УСТОЙЧИВОГО РАЗВИТИЯ

Аннотация. Развитие животноводства для Казахстана является приоритетной задачей в области сельского хозяйства. Это требует организации кормовой базы, улучшения сенокосно-пастбищных угодий, повышения их урожайности. В связи с этим изучение кормовых ресурсов недостаточно исследованных районов, к числу которых принадлежит Западный Казахстан, приобретает особую актуальность. Получение современной информации о состоянии кормовых ресурсов, изучение распространённости кормовых угодий по данным дистанционного зондирования Земли и натурных наблюдений, выявление динамики изменений, анализ состояния кормовых ресурсов на пастбищах представляют собой важнейший элемент в развитии пастбищного хозяйства. Рациональное и бережное использование этих угодий способствует повышению продуктивности скота и улучшению кормовой базы, что напрямую влияет на рост животноводческой отрасли и укрепление экономики. Помимо этого, с учетом значимости природных экосистем и необходимости сохранения их устойчивости оценка кормового потенциала пастбищ позволяет предотвратить их истощение и содействует охране биологического разнообразия. Таким образом, изучение пастбищных ресурсов имеет большое прикладное значение для внедрения устойчивых моделей управления, увеличения объемов животноводческой продукции и обеспечения экологического равновесия в регионе. Результаты исследования подчеркивают необходимость комплексного подхода к управлению кормовыми ресурсами, который включает в себя как традиционные, так и инновационные методы. Это позволит оптимизировать не только использование земельных ресурсов, но и повысить жизненные стандарты местного населения через развитие животноводства и сельского хозяйства в целом.

Ключевые слова: кормовые ресурсы, пастбища, устойчивое развитие, экосистема, биоразнообразие.

Введение. Естественная растительность играет большую роль в общем балансе кормовой базы региона и повсеместно используется для сенокосения и выпаса скота. Корм, получаемый с природных сенокосов и пастбищ, имеет ряд преимуществ перед полевым кормопроизводством, так

как в его состав входит большое число различных видов растений, обладающих хорошими кормовыми, витаминоносными и лекарственными свойствами. Кроме того, его получение требует значительно меньших затрат в плане как энергии, так и трудовых ресурсов. К Западнему региону Казахстана относятся Мангистауская, Атырауская, Западно-Казахстанская и Актюбинская области. Атырауская область размещается на Прикаспийской низменности, в северной и восточной части побережья Каспийского моря, между дельтой Волги на северо-западе и плато Устюрт на юго-востоке (координаты: N47°10'50", E052°08'36"). Мангистауская область занимает территорию к востоку от Каспия, включая полуостров Мангистау и часть плато Устюрт; на северо-востоке она граничит с Атырауской и Актюбинской областями, на юге – с Туркменистаном, а на востоке – с Узбекистаном (координаты: N44°33'12", E053°03'06"). Актюбинская область находится между Прикаспийской низменностью на западе, плато Устюрт на юге, Туранской низменностью на юго-востоке и южными отрогами Уральских гор на севере (координаты: N49°40'46", E058°02'17"). Западно-Казахстанская область расположена в северо-западной части страны, в центре Евразийского континента. Она полностью находится на территории Восточной Европы и имеет общую границу с Российской Федерацией (координаты: N50°03'46", E051°01'16").

Материалы и методы исследования. Пастбища и сенокосы представляют собой сложные и глобально разнообразные сельскохозяйственные системы, которые различаются по типам растительности и методам землепользования [1].

Имеется ряд исследований, которые показали проблемы деградации и одновременно восстановления почвенно-растительного покрова сельскохозяйственных угодий на данной территории [2-10].

Необходима актуализация данных о состоянии кормовых ресурсов Западного Казахстана.

Спецификой пастбищ Казахстана является их сезонность, что обеспечивает выпас скота по сезонам года, а также недостаточный уровень водообеспеченности. Эти обстоятельства не позволяют использовать значительную часть пастбищ. Иногда чрезмерная эксплуатация пастбищ, пирогенный и эоловый факторы приводят к пастбищной деградации [11, 12].

Согласно Закону Республики Казахстан «О пастбищах» от 20 февраля 2017 года, № 47-VI ЗРК пастбища – это земельные участки в составе земель сельскохозяйственного назначения, а также земельные участки в составе других категорий земель, предоставляемые и используемые для круглогодичного или сезонного выпаса сельскохозяйственных животных [13].

В нашем восприятии пастбища представляет собой природные ландшафты, которые используют не только сельскохозяйственные, но и дикие копытные животные [14,15]. Поэтому необходимо их рассматривать как пастбищный ландшафт. Обычно проводят оценку кормовых угодий и составляют карту для определения кормозапаса территории и допустимого количества диких копытных или домашнего скота для поддержания экосистем в сбалансированном состоянии.

С целью качественной и количественной оценки природных кормовых угодий была внедрена их классификация. На основе анализа типологии природных ландшафтов и кормовых угодий нами составлена ландшафтно-типологическая классификация пастбищных ландшафтов ключевых участков Западного Казахстана. Она делит все множество угодий на два отдела – пастбища и сенокосы. Далее порядок – кормовая специфичность; разряд – сезонность использования; класс – зонально-биоклиматические условия; род – макрорельеф; подрод – морфология мезорельефа; группа – названия господствующего растительного сообщества и типа почв; тип – состав растительности; хозяйственные модификации – дигрессионные сообщества растительного покрова. Контуры родов и подродов пастбищных ландшафтов на исследуемых участках были выделены методом послыного наложения и сопряженного экспертного анализа указанных слоев в программном продукте ArcGIS 10.4. Для изучения растительности пастбищных ландшафтов использовались общепринятые методы маршрутных полевых геоботанических и флористических исследований. Полевое картографирование выполнялось методами поконтурной съемки и ландшафтно-экологического профилирования с использованием топографической основы и космических снимков.

Использованы материалы полевых исследований, литературные и фондовые материалы, государственные документы. Применён системный подход, методы полевых географических исследований, методы маршрутных полевых геоботанических и флористических исследований, методы ДЗЗ, экспертные оценки и логические обобщения.

Результаты. В западной части Казахстана выделяют четыре зоны ведения животноводства, резко отличающихся друг от друга по температурному режиму, количеству осадков, почвенному и растительному покрову.

По геоботаническому профилю можно проследить, что в основном на песчаных понижениях и котловинах распространяются разнотравно-злаковые, белопопынно-злаковые и разнотравные растительные сообщества, где представлены такие эфемерные злаки, как мятлик, костер, мортук и единичные экземпляры ковыля. На возвышениях и на высоких склонах произрастают более южные пустынные и псаммофитные растительные группировки, где в основном преобладают лебедовые виды растений, терескен и кустарник жузгун. Песчаный массив Сам в весенний период отличается прекрасным сочным злаковым и разнотравным травостоем и используется как хорошее пастбище для всех видов скота. В связи редкостью снежного покрова в зимние время эти регионы можно использовать для круглогодичной пастбы скота.

Тайсойганские пески являются прекрасными пастбищно-сенокосными угодьями. Зимы в этих регионах малоснежные и теплые, поэтому их можно использовать как круглогодичные пастбища для всех видов скота, а равнинные участки – для сенокоса. По геоботаническому профилю на микропонижениях распространяются разнотравно-злаковые растительные сообщества. На темно-каштановых почвах доминируют типчаково-ковыльные растительные группировки с примесью полыни белой, где проективные покрытия растительного покрова составляет 80%, высота травостоя – 10-20 см. Микроплакорные участки заняты злаково-белопопынными и белопопынно-злаковыми растительными ассоциациями с участием полыни черной на светлокаштановых слабо солонцеватых почвах, где проективное покрытие составляет 70-80%, высота травостоя – 15-20 см. На биогенных буграх или субликвинах распространяются мятliko-солянковые растительные сообщества на светло-каштановых солонцеватых почвах. Проективные покрытия растительного покрова составляет 50-60%, высота травостоя – 10-15 см.

На этом степном участке в момент посещения пастбищные нагрузки были средние, местами наблюдался выпас скота. Равнинный рельеф местности позволяет выделить здесь хорошие сенокосные угодья, а также в весенне-осенний период использовать их как пастбища для крупного рогатого скота, лошадей и овец. В межбугорных понижениях произрастают типчаково-белопопынные, разнотравно-злаковые и мятlikовые растительные сообщества с примесью ромашника на каштановых слабо солонцеватых почвах, где проективное покрытие растительного покрова составляет от 60 до 70 %, высота травостоя – до 10 см. Соревые понижения вокруг сора Хаки заняты пухлыми солончаками. В растительном покрове в основном преобладают галофитные растительные сообщества на засоленных зональных бурых почвах. На межсоровых и межбалочных равнинах растительный покров представлен солянково-злаковыми, солянково-мятlikовыми сообществами с участием кустарников, где проективное покрытие составляет 40-50%, высота травостоя – до 10 см. Плакорные участки заняты белопопынно-мятlikовыми и тырсово-белопопынными растительными сообществами с примесью итсигеково-верблюжеколючих сообществ. Проективное покрытие растительности от 40-50 до 70%, высота травостоя от 10 до 50 см.

В долине реки Суыксу имеются понижения лиманного типа, которые заняты луговой растительностью с клеверово-разнотравными сообществами. Густота растительного покрова хорошая, но высота травостоя очень низкая, здесь наблюдается чилижно-попынный сбой от перевыпаса скота. Эта территория пригодна для всех видов скота с весны и до глубокой осени.

Большая часть территории четырех западных областей Казахстана лежит в пустынно-степной и пустынной зонах. Степная зона включает северную часть Актюбинской области. Сухостепная зона охватывает северную часть Актюбинской и Западно-Казахстанской областей. В степной и сухостепной зонах находятся основные площади пашни. Здесь в основном сосредоточены сельскохозяйственные кормовые угодья [16]. Полупустынная зона располагается в центральной части Западно-Казахстанской и Актюбинской областей. Пустынная зона – крупнейшая по площади, охватывающая южные районы Западно-Казахстанской и Актюбинской областей, а также значительную часть Атырауской и почти всю территорию Мангистауской областей (рисунок 1).

Сегодня в областях Западного Казахстана численность поголовья скота продолжает расти с каждым годом, чему способствует спрос на продукцию животноводства, вызванный ростом населения, урбанизацией, повышением доходов на душу населения. По состоянию на 31 декабря



Рисунок 1 – Разделение западной части Республики Казахстан на зоны в зависимости от природных условий

Figure 1 – Division of the western part of the Republic of Kazakhstan into zones depending on natural conditions

2024 года поголовье скота во всех четырех областях Западного Казахстана составило 6895,0 тыс. голов. До 1994 года овцы и козы составляли в регионе половину основных видов скота, а после 1994 года произошло резкое снижение и изменение породного состава поголовья скота. С 2000 года до сегодняшнего дня наблюдается увеличение поголовья основных видов скота [17].

Оценка кормового баланса с учетом как количества, так и качества в западных регионах Казахстана играет важнейшую роль в процессе обновления кормовой базы.

По карте растительности западной части Казахстана, полученной из картографической базы EsaWorldCover, пастбища для исследуемого района составили 70,16% территории, из них в Актюбинской области – 87,4%, Атырауской – 82,3%, Западно-Казахстанской – 88,45% и Мангистауской – 22,49%. Пахотные земли отражались только в Актюбинской и Западно-Казахстанской областях и составляли 5,85% от общей исследуемой территории. Редкая или солончаковая растительность занимает 24,96% всей территории, где 76,29% составляет Мангистауская область. В небольших количествах встречается растительность водно-болотных угодий, древесные растения и кустарники (рисунок 2).

Атырауская и Мангистауская – по преимуществу области пустынных пастбищ. Широко стойлового животноводства здесь организовать нельзя, возможно лишь пастбищное содержание вёрблюжье-овечьего стада, использующего большие пространства пустынь, с большими передвижениями скота по сезонам года [18,19].

Одной из характерных черт кормовых угодий Западного Казахстана является обильное произрастание житняка ломкого (*Agropyron fragile* (Roth) P.Candargy) и житняка пустынного (*Agropyron desertorum* (Fisch. ex Link) Schult.). Для пастбищ полупустынной зоны, подверженных опустыниванию, типичны растительные сообщества, в составе которых доминируют злаковые виды (*Stipa capillata* L., *S. sareptana* A.K. Becker, *Festuca valesiaca* Schleich. ex Gaudin), а также полукустарничковые растения (*Artemisia fragrans* Willd., *A. pauciflora* Weber ex Stechmann, *Camphorosma monspeliaca* L., *Atriplex cana* C.A. Mey).

В Западно-Казахстанской области степная часть незначительна, но пустынно-степная велика и благодаря богатству кормовых запасов на разливах в высокой мере обеспечена стойловыми кормами лугового типа. Степные районы Актюбинской области занимают 15,5% кормовой площади [9].

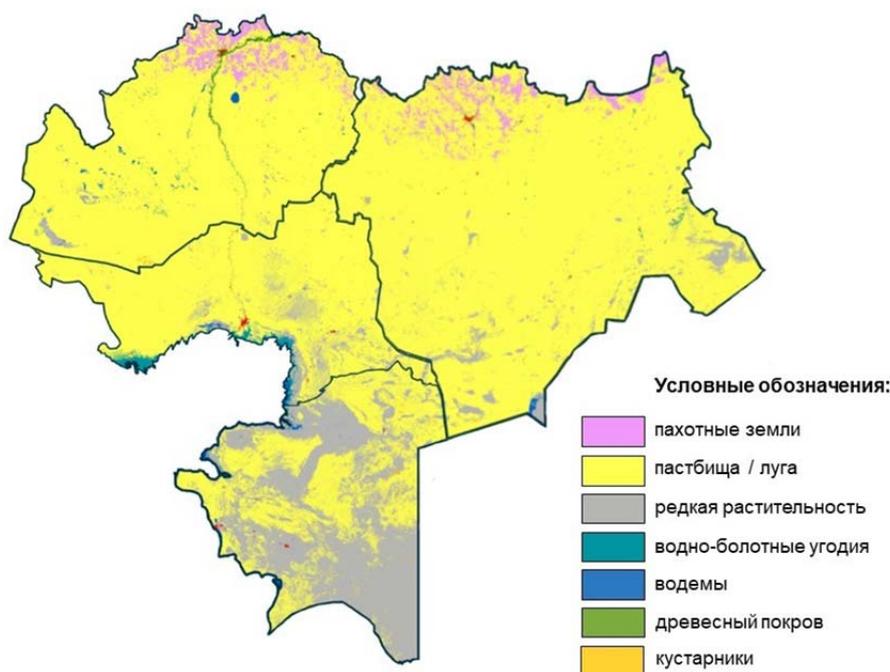


Рисунок 2 – Карта растительности западной части Казахстана

Figure 2 – Vegetation map of the western part of Kazakhstan

Таким образом, растущее поголовье скота вынуждено пастись на уменьшающейся площади пастбищ, что способствует дальнейшей деградации земель. В целом животноводство в регионе базируется на использовании естественных круглогодичных пастбищных угодий из-за коротких и мягких зим, продолжительного безморозного и бесснежного периода. Круглогодичные пастбища из-за перевыпаса могут формировать очаги деградации, способствующие развитию процессов дефляции. Об этом свидетельствуют публикации отечественных авторов [20, 21].

Естественные пастбища являются основным источником кормов в животноводстве. Тем не менее следует учитывать, что наличие и качество естественных пастбищ зависят от климатических факторов. При колебаниях количества осадков и температуры воздуха естественные пастбища имеют низкую питательную ценность (энергию, минералы и т.д.) в засушливый сезон. В результате запасы питательных веществ могут удовлетворять только потребности в содержании, а это ограничивает оптимальную продуктивность скота [22].

Сообщается, что остатки сельскохозяйственных культур являются вторым по важности кормовым ресурсом, особенно в засушливый сезон. Однако их производство носит сезонный характер, то есть они доступны в больших количествах сразу после сбора урожая и недоступны в другие периоды [23].

Еще одним значимым фактором, влияющим на регионы Западного Казахстана, является риск интенсивной деградации земель. Этот процесс оказывает непосредственное воздействие на эффективность сельского хозяйства, так как приводит к ухудшению состояния пастбищ вследствие эрозии и снижения плодородности почв, что в свою очередь ставит под угрозу стабильность кормовой базы.

Пастбища областей Западного Казахстана по характеру травостоя и обводнения являются весенне-осенними. Ежегодно здесь выпасается большое поголовье скота ряда районов областей Западного Казахстана.

Западно-Казахстанская область занимает северо-западный угол Казахстана. На севере на ее территорию заходит возвышенный природный сухостепной район Сырта и приуральского плато, который отличается темно-каштановыми почвами и степями, состоящими из типчака и ковыль. Этот район занимает около 25 % площади ЗКО и имеет значительное количество пахотных земель. Основная часть этой территории представляет собой пустынно-степной район Прикаспийской

низменности, где преобладают пятнистые (шубар) пустынные степи на светло-каштановых суглинистых почвах, характеризующихся солонцеватостью. В эти степи вкраплены многочисленные неглубокие замкнутые понижения – западины, падины, лопатины с темноцветными пахотопригодными почвами и высокопродуктивными злаковыми травостоями. Однако сплошных массивов хороших пахотопригодных земель здесь мало, а на юге совсем нет. На востоке находится супесчаный подрайон, характеризующийся легко разрушающимися почвами, вплоть до развеваемых песков. Самой характерной особенностью района являются многочисленные разливы – есте-

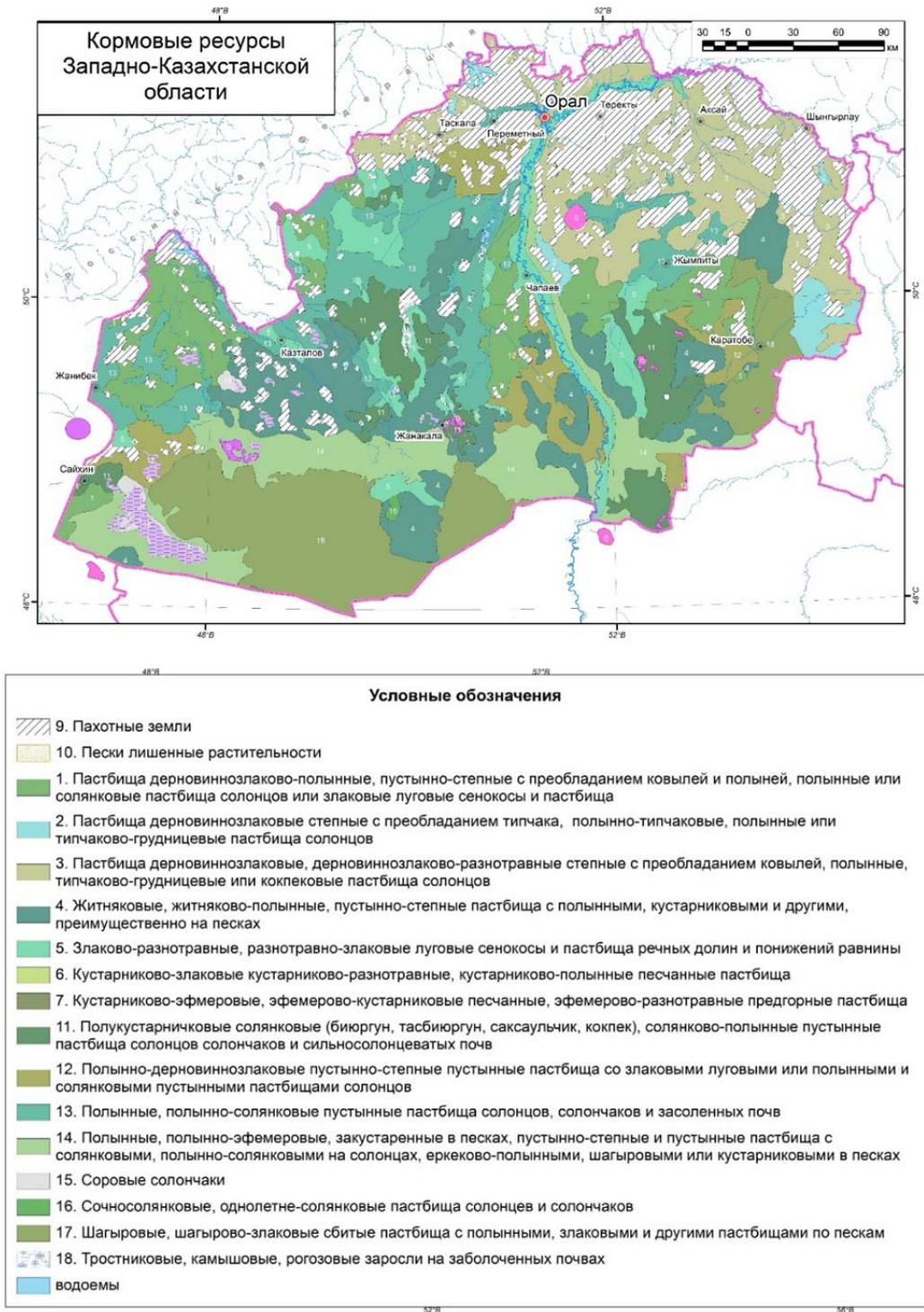


Рисунок 3– Типы кормовых угодий Западно-Казахстанской области

Figure 3 – Types of forage lands in the West Kazakhstan region

ственные лиманы в низовьях мелких степных рек (Караозен и Сарыозен, Шежин 1 и 2, Калдыгайты, Жаксыбай и др.), текущих на Прикаспийскую низменность с Сырта и заканчивающих свое течение естественными лиманами с комплексами высокопродуктивных пырейных и остепненных житняковых, акмамыковых (бескильницевых) лугов и солонцов. Кроме этих мелких речек, область прорезает большая речная артерия – река Жайык, текущая в пределах Сырта с востока на запад; далее, близ Уральска, она поворачивает на юг и орошает Прикаспийскую низменность совместно со своим западным рукавом – Кошимом, воды которого используются для орошения.

Потенциально возможная площадь лиманного орошения Западно-Казахстанской области на местном стоке и транзитном стоке рек при обеспеченности на 50 % не превышает 302 тыс. га, на 25 % – 695 тыс. га. Расширение травосеяния в значительной мере подготовит рост площади под полевыми кормовыми культурами – кукурузой, подсолнечником, просом, могоаром и озимой рожью. На легких почвах (главным образом, в Каратобинском районе) выращиваются бахчевые. Обводнение пастбищ и сенокосов составляет также очень важный раздел мероприятий по укреплению кормовой базы области – имеется в виду устройство колодцев, прудов и копаней для задержания поверхностного стока. В районах южной части области (Жангалинском и Акжайыкском, отчасти Каратобинском) применяется недалекий отгон с передвижением стада на зимнее время в пески, весной и летом – на злаковые типчаково-житняковые пастбища, осенью – на солянково-полынные. Здесь необходимо иметь на зимнее время страховые запасы грубых кормов и скотопомещения. На всех типах пастбищ в области очень важна регулировка выпаса. Значительная часть пастбищ с преобладанием полыней является результатом перерождения злаковых степных угодий под влиянием сбоя. Вся сумма мероприятий по области может увеличить объем ее кормовой базы в 2-2,5 раза (рисунок 3).

Актюбинская область простирается от северной границы Казахстана с Оренбургской областью до Аральского моря. Ее северная часть, относящаяся к степной зоне, лежит на Предуральской платформе.

Наибольшая часть области относится к полупустынной зоне; она разделена с северо-востока на юго-запад Мугалжарским кряжем, на котором преобладают пустынные степи. Только самая высокая часть кряжа занята сухими степями, проявляется высотная поясность. Территория на запад от Мугалжар относится к Жайык-Жемскому плато, а на восток от них – к Торгайской равнине, по которой к югу от р. Иргиз разбросаны столовидные возвышенности – останцы, турткули, вследствие чего равнина называется Торгайское плато. Местами она опесчанена (пустынные пески Большие и Малые Барсуки). На юго-западе области Байганинский район немного выходит на Прикаспийскую низменность. Дальнейшее расширение кормовой базы в земледельческих районах может идти по линии введения севооборотов, рационализации использования естественных пастбищ и организации лиманного орошения. Еще большее значение должно иметь лиманное орошение в животноводческих районах полупустыни. Потенциально возможная площадь лиманного орошения Актюбинской области на местном стоке при обеспеченности 50% равняется в 409 тыс. га, 25% – 1042 тыс. га. Травосеяние многолетних травосмесей можно значительно расширить не только за счет введения их в севообороты, но и путем осторожного освоения умеренно солонцеватых супесчаных целин в сухих и пустынных степях. Травы могут здесь дать в средние годы не менее 15 ц/га. Фонды пригодных для этого земель очень велики, и освоение их зависит главным образом от наличия рабочей силы и техники. При этом нужна организация снегозадержания, в частности устройство древесных и кустарниковых кулис. Эти мероприятия дадут возможность увеличить поголовье крупного рогатого скота, овец и коз, в земледельческих районах, а также верблюдов в полупустынной зоне (рисунок 4).

На востоке в Атыраускую область немного заходит Подуральское плато. На всем этом пространстве имеется лишь одна значительная водная магистраль – река Жайык, текущая с севера на юг к Каспийскому морю. На северо-востоке в область заходят низовья Ойыла, Сагыза, а южнее – Жем. На северо-западе у побережья моря область соприкасается с дельтой Волги. Соленые высыхающие озера, например Индер, служат лишь для добывания соли. Согласно принятому нами зональному делению территория области относится к трем подзонам двух зон: на северо-востоке, в Кызылкогинском районе, в нее заходит небольшая площадь подзоны пустынных степей полупустынной зоны с полынно-злаковой растительностью на светло-каштановых почвах, далее все

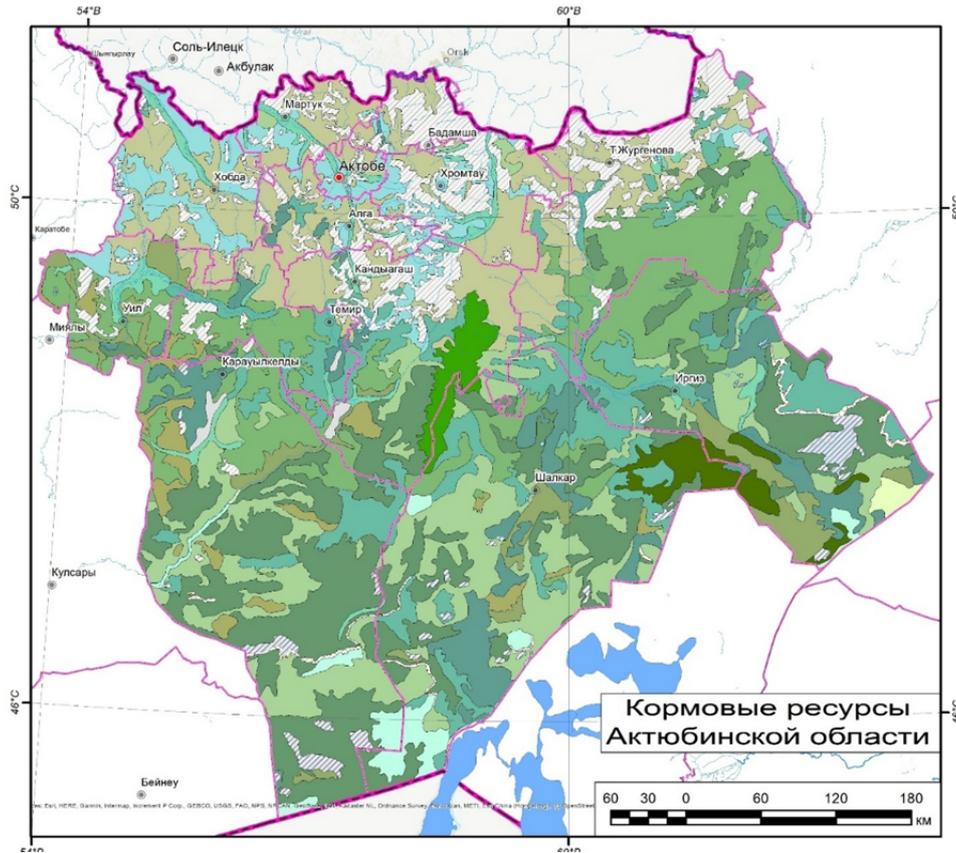


Рисунок 4 – Типы кормовых угодий Актыбинской области

Figure 4 – Types of forage lands in the Aktobe region

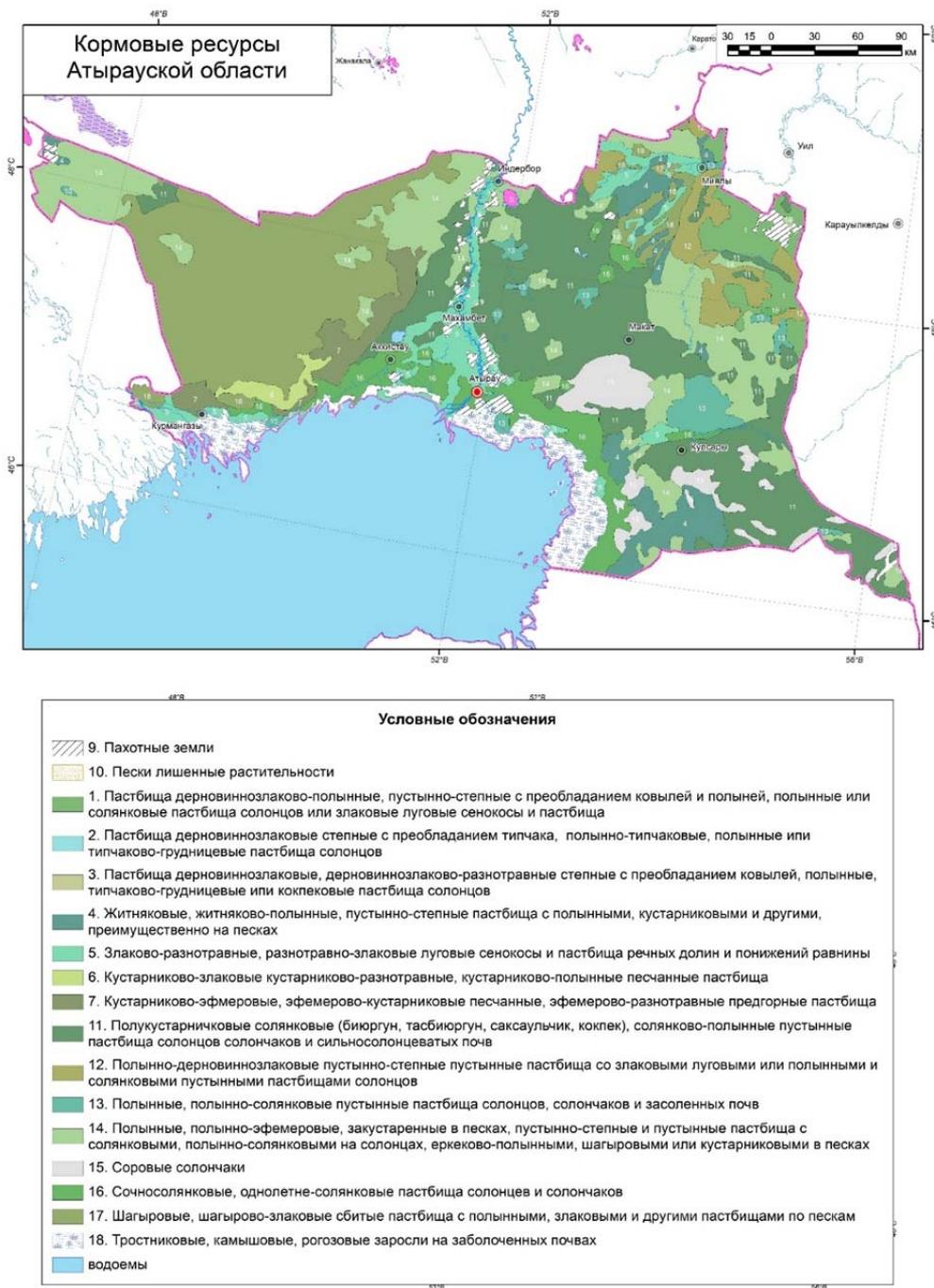


Рисунок 5 – Типы естественных кормовых угодий Атырауской области

Figure 5 – Types of natural forage lands in the Atyrau region

пространство до чинка Устирта относится к подзоне остепненных пустынь той же полупустынной зоны, с преобладанием солянково-полынной растительности на бурых почвах; к югу от чинка лежит подзона северных пустынь пустынной зоны, а также по бугристому и грядовому рельефу с широкими понижениями – ашиками, с еркековой и полынной растительностью, встречающейся главным образом на севере массива. На севере в нее немного заходит пустынно-степной район Прикаспийской низменности, на северо-западе – пустынно-степной район Подуральяского плато. Побережье с тростниковой, солончаковато-луговой и солончаковой растительностью и часть луговой дельты Волги составляют два особых подрайона. Район составляет массив зимних пастбищ с резервом грубых кормов в приморской полосе. К востоку от Жайыка лежит Жайык-

Жемский район остепненных глинистых и песчаных пустынь Прикаспийской низменности, включающий в себя также и небольшую часть правобережья Жайыка. В него входят большие площади сильно засоленных солянково-полынных и солянковых глинистых осенне-зимних пастбищ, массив песков Тайсоган на севере, пески Прикаспийские Каракумы, луга в низовьях Жайыка, Ойыла и Жема и солончаковые пространства высохшего залива Мертвый култук. Его северные подрайоны в низовьях Жайыка, Ойыла содержат луговые площади, пригодные для сенокосения, особенно при условии улучшения, и небольшие площади поливной пашни; в низовьях Жема лугов уже очень мало, остальную площадь района занимают зимние и осенне-зимние пастбища, не обеспеченные страховыми запасами грубых кормов. Условия естественной обводненности наиболее благоприятны в песчаных районах, особенно в Тайсойганском массиве.

Анализ геоботанических данных показал, что различные типы растительности по разному реагируют на степень антропогенной нагрузки, проявляя различия в составе флоры, продуктивности и уровне нарушенности. Это подчеркивает необходимость разработки индивидуальных подходов к управлению, внедрения специальных режимов эксплуатации и наиболее эффективных методов восстановления. В то время как общая задача заключается в сохранении и возрождении природного плодородия кормовых угодий в условиях усиленного человеческого воздействия, важным частным направлением является охрана ценных пастбищ и сенокосных территорий, представляющих собой генетический резерв уникальных видов диких кормовых, лекарственных, редких и находящихся под угрозой исчезновения растений (рисунок 5).

На полуострове Мангыстау подымается невысокий каменистый кряж (рисунок 6). Устирт относится к подзоне остепненных пустынь той же полупустынной зоны с преобладанием солянково-полынной растительности на бурых почвах; к югу от чинка лежит подзона северных пустынь пустынной зоны с преобладанием полынно-солянковой растительности на серо-бурых почвах, с намечающимся переходом к подзоне южных пустынь у границы с Туркменистаном (здесь в покрове значительно возрастает количество эфемеров). Устиртский пустынный район представляет собой малопродуктивные полынно-солянковые пустыни с включением песчаных массивов (пески Сам, Асмантай-Матай, Карынжарык), расположенных во впадинах. Пески используются главным образом для зимнего выпаса, местами имеется возможность заготовки еркекового сена. Район Горного Мангыстау включает невысокие пустынные кряжи Каратау и Актау со злаково-полынной растительностью, наиболее продуктивной по саям, где заготавливается еркековое сено и зимует скот. Условия естественной обводненности наиболее благоприятны в песчаных районах, особенно в песках Сам, Асмантай-Матай; в Прикаспийских Каракумах, а также в песках по впадинам южной части Устирта (Карынжарык) воды в большей части сильно минерализованы, так же, как и в приморской полосе. На Устирте грунтовые воды есть, но извлекаются из колодцев от 10 до 30 м, а то и более (к югу). Они жестки (т. е. содержат много извести), но обычно пресны. Так как колодцы заложены в известняковых толщах, то особых креплений в них не требуется. Обычно они располагаются группами по 10-20 по понижениям. В районе Горного Мангыстау есть небольшие выходы грунтовых вод по долинам.

Обсуждение. Для повышения эффективности использования естественно-кормовых ресурсов в целях территориально-отраслевого развития животноводства Западно-Казахстанского региона предлагается вовлекать в сельскохозяйственный оборот дополнительные земли сенокосно-пастбищного назначения, учитывая прогнозируемый рост поголовья сельскохозяйственных животных отгонного и отгонно-стойлового типов. Это позволит регулировать нагрузку на естественно-кормовые угодья и предотвратить деградацию растительного покрова, восстановление которого требует значительных временных и финансовых затрат. Проблема особенно актуальна для Мангыстауской и Атырауской областей, в меньшей степени для Актюбинской и Западно-Казахстанской. При освоении новых территорий под сенокосы и пастбища необходимо учитывать природно-климатические особенности и ландшафтные условия, так как именно они определяют продуктивность растительного покрова, устойчивость экосистем и емкость ландшафтов, что, в свою очередь, влияет на долгосрочную эффективность использования кормовых ресурсов в животноводстве. Крестьянским (фермерским) хозяйствам, занимающимся разведением отгонного и отгонно-стойлового скота, следует строго соблюдать принципы пастбищеоборота в соответствии с природно-климатическими и ландшафтными особенностями территории. Нарушения этих

требований были зафиксированы в ходе полевых исследований ключевых участков в четырех областях. Во избежание превышения предельно допустимой нагрузки на сенокосно-пастбищные угодья и деградации естественно-кормовой базы рекомендуется внедрить механизмы государственного субсидирования развития животноводства. При этом необходимо учитывать потенциал растительного покрова, особенности природно-климатических условий и возможности ландшафтов конкретных территорий.

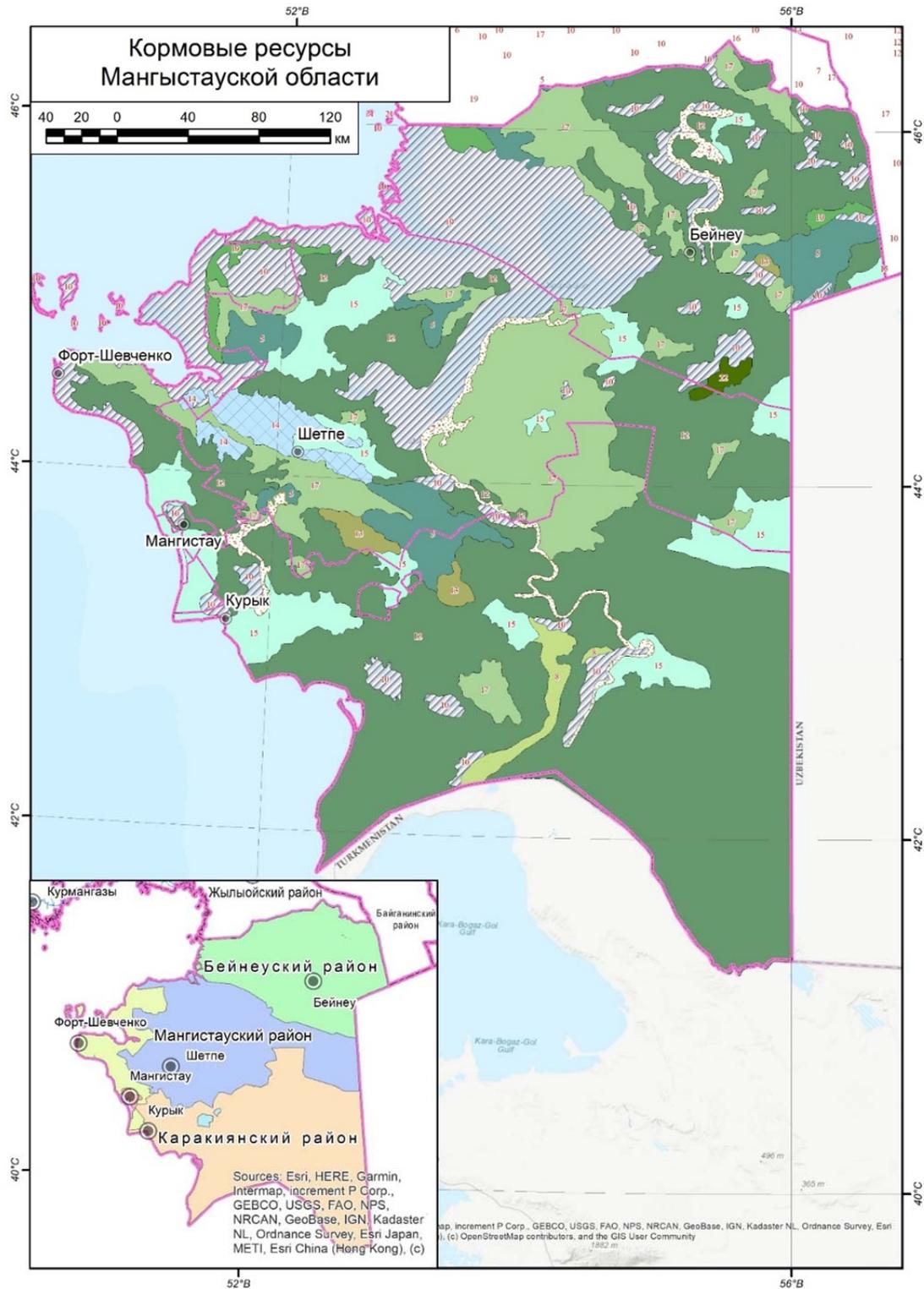




Рисунок 6 – Типы естественных кормовых угодий Мангистауской области

Figure 6 – Types of natural forage lands in the Mangystau region

Заклучение. Основой правильного рационального использования пастбищ является загонная система выпаса скота, разбивка пастбищ на участки. Следует вовлекать в сельскохозяйственный оборот дополнительные земли сенокосно-пастбищного назначения с учетом прогнозов роста поголовья сельскохозяйственных животных отгонного и отгонно-стойлового видов для регулирования степени нагрузки на естественно-кормовые ресурсы и недопущения деградации растительного покрова, восстановление которого потребует значительных затрат времени и, возможно, средств. Эта проблема актуальна особенно для Мангистауской и Атырауской областей, в меньшей мере для Актыбинской и Западно-Казахстанской областей.

По причине большой протяженности с севера на юг, а также значительных различий в природных условиях, размещение сенокосно-пастбищных угодий в Западно-Казахстанском регионе оказалось крайне неравномерным. При общей тенденции увеличения площадей сенокосно-пастбищных угодий Западно-Казахстанского региона за счет Актыбинской, Западно-Казахстанской и Атырауской областей в Мангистауской области площади естественно-кормовых ресурсов, используемых согласно статистическим данным виде пастбищ, сократились на 38,1%. На уровне административных районов больше всего площадей сенокосно-пастбищных угодий размещены в тех районах, которые расположены в таких природных подзонах, как сухие степи, опустыненные степи, северные пустыни (полупустыни), занимающих большую часть Западно-Казахстанского региона, а именно Западно-Казахстанской и Актыбинской областей и практически всю территорию Атырауской области. Большую часть Мангистауской области занимают средние и южные пустыни, характеризующиеся очень низкой продуктивностью растительного покрова и соответственно естественно-кормовых угодий. При вовлечении новых земель в качестве сенокосно-пастбищных угодий необходимо учитывать природно-климатические особенности и условия осваиваемой территории, так как эти системообразующие факторы определяют продуктивность растительного покрова, устойчивость и емкость ландшафтов, от которого зависит долгосрочность использования естественно-кормовых ресурсов для животноводства.

Финансирование. Исследование было проведено благодаря финансовой поддержке Комитета науки Министерства науки и высшего образования Республики Казахстан в рамках ПЦФ ИРН: BR21882122 «Устойчивое развитие природно-хозяйственных и социально-экономических систем Западно-Казахстанского региона в контексте зеленого роста: комплексный анализ, концепция, прогнозные оценки и сценарии». Благодарим всех участников проекта.

ЛИТЕРАТУРА

[1] Phelps L. N., Kaplan J. O. Land use for animal production in global change studies: defining and characterizing a framework // *Glob. Change Biol.* – 2017. – Vol. 23. – P. 4457-4471. DOI: 10.1111/gcb.13732.

[2] Kabzhanova G. R., Sadenova M. A., Beisekenov N. A., Bissebayev A. T. Efficiency of Using Earth Remote Sensing Data for The Rational Use of Agricultural Land // *Chemical Engineering Transactions.* – 2022. – Vol. 94. – P. 1237-1242. <https://doi.org/10.3303/CET2294206>

[3] Nasiyev B., Bekkaliyev A. K., Manolov I. G., Shibaikin B. Influence of grazing technologies on the indices of chestnut soils in Western Kazakhstan // *Polish Journal of Soil Science.* – 2020. – Vol. LIII/1. – P.163-180. <https://doi.org/10.17951/pjss.2020.53.1.163>

[4] Лапенко Н. Г., Ершов Ф. В., Сторчак И. Г., Дуденко Л. В., Шестаков Е. О. Деградиционные процессы в степных сообществах и данные дистанционного зондирования Земли // *Достижения науки и техники АПК.* – 2018. – Т. 32, № 10. – С. 50-53. DOI:10.24411/0235-2451-2018-11011

[5] Акиянова Ф. Ж., Абитбаева А. Д., Егембердиева К. Б., Темирбаева Р. К. Проблемы опустынивания территории Казахстана: Современное состояние и тенденции изменения // *Материалы 1-й международной научно-практической конференции «Опустынивание Центральной Азии: оценка, прогноз, управление».* – Астана, 2014. – С. 22-27.

[6] Гельдыева Г. В. Опустынивание ландшафтов территории сельскохозяйственного использования // *Мат-лы 1-й междунар. научно-практичес. конф. «Опустынивание Центральной Азии: оценка, прогноз, управление».* – Астана, 2014. – С. 170-178.

[7] Мирзадинов Р. А., Мирзадинов И. Р., Усен К., Торгаев А. А., Абдрешов Ш. А., Имангалиева А. К. Современные процессы восстановления опустыненных земель в Казахстане // *Региональный вестник Востока, ВКГУ.* – 2012. – № 2(54). – С. 25-31.

[8] Сейлхан А. С., Мирзадинов Р. А. Процессы восстановления растительного покрова пастбищ Куртинского сельского округа Алматинской области // *Вестник КазНУ. Серия экологическая.* – 2017. – № 4(53). – С. 75-86.

[9] Таубаев Б. Ж. Оценка современного состояния песчаных пастбищ Нарынских песков // *Каспийский регион: политика, экономика, культура.* – Астрахань, 2004. – № 1. – С. 55-59.

[10] Трофимов И. А., Трофимова Л. С., Яковлева Е. П. Комплексные геоботанические исследования степных пастбищ и сенокосов России: исторический обзор деятельности ВНИИ кормов им. В.Р. Вильямса // *Вопросы степеведения.* – 2020. – № 1(XVI). – С. 30-36. DOI: 10.24411/9999-006A-2020-10004

[11] Suleimenov M. Trends in the agriculture of Central Asia and implications for rangelands and croplands. In: *Novel Measurement and Assessment Tools for Monitoring and Management of Land and Water Resources in Agricultural Landscapes of Central Asia* // Springer International Publishing, Cham, 2014. – P. 91-105.

[12] Zhang G., Biradar C.M., Xiao X., Dong J., Zhou Y., Qin Y., Zhang Y., Liu F., Ding M., Thomas R.J. Exacerbated grassland degradation and desertification in Central Asia during 2000–2014 // *Ecol Appl* 28. – 2021. – P. 442-456. <https://doi.org/10.1002/eap.1660>

[13] О пастбищах. Закон Республики Казахстан от 20 февраля 2017 года № 47-VI ЗРК. – URL:<https://adilet.zan.kz/rus/docs/Z1700000047> (дата обращения 5 марта 2023).

[14] Abaturov B. D., Dzapova, R. R. Forage availability to saigas (*Saiga tatarica*) and their state on steppe pastures with a different ratio of graminoid plants and forbs. *Izvestiia Akademii nauk. Seriya biologicheskaja // Rossijskaja akademiia nauk.* – 2015. – Vol. 42. – P. 163-170. DOI: 10.1134/S1062359015020028

[15] Bayarbaatar-Buuveibaatar Dr. Distribution and population dynamics of ungulates in the Mongolian Gobi. *University of Massachusetts.* – 2016. – P. 114. DOI: 10.13140/RG.2.2.14993.02404

[16] Национальный доклад о состоянии окружающей среды и об использовании природных ресурсов Республики Казахстан за 2022 год. – Астана, 2023. – 548 с.

[17] Статистические сборники Агентства РК по статистике «Социально-экономическое развитие Западно-Казахстанской, Мангистауской, Актюбинской и Атырауской областей за 1991-2023 годы».

[18] Махамбетов М. Ж., Мирзадинов Р. А., Утешкалиева А. М., Изимова Р., Куспангалиева Х. К. Мониторинговая оценка процессов деградации пастбищ Атырауской области // *Вестник КазНУ. Серия экологическая.* – 2015. – № 1/1(43). – С. 266-273.

[19] Мирзадинов Р. А., Усен К., Торгаев А. А., Байсартова А. Е. Оценка процессов опустынивания в Казахстане // *Проблемы освоения пустынь.* – 2009. – № 1-2. – С. 14-17.

[20] Изимова Р., Махамбетов М. Ж., Кужамбердиева С. Ж., Хамит А., Койшыгулова Г.У. Оценка воздействия выпасной нагрузки на пастбища Атырауской области // *Вестник Кызылординского университета имени Коркыт Ата. Серия «Сельскохозяйственные науки».* – Кызылорда, 2023. – № 3-2 (66). – С. 51-59.

- [21] Усен К. Оценка устойчивости пастбищных экосистем Эмбинского плато к выпасу: Дис. ... канд. биол. н. – Алматы, 2005. – 120 с.
- [22] Belay D., Geert P., Janssens J. Assessment of Livestock Feed Resources and Coping Strategies with Dry Season Feed Scarcity in Mixed Crop–Livestock Farming Systems around the Gilgel Gibe Catchment, Southwest Ethiopia // Sustainability. – 2021. – Vol. 13(19). – P. 10713. <https://doi.org/10.3390/su131910713>
- [23] Abdel Moniem M.A. El., Ali A., Hassabo I., Bushara M.O., Eisa, I.A. Ishag. Evaluation of pasture degradation and feed resources in North Kordofan state, Sudan // Wudpecker Journal of Agricultural Research. – 2012. – Vol. 1(10). – P. 417-422.

REFERENCES

- [1] Phelps L. N., Kaplan J. O. Land use for animal production in global change studies: defining and characterizing a framework // Glob. Change Biol. 2017. Vol. 23. P. 4457-4471. DOI:10.1111/gcb.13732 (in Russ.).
- [2] Kabzhanova G. R., Sadenova M. A., Beisekenov N. A., Bissebayev A. T. Efficiency of Using Earth Remote Sensing Data for The Rational Use of Agricultural Land // Chemical Engineering Transactions. 2022. Vol. 94. P. 1237-1242. <https://doi.org/10.3303/CET2294206> (in Russ.).
- [3] Nasiyev V., Bekkaliyev A. K., Manolov I. G., Shibaikin B. Influence of grazing technologies on the indices of chestnut soils in Western Kazakhstan // Polish Journal of Soil Science. 2020. Vol. LIII/1. P. 163-180. <https://doi.org/10.17951/pjss.2020.53.1.163> (in Russ.).
- [4] Lapenko N. G., Eroshov F. V., Storchak I. G., Dudenko L. V., Shestakov E. O. Degradation processes in steppe communities and Earth remote sensing data // Achievements of science and technology of the agro-industrial complex. 2018. Vol. 32, No. 10. P. 50-53. DOI: 10.24411/0235-2451-2018-11011 (in Russ.).
- [5] Akiyanova F. Zh., Abitbaeva A. D., Egemberdieva K. B., Temirbaeva R. K. Problems of desertification of the territory of Kazakhstan: Current state and trends of change // Proceedings of the 1st International Scientific and Practical Conference «Desertification of Central Asia: Assessment, Forecast, Management». Astana, 2014. P. 22-27 (in Russ.).
- [6] Geldyeva G. V. Desertification of landscapes of agricultural use // Proc. 1st Int. scientific and practical. conf. Desertification of Central Asia: assessment, forecast, management. Astana, 2014. P. 170-178.
- [7] Mirzadinov R. A., Mirzadinov I. R., Usen K., Torgaev A. A., Abdreshov Sh. A., Imangalieva A. K. Current processes of restoration of desertified lands in Kazakhstan // Regional Bulletin of the East, VKSU. 2012. No. 2(54). P. 25-31.
- [8] Seilkhan A. S., Mirzadinov R. A. Processes of restoration of vegetation cover of pastures of the Kurtinsky rural district of Almaty region // Bulletin of KazNU. Ecological series. 2017. No. 4(53). P. 75-86.
- [9] Taubaev B. Zh. Assessment of the current state of sandy pastures of the Naryn sands // Caspian region: politics, economics, culture. Astrakhan, 2004. No. 1. P. 55-59.
- [10] Trofimov I. A., Trofimova L. S., Yakovleva E. P. Comprehensive geobotanical studies of steppe pastures and hayfields of Russia: a historical review of the activities of the V.R. Williams All-Russian Research Institute of Forage // Voprosy steppevedeniya. 2020. No. 1(XVI). P. 30-36. DOI: 10.24411/9999-006A-2020-10004
- [11] Suleimenov M. Trends in the agriculture of Central Asia and implications for rangelands and croplands. In: Novel Measurement and Assessment Tools for Monitoring and Management of Land and Water Resources in Agricultural Landscapes of Central Asia // Springer International Publishing, Cham, 2014. P. 91-105.
- [12] Zhang G., Biradar C.M., Xiao X., Dong J., Zhou Y., Qin Y., Zhang Y., Liu F., Ding M., Thomas R.J. Exacerbated grassland degradation and desertification in Central Asia during 2000–2014 // Ecol Appl 28. 2021. P. 442-456. <https://doi.org/10.1002/eap.1660>
- [13] About pastures. Law of the Republic of Kazakhstan dated February 20. 2017. No. 47-VI ZRK. – URL: <https://adilet.zan.kz/rus/docs/Z1700000047> (date of access March 5, 2023).
- [14] Abaturov B. D., Dzapova, R. R. Forage availability to saigas (*Saiga tatarica*) and their state on steppe pastures with a different ratio of graminoid plants and forbs. *Izvestiia Akademii nauk. Serii biologicheskaja // Rossijskaja akademiia nauk.* 2015. Vol. 42. P. 163-170. DOI: 10.1134/S1062359015020028
- [15] Bayarbaatar-Buueibaatar Dr. Distribution and population dynamics of ungulates in the Mongolian Gobi. University of Massachusetts. 2016. P. 114. DOI: 10.13140/RG.2.2.14993.02404
- [16] National report on the state of the environment and the use of natural resources of the Republic of Kazakhstan for 2022. Astana, 2023. 548 p.
- [17] Statistical digests of the Agency of Statistics of the Republic of Kazakhstan «Socio-economic development of West Kazakhstan, Mangistau, Aktobe, and Atyrau regions for 1991 to 2023».
- [18] Makhambetov M. Zh., Mirzadinov R. A., Uteshkalieva A. M., Izimova R., Kuspangalieva H. K. Monitoring assessment of pasture degradation processes in Atyrau region // Bulletin of KazNU. Ecological series. 2015. No. 1/1 (43). P. 266-273.
- [19] Mirzadinov R. A., Usen K., Torgaev A. A., Baysartova A. E. Assessment of desertification processes in Kazakhstan // Problems of desert development. 2009. No. 1-2. P. 14-17.
- [20] Izimova R., Makhambetov M. Zh., Kuzhambardieva S. Zh., Khamit A., Koishygulova G. U. Assessing the impact of grazing pressure on pastures in Atyrau region // Bulletin of Korkyt Ata Kyzylorda University. Series «Agricultural Sciences». Kyzylorda, 2023. No. 3-2(66). P. 51-59.
- [21] Usen K. Assessing the sustainability of pasture ecosystems of the Emba plateau to grazing: Dissertation for the degree of candidate of biological sciences. Almaty, 2005. 120 p.
- [22] Belay D., Geert P., Janssens J. Assessment of Livestock Feed Resources and Coping Strategies with Dry Season Feed Scarcity in Mixed Crop–Livestock Farming Systems around the Gilgel Gibe Catchment, Southwest Ethiopia // Sustainability, 2021. Vol. 13(19). P. 10713. <https://doi.org/10.3390/su131910713>
- [23] Abdel Moniem M. A. El., Ali A., Hassabo I., Bushara M. O., Eisa I. A. Ishag. Evaluation of pasture degradation and feed resources in North Kordofan state, Sudan // Wudpecker Journal of Agricultural Research. 2012. Vol. 1(10). P. 417-422.

К. М. Ахмеденов¹, С. К. Рамазанов², А. А. Тургумбаев^{*3}, Д. Ж. Искалиев⁴

¹ География ғылымдарының кандидаты, профессор (М. Өтемісов атындағы Батыс Қазақстан университеті, Әл-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университеті, Орал, Қазақстан; kazhmurat78@mail.ru)

² География ғылымдарының кандидаты, аға оқытушы (М. Өтемісов атындағы Батыс Қазақстан университеті, Әл-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университеті, Орал, Қазақстан; serik-ram@mail.ru)

^{3*} Аға оқытушы (М. Өтемісов атындағы Батыс Қазақстан университеті, Әл-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университеті, Орал, Қазақстан; akhan.turgumbayev@mail.ru)

⁴ Аға оқытушы (М. Өтемісов атындағы Батыс Қазақстан университеті, Әл-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университеті, Орал, Қазақстан; iskaliyev84@mail.ru)

ТҰРАҚТЫ ДАМУ ЖАҒДАЙЫНДА БАТЫС ҚАЗАҚСТАН АЙМАҒЫНДАҒЫ МАЛ АЗЫҚТЫҚ РЕСУРСТАРЫНЫҢ ӨЗГЕРІСІ

Аннотация. Мал шаруашылығын дамыту Қазақстан үшін ауыл шаруашылығы саласындағы басым міндет болып табылады. Бұл жем-шөп базасын ұйымдастыруды, шабындықтар мен жайылымдарды жақсартуды, олардың өнімділігін арттыруды талап етеді. Осыған байланысты Батыс Қазақстанды аумағында жеткіліксіз деңгейде зерттелген аудандардың мал азықтық ресурстарын зерттеу ерекше өзектілікке ие болуда. Жем-шөп ресурстарының жай-күйі туралы өзекті ақпаратты алу, қашықтықтан зондтау деректері мен көзбе-көз бақылаулар негізінде мал азықтық алқаптарының таралуын зерделеу, өзгерістер динамикасын анықтау. Жайылымдық жем-шөп ресурстарын бағалау жайылымдарды басқаруды оңтайландыру үшін маңызды. Жайылымдық жерлерді ұтымды пайдалану малдың өнімділігін арттыруға және мал азығының сапасын жақсартуға мүмкіндік береді, бұл өз кезегінде мал шаруашылығын дамытуға және экономикалық әлауқатқа ықпал етеді. Сонымен қатар, экожүйенің маңыздылығын және оның тұрақтылығын сақтауды ескере отырып, жайылымдардың жем-шөп ресурстарын бағалау оның тозуын болдырмауға және биологиялық әртүрлілікті сақтауға көмектеседі. Жайылымдардағы жем-шөп ресурстарын зерттеудің жайылымдарды басқарудың тұрақты әдістерін дамыту, мал шаруашылығы өнімдерін арттыру және аймақтың экожүйелеріндегі тепе-теңдікті сақтау үшін практикалық маңызы бар. Зерттеу нәтижелері дәстүрлі және инновациялық әдістерді қамтитын жемшөп ресурстарын басқаруға кешенді тәсілдің қажеттілігін көрсетеді. Бұл жер ресурстарын пайдалануды оңтайландырып қана қоймай, мал шаруашылығын, жалпы егін шаруашылығын дамыту арқылы жергілікті халықтың тұрмысын жақсартуға мүмкіндік береді.

Түйін сөздер: жем-шөп ресурстары, жайылымдар, тұрақты даму, экожүйе, биоалуантүрлілік.

К. М. Akhmedenov¹, S. K. Ramazanov², A. A. Turgumbayev^{*3}, D. Zh. Iskaliev⁴

¹ Candidate of Geographical Sciences, Professor (West Kazakhstan University named after M. Utemisov, Kazakh National University named after Al-Farabi, Uralsk, Kazakhstan; kazhmurat78@mail.ru)

² Candidate of Geographical Sciences, Senior Lecturer (West Kazakhstan University named after M. Utemisov, Kazakh National University named after Al-Farabi, Uralsk, Kazakhstan; serik-ram@mail.ru)

^{3*} Senior Lecturer (West Kazakhstan University named after M. Utemisov, Kazakh National University named after Al-Farabi, Uralsk, Kazakhstan; akhan.turgumbayev@mail.ru)

⁴ Senior Lecturer (West Kazakhstan University named after M. Utemisov, Kazakh National University named after Al-Farabi, Uralsk, Kazakhstan; iskaliyev84@mail.ru)

CHANGES IN FORAGE RESOURCES OF THE WEST KAZAKHSTAN REGION IN THE CONTEXT OF SUSTAINABLE DEVELOPMENT

Abstract. The development of animal husbandry for Kazakhstan is a priority task in the field of agriculture. This requires the organization of a forage base, improvement of hayfields and pastures, and an increase in their productivity. In this regard, the study of forage resources in insufficiently studied areas, which include Western Kazakhstan, is of particular relevance. Obtaining modern information on the state of forage resources, studying the prevalence of forage lands based on remote sensing of the Earth and in-kind observations, identifying the dynamics of changes. Evaluation of pasture forage resources is important for optimizing pasture management. Rational use of pastures can increase livestock productivity and improve the quality of forage, which in turn contributes to the development of livestock farming and economic well-being. In addition, given the importance of the ecosystem and maintaining its sustainability, assessing pasture forage resources helps prevent its degradation and preserve biodiversity. Therefore, research into pasture forage resources is of great practical importance for developing sustainable pasture management methods, increasing livestock production, and maintaining a balance in the region's ecosystems. The results of the study highlight the need for an integrated approach to forage resource management that includes both traditional and innovative methods. This will optimize not only the use of land resources, but also improve the living standards of local populations through the development of livestock farming and agriculture in general.

Keywords: forage resources, pastures, sustainable development, ecosystem, biodiversity.

<https://doi.org/10.55764/2957-9856/2025-4-90-106.48>

GTAMP 39.03.19

ӨЖ 911.52

Р. Т. Бексентова¹, М. М. Әлімбаев^{2*}, Е. С. Сарыбаев³, Р. О. Турапова⁴

¹ Г. ғ. д., профессор (Әл-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университеті, Алматы, Қазақстан; bexeitova.roza@gmail.com)

^{2*} PhD докторант (Әл-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университеті, Алматы, Қазақстан; mederkul95@mail.ru)

³ PhD, доцент (Әл-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университеті, Алматы, Қазақстан; edilait@mail.ru)

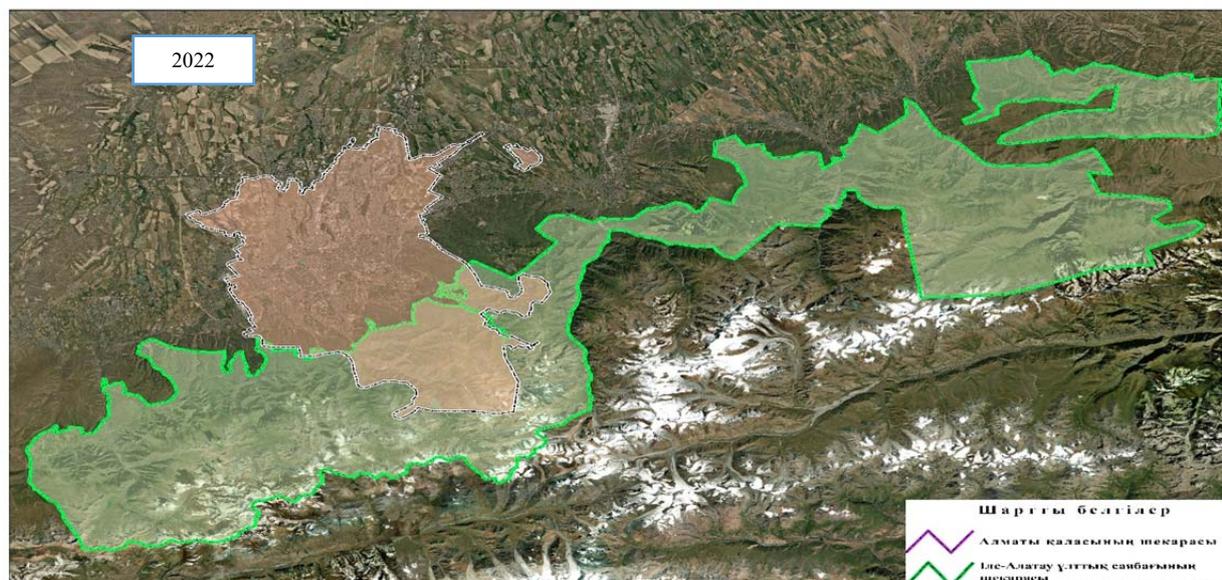
⁴ Аға оқытушы (Әл-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университеті, Алматы, Қазақстан; turapovarahat@gmail.com)

АЛМАТЫ ТАУЛЫ-ТАУАЛДЫ ЗОНАСЫ МЕН ІЛЕ-АЛАТАУ ҰЛТТЫҚ ПАРКІНІҢ ЛАНДШАФТТАРЫНЫҢ ГЕОДИНАМИКАСЫ ЖӘНЕ ТРАНСФОРМАЦИЯСЫ

Аннотация. Мақалада Алматы қаласының таулы-тау алды зонасының және «Іле-Алатау» мемлекеттік ұлттық табиғи паркінің ландшафттық аймақтарының геодинамикасының мәселелері, олардың жағдайы және салыстырмалы бағалары қарастырылған. Соңғы онжылдықтарда осы өзара байланысты геожүйелер шеңберінде табиғи эокожүйелердің бұзылуына әкеліп соқтырған қалалық-тау-алды зоналарының белсенді урбанизациясы және ұлттық парк жерлерін игеру процестері орын алды. Ұлттық парктер геожүйелердің табиғаты мен экологиялық бұзылу дәрежесін зерттеуде салыстырмалы стандарт ретінде қажет. Шаруашылық қызметтің тәуекелдерін барынша азайта отырып, белгіленген геожүйелердің жай-күйін сақтау және тұрақты мониторингілеу оларды оңтайландыру және табиғи геожүйелерді одан әрі қалпына келтіру мақсатында геожүйелерді компоненттік және кешенді зерттеу үшін практикалық қана емес, сонымен қатар үлкен ғылыми маңызға ие. Бұл жұмыстың нәтижесі ландшафттардың құрылымдық карталары мен олардың трансформациялары, сонымен қатар зерттелетін аумақтың табиғи ортасына ағымдағы антропогендік жүктемені бағалау болып табылады. Ұсынылған мәліметтерге сүйене отырып, шаруашылық қызметтің таралу сипатын талдауға және антропогендік әрекеттің нәтижесінде пайда болған «ыстық нүктелерді» түсіру бойынша ұсыныстар беруге болады.

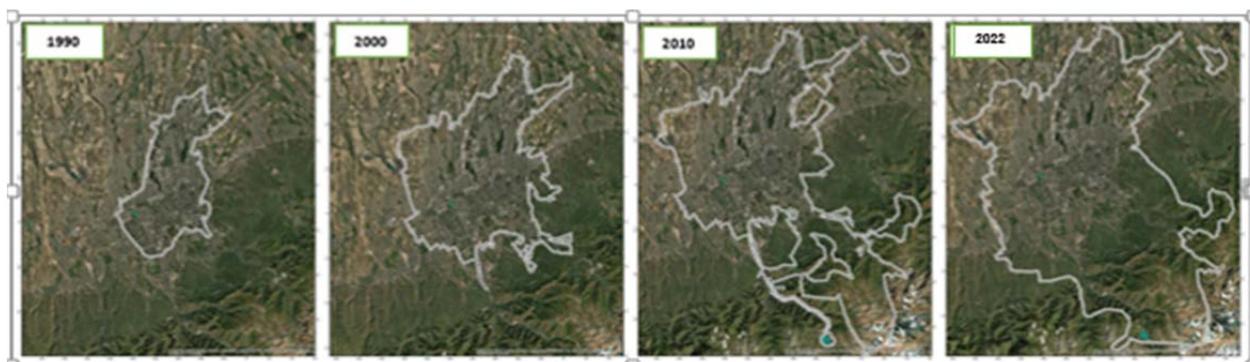
Түйін сөздер: Іле-Алатау ұлттық паркі, геодинамика, геодинамикалық процестер, ландшафттар, тұрақты урбанизация, қоршаған орта.

Кіріспе. Қазақстандағы әлеуметтік-экономикалық себептерден туындаған урбанизация тек жазықтарды ғана емес, сонымен бірге Қазақстанның Шығыс және Оңтүстік-Шығыс тау бөктеріндегі зоналарды да қамтыды (1-сурет). Бұл құбылыс әсіресе Алматының қала аумағының солтүстігінде де, оңтүстігінде тауға қарай өсу белсенділігінде байқалады (2-сурет). Бұл зоналар қолайлы табиғи-климаттық жағдайлармен және, тиісінше, халық үшін өмір сүрудің ыңғайлылығымен ерекшеленеді. Алматы қаласының қала халқының көбеюі геодинамикалық процестердің белсенділігіне әкеліп соқтырды, бұл қалалық жерасты коммуникацияларының жұмысында көптеген бұзылуларға, топырақтың шөгуіне, ғимараттар мен құрылыстардың деформациялары мен қирауына, ал тау алды зоналарда, аласа таулы және орта таулы аймақтарда – тау беткейлерінің бұзылуына және эрозиялық шайылуына табиғи ландшафттардың тозуы мен олардың орнына антропогендік модификацияланған (ауыл шаруашылығы әсерінен өзгеруге ұшыраған) ландшафттардың пайда болуына әкелді. Осы проблемалардың барлығы геодинамикалық процестердің белсенділігіне теріс салдарын анықтау және болжау, оларды сақтаудың Қазақстан үшін ерекше өзекті мәні бар типтік және бірегей тау ландшафттарын қорғау қажеттілігін анықтады. Бұл проблеманы шешудің ең тиімді әдісі ЕҚТА (ерекше қорғалатын табиғи аумақтар) желісін құру болды, оның ішіне ұлттық табиғи парктер мен қорықтар, ал негізгі мақсаты биоалуантүрлілікті сақтау және қолдау болып табылады. Аумақты ұлттық парктер санатына жатқызу табиғатты қорғау функцияларын біріктіруді және қала халқы мен туристердің белсенді танымдық демалысын ұйымдас-тыруды білдіреді. Дегенмен, шаруашылық қызмет барлық жерде максималды «экологиялық» жағдайларға бағынбайды. Соңғысына сүйене отырып, геодинамикалық процестердің белсенділігін



1-сурет– Зерттеу аймағының ғарыштық фотокартасы (Алматы агломерациясы және Іле-Алатау ұлттық паркі, 2020 ж.)

Figure 1 – Photographic maps of the study area (Almaty agglomeration and Ile-Alatau National Park, 2020)



2-сурет – Алматы қаласының урбанизацияланған аумағының өсуі (1990-2022)

Figure 2 – Growth of the urbanized area of Almaty city (1990-2022)

салыстырмалы түрде бағалауда сәйкесінше, ЕҚТА аумақтардың маңындағы таулы-тау алды зоналардың маңындағы ландшафтылары мен қалалық жерлерінің антропогендік өзгеру дәрежесін, ұлттық парк территорияларында биоценоздарды қорғау және қалалық жерлерге геодинамикалық процестердің қауіпті зардаптарының кері әсерін азайту бойынша тиісті ұсыныстарды әзірлеу міндеті туындайды.

Геодинамикалық процестердің белсенділігін және табиғи жүйелер мен олардың құрамдас бөліктерінің ландшафттарының жай-күйін, оның ішінде Оңтүстік және Оңтүстік-Шығыс Қазақстан тауларында антропогендік фактордың салдары нәтижесінде әртүрлі әдістерді қолдана отырып зерттеу мәселесімен көптеген отандық және шетелдік зерттеушілер – И. О. Байтулин, С. Г. Нес-терова [1], В. П. Бочкарев [2], Е. Н. Вилесов [3,4], А. Н. Иванов, П. Чинова [5], А. Л. Кокарев, И. Н. Шестерова [6], Р. М. Насыров, А. А. Соколов және т.б [7], Н. А. Сапарбаев [8], И. В. Северский және т.б. [9], Е. А. Лихачева, Д. А. Тимофеев және басқалары [10], А. Р. Медеу және басқалары [11,12], В. И. Кружалин [13], Л. К. Веселова [14, 15], Р. Т. Бексеитова [16,17,18], Қ. Е. Из-тұрғанов [19], О. Б. Нагиева. [20], КСРО-ның инженерлік геологиясы [21], Р. Т. Лобатская [22], және т.б. айналысқан. Сонымен қатар, осы мәселені бойынша зерттеу нәтижелері ғылыми ұйымдардың қор материалдарында, мемлекеттік басқарудың құрылымдық бөлімшелерінде [23-28] және интернет ресурстарында [29-32] жинақталған.

Бұл жұмыста Іле-Алатау ұлттық паркінің шегіне кіретін таулы-тау алды зонасының белсенді игерілуі мен өсуі және дамуына байланысты геодинамикалық процестердің көріну ерекшеліктері, сондай-ақ осы парктегі ландшафтық жүйенің жай-күйі қарастырылған. Осы жерлердің барлығының игерілуі қалалық жерлер мен инфрақұрылымның мерзімді бұзылуына, сондай-ақ «Іле-Алатау» ұлттық паркінің табиғи экожүйелерінің (ландшафттарының) бұзылуына әкеп соқтыруда және ол жалғасын табуда.



3-сурет – Іле-Алатау жотасының тау етегі - тау аймағының суреті (2013 ж. «Көкжайлау тау шаңғысы курорты (ҚОӘБ)» есебінің суреті. Қоршаған ортаның қазіргі жағдайы, 1-кітап)

Figure 3 – View of the foothill and mountain zones of the Ile-Alatau Range (based on a photograph from the 2013 Environmental Impact Assessment (EIA) report of the «Kok Zhailau Ski Resort», Current State of the Environment, Book 1).

Зерттеу аумағының жер бедері мен ландшафттарының әдеттегі панорамасы 3-суретте көрсетілген. Іле-Алатау ұлттық паркінің табиғи ортасына айтарлықтай үлкен рекреациялық, туристік және тұрғын үй тартымдылығына (реттелген де, ұйымдастырылған да, еркін немесе ұйымдастырылмаған) байланысты күшті антропогендік қысымға ұшырап отыр. Жыл сайын саябаққа орта есеппен 250 мыңнан астам адам келеді, 2019 жылы (ковидтік шектеулер енгізілгенге дейін) келушілер саны 300 мыңға жуық адамға дейін өсті, бұл саябаққа келушілердің ең көп рұқсат етілген деңгейінен 8 есе көп, ал 2022 жылы келушілер саны 712 мың турист пен демалушыға жетті, бұл рұқсат етілген келушілер мөлшерінен 16 есеге асып түсті [24]. Бұл тартымдылықтың себебі, біріншіден, парктің Іле Алатауының солтүстік беткейінде орналасуы, ол биіктік белдеуімен және осының есебінен ландшафтық жүйелердің бірегей алуан түрлілігімен екіншіден, ұлттық парктің Қазақстанның ең ірі қаласы – Алматы мегаполисіне жақын орналасуымен сипатталады.

Бастапқы деректер және зерттеу әдістері. Жұмыс 1990-2022 жылдардағы далалық зерттеулер деректеріне, әдеби дереккөздерге, картографиялық деректерге (ғарыштық суреттер, 1:100 000 масштабтағы топографиялық карталарға, топырақ және өсімдік жамылғысының карталары, жердің сандық үлгісіне), интернет ресурстары мен Іле-Алатау» МҰТП кәсіпорнының қор материалдарына негізделген.

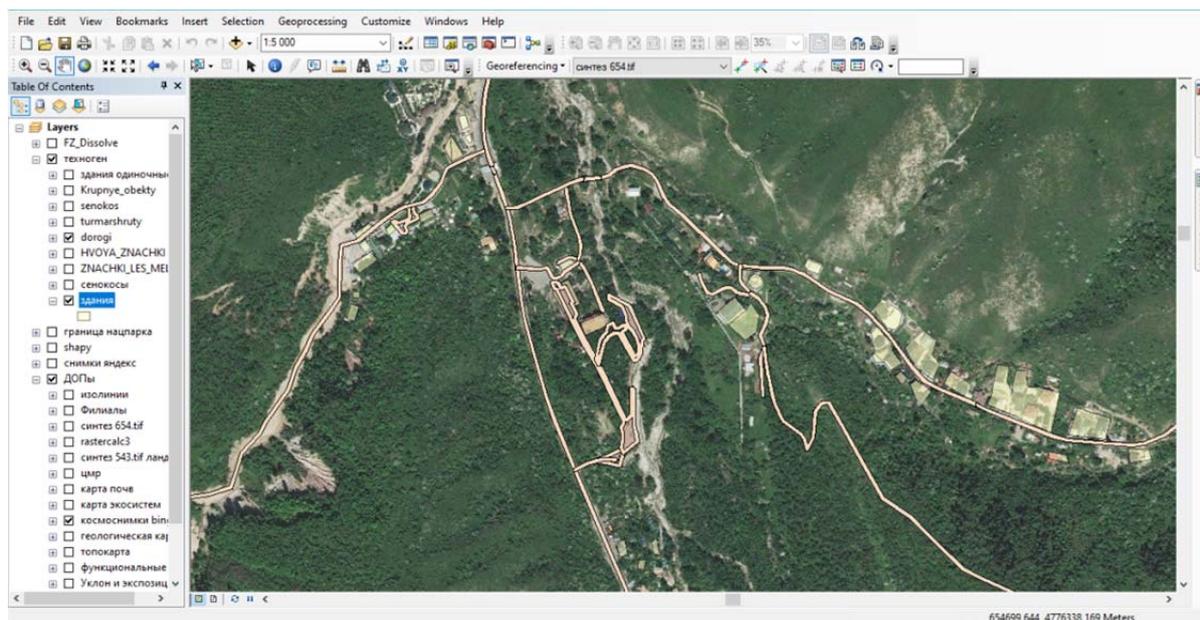
Зерттеу аймағындағы ландшафттық-экологиялық мәселелерді талдаудың әдіснамалық және теориялық негіздері географиялық-территориялық тәсілге негізделді. Оның мәні табиғатты пайдаланудың территориялық дифференциациясын және онымен байланысты тәуекелдер мен

қауіптерді зерттеу, сондай-ақ осы қауіптердің территориялық ерекшеліктерін ландшафттық негізде қарастыру болып табылады. Библиографиялық дереккөздерге шолу жасалып, талдау жүргізілді. Барлық тәуекелдерді талдау әдістерін үш негізгі топқа біріктіруге болады: есептеу-аналитикалық (аналитикалық, теориялық), статистикалық (математикалық-статистикалық, ықтималдық) және эвристикалық (сараптамалық) тәсілдер. Бұл тәсілдер тәуекелдерді зерттеуде әмбебап болып табылады, өйткені олар мазмұндық ерекшеліктеріне, шаруашылық саланың ерекшеліктері мен жағдайына қарамастан қолданылады.

Жұмыста тәуекелдерді бағалаудың аналитикалық тәсілі қолданылды. Қауіптерді бағалау үшін, олар компоненттер бойынша құрылымдалды. Зерттелген аумақтағы тәуекел көздері – антропогендік жүктің барлық негізгі түрлері анықталды. Бұл тәуекел көздері тізіміне далалық зерттеулер, ұлттық саябақ қорындағы материалдарды зерттеу және ғарыштық түсірілімдерді талдау барысында анықталған әртүрлі типтегі ғимараттар мен асфальтталған тұрақ орындары, рекреациялық құрылымдар, жолдар (асфальтталған), асфальтталмаған тұрақ орындары (өсімдіктерсіз), бақтар, шырша отырғызылған алқаптар, туристік маршруттар, шабындықтар мен жайылымдар енгізілді. Шаруашылық қызмет объектілерін бейнелеу үшін ArcGIS бағдарламасының көмегімен әрбір қызмет түріне сәйкес қабаттар жасалды (4-сурет). Айта кету керек, басқалардың арасында сызықтық объектілер болып табылатын асфальт жолдар мен туристік маршруттар картада ені 8 метр болатын алаңдық объектілер ретінде белгіленді. Сызықтық объектілерді алаңдық объектілерге айналдыру процедурасы Buffer құралы (ArcToolbox) көмегімен жүргізілді (5-сурет). Барлық қалған объектілер, визуализация мақсатында, олардың нақты алаңына сәйкес цифрландырылды. Табиғи қауіптер картасында олардың тәуекел сипаттамаларына сәйкес нүктелік, сызықтық және алаңдық объектілер ретінде белгіленді.

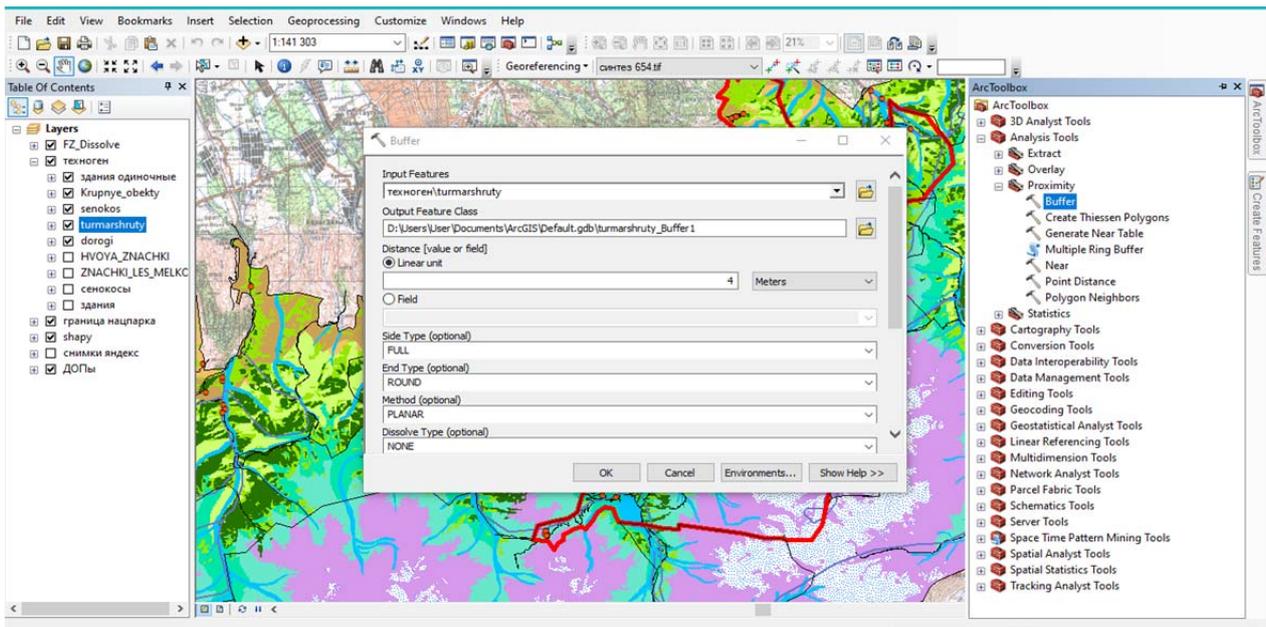
Тәуекелдік жағдайларды туындалатын көздер анықталғаннан кейін шаруашылық қызметтің барлық түрлері үшін, негізгі көздердің қызметі салдарынан туындайтын тәуекелдерді ескеретін оқиғалар тізбегі жасалды (6-сурет). Осылайша, тәуекелдерді табиғи ортаның компоненттеріне бөлу әдістемесінің көмегімен зерттелетін табиғи-техногендік аумақтың әсер ету мен әлсіз модельдері қарастырылып, ұсынылды.

Ландшафт картасын құрастыру жұмысы 2 негізгі кезеңге бөлінді: ұлттық парк және тау алды-қала маңы зоналары шегіндегі табиғи-техногендік ландшафттарды цифрландыру үшін қажетті материалдарды жинау және негізгі бөлімі – осы ландшафттық деректерін цифрландыру. Зерттелетін аумақтың табиғи-техногендік ландшафттарының картасын жасау кезінде әрбір кезеңге



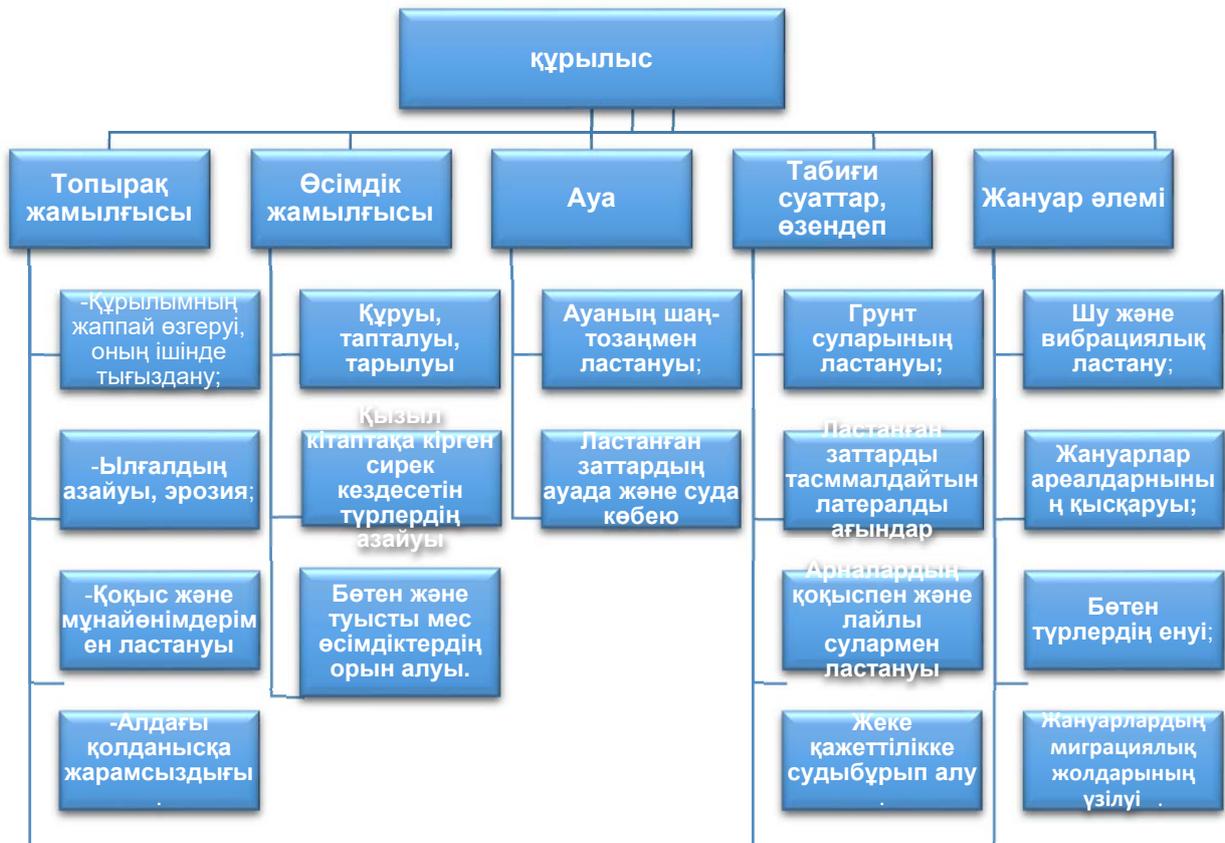
4-сурет – Аймақтың ғарыштық суреттері және ғимараттар мен жолдарды дешифрлеу нәтижелері

Figure 4 – Satellite imagery of the study area and the results of building and road feature interpretation



5-сурет – Buffer/ArcToolBox құралының көмегімен сызықтық объектілерді аландық объектілерге айналдыру процесі

Figure 5 – The process of converting linear features into polygonal features using the Buffer tool in ArcToolbox



6-Сурет – Ұлттық парк аумағында күрделі құрылыстарды салу және пайдалану кезіндегі оқиғалар тізбегі
Figure 6 – Sequence of events during the construction and operation of complex facilities within the national park

тексеру, яғни алынған бөліктерді ғарыштық суреттермен салыстыру жүргізілді. Сондай ақ бірқатар зерттелетін учаскілерде геодинамикалық процестер және олардың зерттелетін аумақтың ландшафттарына әсері туралы далалық зерттеулер деректерімен салыстырылды.

Ұлттық парктің ландшафтық құрылымы мен геодинамикалық процестердің жағдайы және сипатын, түрлерін анықтау үшін баллды бағалау әдіс қолданылды, оның мәні бастапқыда қарастырылып отырған аумақтағы шаруашылық қызметтің барлық түрлерін көрсеткіштерді анықтау үшін алдымен, яғни антропогендік жүктемелер және оларға трансформация баллдары беріледі.

Далалық маршруттарды жүргізу барысында, қор материалдарын зерделеу және ғарыштық суреттерді талдау кезінде Іле-Алау ұлттық паркі аумағының және Алматының таулы-тау алды зонасының шегіндегі шаруашылық қызмет түрлерінің ішінде антропогендік әсердің құрамдас бөліктері анықталды: ғимараттар мен асфальтталған жолдар мен автотұрақтар, рекреациялық құрылыстар, бақтар, шабындықтар, шырша екпелері мен беткейлерден қорғайтын екпелер, туристік маршруттар және асфальтталмаған тұрақтар. Қолданыстағы қызмет түрлерінің тізбесі, олардың жіктелуі және цифрлануы жасалғаннан кейін әрбір түрге әсер ету бағытына (топырақ түзуші тау жыныстары, рельеф, өсімдік жамылғысы, топырақ жамылғысы) аумақтың өзгеру дәрежесіне сәйкес келетін белгілі бір балл беріледі.

Талқылау және нәтижелері. Аумақтың геодинамикасы мен ландшафтық құрылымының қазіргі жағдайын қоршаған ортаның екі – табиғи және антропогендік факторларының әсерінен қалыптасты, олардың маңызды бөлігі антропогендік жүктеме құрайды. Таулы-тау алды зоналарында адамның шаруашылық қызметі мен климаттың ерекшеліктері, жер бедері, геологиялық негіздің күрделі құрылымы табиғи-техногендік сипаттағы геодинамикалық процестердің қарқынды дамуына әкелді. Бұл процестер уақыт бойынша да, ауқымы жағынан да әртүрлі түрде көрінеді. Деструктивті күші бар басты геодинамикалық процестерге, физикалық үгілу, жыраның түзілуі, сел құбылыстары, қарлы және қарлы тасты көшкіндер мен құрламалар, көшкіндер, сейсмогендік процестер, шөгу процестері, тұздану және батпақтану процестері [14-16, 19-20] жатады.

Соңғы онжылдықтарда ТТК жұмысының бұзылуы таулы-тау алды зоналар шегінде және Іле-Алатау ұлттық паркінің аумағында рекреация мен әлсіз бақыланатын жеке тұрғын үй құрылысын (ЖТҚ) сатып алу, әсересе ау айдындарының жағалаулары мен орман алқаптарында, сонымен қатар сондай-ақ шамадан тыс мал жаю және шөп шабу кезінде техниканың бірнеше рет өтуі үлкен әсер етті. Жоспардан тыс құрылыстар және жол төсеу, ағаш отырғызу, бақша отырғызу мен суаруға байланысты ТТК өзгерістер жалғасуда.

Зерттелетін аумақта ландшафттардың келесі түрлері анықталған (7-сурет):

– Неоген-төрттік дәуірінің аллювийлі-пролювийлік, аллювийлік-делювийлік, делювийлі-пролювийлік шөгінділерінен қалыптасқан *Алматы қаласының таулы-тау алды зоналары мен Іле жазықтарының тау алды шөлді және құрғақ далалы ландшафттары.*

– Іле-Алатау ұлттық паркінің ландшафттары, оның ішінде биік таулы ландшафт түрлері:

– Неоген және төрттік саздардан, лесс тәрізді саздақтардан, лесс және малтатастардан тұратын тектоникалық-эрозиялық қыратты ойпаттардың *таулы далалы ландшафттары.*

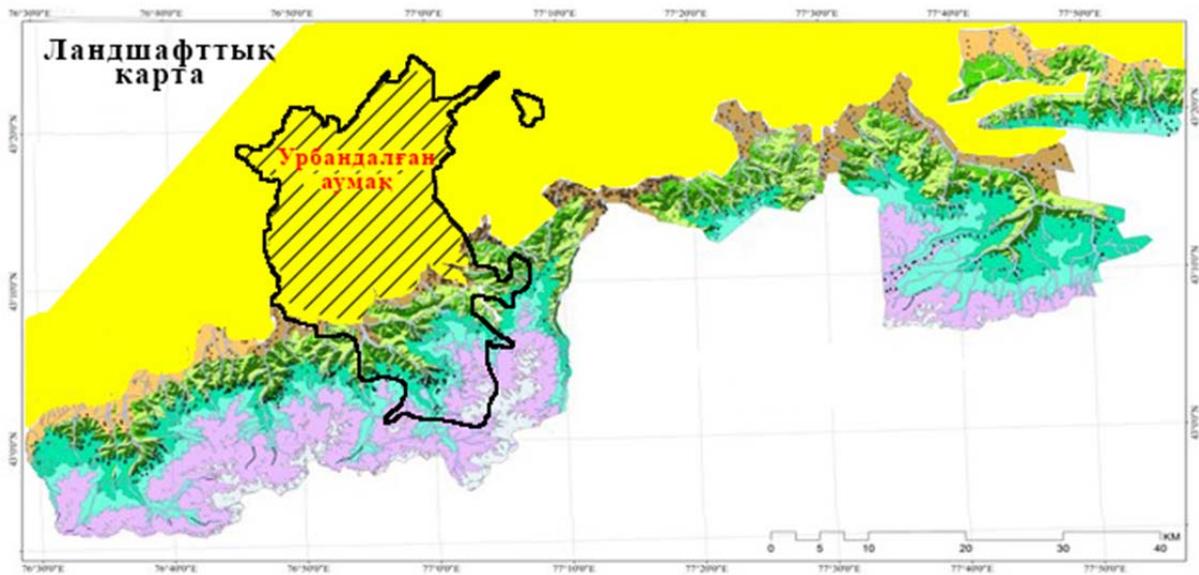
Мұнда ландшафттардың шалғынды далалы және құрғақ далалы қосалқы түрлері ерекшеленген.

– Палеозойға дейінгі және палеозойдың қатпарлы метаморфты эффузивті және шөгінді қабаттарынан құралған, денудациялық-тектоникалық қырқалы-адырлы орташа таулар *аралас орманды және шалғынды-далалы ландшафттары.* Мұнда қылқан жапырақты және ұсақ жапырақты ормандар мен далалы ландшафттарының қосалқы түрлері ерекшеленген.

– Палеозой мен палеозойға дейінгі, метаморфтық, эффузивті шөгінді жыныстарынан, тар аңғарлары мен суайрықтарымен, ежелгі пепелен флангменттері мұздық-нивальді өңдеу нысандары бар тік еңістіктерден, биік таулы Денудациялық-тектоникалық таулы-шалғынды ландшафттардан құралған. Мұнда альпі және субальпі шалғындарының субтиптері ерекшеленген.

– Палеозой мен палеозойдың қатпарлы метаморфты эффузивті және шөгінді қабаттары бар, тасты шөгінділері және топырақ жамылғысы жоқ қарлы-аңғарлы мұздықтары бар денудациялық-тектоникалық тік құламалы биік таулардың таулы-нивальді ландшафттары.

Алматы агломерациясы толығымен дерлік жартылай шөлді және құрғақ далалы ландшафттар бейнелейтін тау етегіндегі Іле жазығындағы тау-алды еңістерінде орналасқан, ол урбанизацияның белсенді өсуіне және қалалық жерлердің өзгеруіне байланысты ландшафт құрылымының максималды түрленуімен ерекшеленеді.

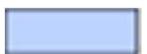


Ландшафт түрлері		Жер бедірінің түрлері	Биік таулы	Орташа биікті таулар		Аласа-таулық	Тектоникалық эрозиялық-төбелі	Тауалды жазық	
				Денудациялық шамалы белесті	Денудациялық-тектоникалық				
					Қырқалы-жонды				Жалды
Гляциальді-нивальді	Мұздықтар								
	Нивальді кешендер								
Таулы-шалғынды	Альпілік шалғын								
	Субальпілік шалғын								
Орманды-шалғынды-далалы	Қылқан жапырақты орман								
	Жалпақ жапырақты орман								
	Далалар								
Таулы-далалы	Шалғынды далалар								
	Құрғақ далалар								
Жазықтық шөлейтті	Тау алды жазықтардың шөлейтті ландшафттары								

Таулы-аңғарлы ландшафттар:



– V – шолу аңғарлары



– U – шолу аңғарлары

Шартты белгілер:



Орманды-шалғынды-далалы зоналардан тыс қылқан жапырақты ормандардың фрагменттері



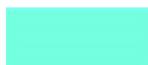
Орманды-шалғынды-далалы зоналардан тыс ұсақ жапырақты ормандардың фрагменттері



Биік таулы мұздықтар



Жекелеген гүлді өсімдіктер, қыналы мен мүктер өскен бедердің альпілік пішіні, қазіргі заманғы мұзбасуы бар биік таулар



Таулық шалғынды топырақта субальпілік және альпілік шалғындар және сазды-шалғынды топырақта шалғын-саздық өскен тегістелу беттердің орта биік таулардың ландшафтылары



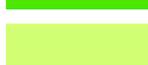
Таулық-шалғындық және шалғынды-далалық топырақтарда түйнекті өсімдіктер өскен қырқалы-жалды орта биік таулар



Таулық-ормандық және таулық-шалғындық топырақта шырша ормандары, қалың бұталар өскен жонды-қырқалы орта биік таулар



Таулық-шалғындық және шалғынды-далалық топырақтарда түйнекті өсімдіктер өскен қырқалы-жалды орта биік таулар



Таулық-ормандық және таулық-шалғындық топырақтарда аршалы сирек ормандармен аралас тараған шыршалы ормандар өскен қырқалы-жалды орта биік таулар



Таулық қоңыр және таулық-шалғынды топырақта түйнекті өсімдіктер өскен жонды-қырқалы аласа таулар



Таулық қоңыр топырақта бұталы-жусанды-тырса және бұталы-сұлыбасты-тырса өсімдіктері өскен аралдық аласа таулар



Корбанатты сұр қоңыр топырақта жусанды-тырса өсімдігі өскен тауалды аллювийлік-пролювийлік жазық

7-сурет – Зерттеу аймағының ландшафттық картасы

Figure 7 – Landscape map of the study area

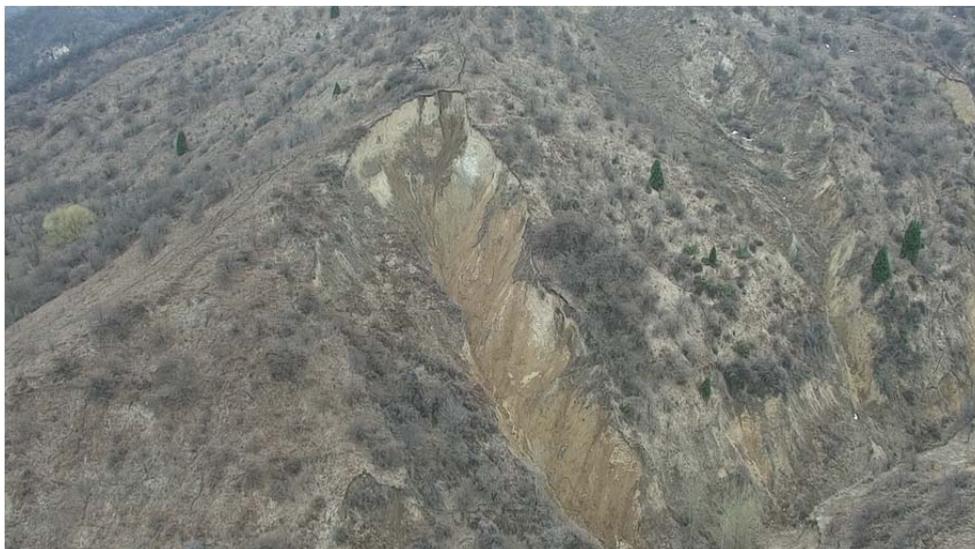
Әртүрлі техногендік әсерлер, оның ішінде қала құрылысын жүйелі жоспарлаудың жоқтығы, жердің нысаналы мақсатындағы өзгерістер (жеке құрылыс және бау-бақша учаскелерінің орнына көпқабатты кешендерді бақылаусыз салынуы) қала аумағында және оның таулы-тау алды зоналарындағы құрылыстың әртүрлі түрлеріне мемлекеттік бақылаудың әлсіздігі геоморфологиялық процестердің табиғи көріністерінің белсенділігіне алып келді, олардың жаңа түрлері мен техногендік аналогтарының қалыптасуына әкелді. Таулы-тау алды зоналарда құрылыс барысында жаңа алаңдарды игеру беткейлерді айтарлықтай кесумен, тегістеумен, террасалаумен жүзеге асырылады, бұл құрылыс жүріп жатқанда қауіпті геодинамикалық процестердің әртүрлі түрлерінің көрінісімен беткейлерді тұрақсыздық жағдайға, әсересе сызықты-тұрпатты эрозияға, жылжымаларға, опырылымдар мен сырғымаларға, қуаттылығы әртүрлі сызықтық көшкіндерге алып келеді.

Табиғи қорғалатын зоналардағы бақылаусыз құрылыстар және Үлкен Алматы, Кіші Алматы, Весновка (Есентай), Ақсай және басқа өзендердің маңындағы, сонымен қатар қауіпті сібір жарасы қорымына өте жақын орналасқан («Таулы Қырат» шағын ауданы) реттелмеген қалалық құрылысының жағдайы қауіпті геодинамикалық процестердің күшеюіне (белсенділігіне) алып әкеледі.

Зерттелетін аумақ шегіндегі ең көп таралған және қауіпті геодинамикалық процестерге сызықты-тұрпатты және жыралық эрозия, үгілу, суффузиялық шөкпелер, жер асты суларының деңгейінің көтерілуі және еріген сулармен су деңгейінің көтерілуі, су тасқындары, жылжымалар (табиғи, антропогендік шартты әсер ететін, сейсмикалық көшкіндер) опырылымдар және сырғымалар, көшкіндер.

Сызықтық-түрпатты эрозия зерттелетін аумақтың барлық территориясында, әсіресе еңісті аймақтарында сирек өсімдік жамылғысы немесе құрылыс учаскелерінде техногендік шөгінділермен жабылуы байқалады (8-сурет).

Жыралық эрозия жергілікті өзен аңғарлары мен олардың салаларымен түзеледі. Қалалық территория ішіндегі кіші жыралылық сонымен қатар еріген су мен жауынды ағындардың сызығыдағы асфальт төселмеген жерлерде пайда болады (8-сурет).



8-сурет – Бүйірлік және түптік эрозия процестері қарқынды ағатын, жылға ұзындығын бойлай жылжымалар тудыратын нөсерлі көшкін ошағы, Милютин жырасайы

Figure 8 – Mudflow source area in the Milyutin gully, characterized by intensive lateral and basal erosion processes that cause longitudinal landslides along the channel

Үгілу таулы-тау алды зоналардың беткейлері мен борпылдақ шөгінділердің жамылғысы астында, түпкі тау жыныстарының таралу зонасында белсенді түрде жүреді. Бұл әртүрлі құрылыстар мен жолдардың іргетасы қалану барысында, онда жер асты суларының белсенді айналымы мен топырықтың шайылуында немесе майда топырақтардың бөліктерінде пайда болады, сондықтан процесс бұл өте қауіпті және жасырында сипатта жүреді. Бұл процесс бүкіл зерттеу аймағына тән, бірақ өзен аңғарларының ашық және кесілген беткейлеріндегі ұлттық парктің аумақтарын қамтитын Алматының таулы-тау алды зоналарында белсендірек және қауіптірек көрінеді (9-сурет).



a



b



b

9-сурет – Кесілген беткейлі қорым (a), беткей етегінде кесілген және бекітілген (b) және жылжыма-сырғыма беткейі (c) (фото Н. Жалелова, 2021)

Figure 9 – Cut-slope burial mound (a), cut and stabilized slope base (b), and landslide-slip surface (c) (photo by N. Zhalelova, 2021)

Суффозиялық процестер барлық қала аумағында, бірақ олар әсіресе қалалық жерлердің оңтүстік жартысында және Алматы қаласының таулы-тау алды зоналарының аймағында лёсс тәріздес топырақты аймақтарда белсенді дамыған.

Субасу және су тасқыны – бұл қалалық жерлердің солтүстік аудандары үшін өзекті мәселе, біріншіден, өзен ағыстарының жер астына тартылуы салдары әсерінен жер асты су деңгейінің көтерілуі өзен аңғарларын жоспарлауда, екіншіден, су өткізгіш коммуникациялардағы серпілістер және олардың суларының топыраққа сіңуі нәтижесінде болды. Лёсс тәріздес шөгінділер мен аллювиальды саздақтардың және құмды саздардың жамылғыларының сулануы жер асты ағыстарына кететін өзендердің бағыты бойынша салынған қалалық жол желісі мен қала көшелерінің бойындағы тұрғын үйлердің деформациялануына себеп болды. Су басу лёссті топырақтардың шөгуіне, жасырын суффозиялық процестерге, сейсмикалық қауіптің жоғарылауына, жылжымалардың дамуы мен осы процестерге тән ғимараттар мен құрылыстардың деформациясына әкеледі. Қалалық аумақтарды су басу кезінде құрылыстардың әртүрлі типтерінде, ғимараттардың іргетасында жоғарыда қарастырылған құрылымдық-тұрақсыз топырақтардың беріктігінің төмендеуі байқалады.

Жылжымалар, әсіресе Алматының қалалық аумағының тау алды-таулы зоналарында белсенді және таулы беткейлері мен өзен аңғарлары бойымен орналасқан жеке тұрғын үй және рекреациялық құрылыстарға, жерасты құбырларына, жол желілері үшін қауіп төндіретін фактор болып табылады. Ең қауіпті жылжымалар антропогендік негізделген және сейсмикалық болып табылады. Тау алды беткейлерді террасалау және олардың құрылысын қарқынды дамыту, беткейлердің табан бөліктерін кесу және ағаштарды кесу беткейлердің антропогендік негізделген масштабтарының ұлғаюына әкелді. Зерттелетін аумақтың сейсмикалық қауіпті зонада орналасуы (9-10 баллдық сейсмикалық), төмен және орташа сейсмикалық дүмпулер (3-тен 5 баллға дейін) тау жыныстарының физикалық қасиеттерінің өзгеруі және жайғасуы қалыпты жағдайлардағы әртүрлі бұзылуымен бірге жүреді [19]. Таулы және тау алды аудандарда бұл бұзылулар жылжымалар, опырылымдар және жер бетіндегі шөгінді жамылғылардың тұтастығының бөлінуі түрінде көрінеді. Морфология бойынша соңғы онжылдықта белсенді түрде дамып келе жатқан Ақсай, Үлкен және Кіші Алматы өзендерінің бассейндерінде туындаған сейсмикалық құбылыстардан туындаған жылжымалардың төрт түрі анықталды: күмбез тәріздес, мұздық (жер сілкінісі кезінде тиксотропты сұйылту және лайлы массаларының ығысуынан туындайтын), түзу сызықты (беткейлерде қуаттылығы төмен лёсс жыныстарының жақын жайғасуы), екінші (бұрынғы процестермен дайындалған, хаотикалық пішіндері бар) [1, 19-22].

Талқылау. *Опырылымдар*, беткейлерден тау жыныстарының кенеттен құлауы, олардың беткей етегінде хаотикалық (ретсіз) жиналуымен тау жыныстарының бөлшектенуімен бірге жүреді. Құлаған массалардың көлемі бірнеше ондаған текше метрден жүздеген және мыңдаған текше метрге дейін өзгеруі мүмкін. Опырылымдардың ең көп таралуы 2800-3000 м-ден жоғары абсолютті биіктіктерде байқалады, мұнда үлкен жартасты тау жыныстарының шығуы байқалады. Опырылымдар кенеттен пайда болады және жер массасы қозғалысының жоғары жылдамдығымен сипатталады. Опырылымдық процестері негізінен Үлкен, Кіші Алматы және Ақсай өзендері бассейндерінің бастауларында дамыды, мұнда түпкі тау жыныстарының үлкен шөгінділері және физикалық үгілудің қарқындылығы байқалады. Опырылымдар әсіресе жол құрылысы кезінде қорғаныс құрылыстарын қолданбай беткейлерді кесу нәтижесінде күшейеді. Бірақ ең үлкен опырылымдар жер сілкінісімен байланысты, өйткені зерттелетін аумақ сейсмогендік аймақта, ендіктік соғудың үлкен терең жарылыстары шоғырланған зонада орналасқан [19-22].

Тұрғын үй, рекреациялық және жол құрылысы, шөп шабу және ағаштарды кесу, реттелмеген көлік тұрағы салдарынан *сырғымалар және қорымдар*, әсіресе Алматы қаласының тау алды-таулы зоналарының беткейлеріне тән. Олар тау беткейлерінің делювиалды-пролювийлік шөгінділерінің беті ұсақ топырақ тәріздес материалынан (лёсс тәрізді саздақтардан, құмдақтардан) тұратын жалаңаш аймақтарда дамиды және беткейлердің етегінде орналасқан әртүрлі құрылыс ғимараттары мен жолдар үшін қауіп төндіретін фактор болып табылады.

Селдер - зерттелетін аумақтың қауіпті табиғи процесі, ол Алматы мен оның таулы-тау алды зоналары территориялары үшін ең өзекті мәселесі болып отыр (10-сурет).



10-сурет– Қарғалы өзеніндегі сел ағынының іздері. 2015 жылғы 23 шілде (фото Даурен Исаев)
 Figure 10 – Traces of a debris flow in the Kargaly River on 23 July 2015 (photo by Dauren Isaev)

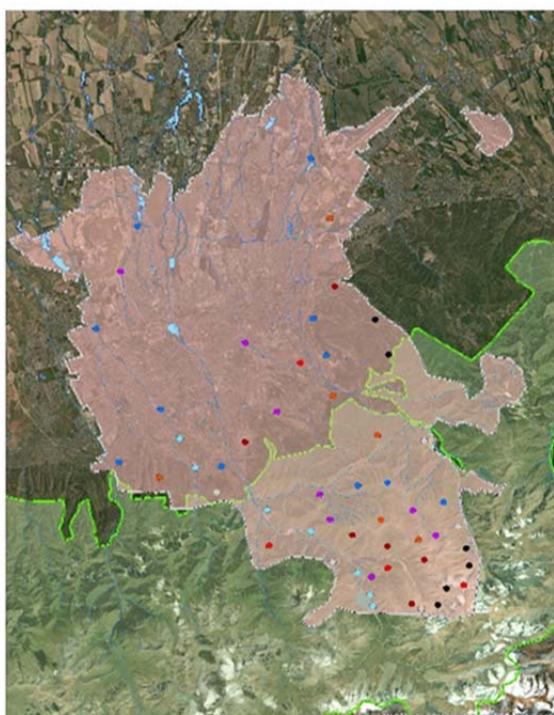
Күрделі инженерлік-геологиялық жағдайларды есепке алмай қала аумағының территориясы таулы аймаққа енуі оның ішінде жеке-тұрғын үй және рекреациялық құрылыстардың жайылма, өзен аңғарларының беткейлері мен террасаларда дамуы (шөгетін лесс тәрізді топырақтардың қасиеттері және құрамы, геологиялық құрылымы, жер бедерінің морфологиясы мен морфометриясының ерекшеліктері) қауіпті геодинамикалық процестердің су басу және *сырғымалардың, жылжымалардың, тау беткейлері эрозиясының дамуына себеп болды. Бұл процестер селдік тасқындардың жойқын күштерін одан әрі күшейтеді.* Төменгі және орташа балдық сейсмикалық дүмпулер де көшкіндердің пайда болуына себеп болады.

Іле-Алатау ұлттық саябағының оңтүстік шекараларына дерлік жеткен Алматы қаласының және оның таулы-тау алды зонасының аймағындағы геодинамикалық процестердің қауіптілік дәрежесі мен көріну сипаты әртүрлі (1-сурет). Геодинамикалық процестердің белгіленген көрсеткіштерін сипаттау үшін бағалаудың келесі түрлері қолданылды: 1-ден 5-ке дейінгі баллдардағы қауіптілік түрі (айнымалы – 1/2, тұрақты – 3, потенциалды – 3/4 және апатты – 5) және таралу сипаты, сонымен қатар 5 балдық жүйеде (сызықтық-аудандық, аудандық және аралдық). Олардың қосындысы геодинамикалық процестің қауіптілік дәрежесін анықтайды (1-кесте). 2020-22 жылдарға арналған қала аумағындағы геодинамикалық процестердің кеңістіктік көріністері Алматы қаласының геодинамикалық картасында көрсетілген (11-сурет).

1-кесте – Геодинамикалық (табиғи және техногендік) процестердің қауіптілік дәрежесі

Table 1 – Risk levels associated with geodynamic processes (natural and anthropogenic)

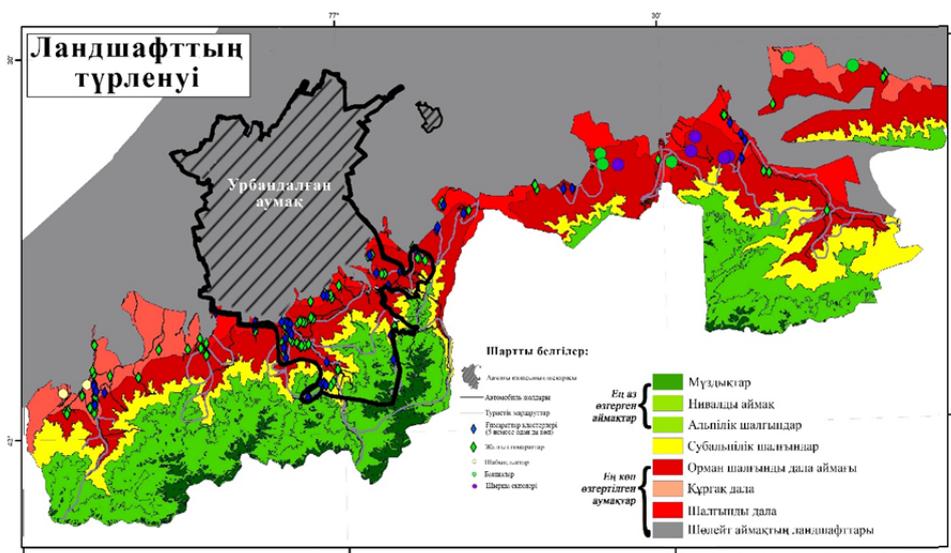
Геодинамикалық процесстер	Қауіптің түрі (балл)	Таралу үлгісі (балл)	Қауіптік деңгейі (жинақталған баллдар)
Сызықтық-тұрпатты эрозия	Құбылмалы – 1/2	Сызықтық-ауданды – 1/2	4
Жыралық эрозия	Құбылмалы – 3	Сызықтық-ауданды – 3	6
Үгілу	Тұрақты – 3	Ауданды – 4	7
Суффозия	Тұрақты – 4	Ареалды – 3	7
Жерасты сулардың басуы	Апатты – 5	Ареалды – 5	10
Беткейлік көшкіндер	Потенциалды – 4	Ауданды – 4	8
Жылжымалар және сырғымалар	Потенциалды – 3	Ауданды – 4	7
Селдер	Апатты – 5	Сызықтық-ауданды – 5	10



- Сызықтық-түрпатты эрозия
- Жыралық эрозия
- Үгілу
- Суффозия
- Жерасты сулардың басуы
- Беткейлік көшкіндер
- Жылжымалар және сырғымалар
- Селдер

11-сурет – Алматы қаласының аумағындағы геодинамикалық процестердің көріністерінің ғарыштық фотокартасы
 Figure 11 – Satellite photomap showing manifestations of geodynamic processes in the territory of Almaty city

Зерттелетін аумақтың ландшафттық құрылымын талдау жасау барысында адамның шаруашылық қызметі мен оған байланысты табиғи-техногендік геодинамикалық процестер әсерінен ең қатты өзгеріске ұшыраған ландшафттар Алматының таулы-тау алды зоналарындағы орманды және шалғынды-далалы, құрғақ далалы және шалғынды дала ландшафттары болып табылатынын көрсетті. Бұл жағдай олардың даму тарихына, осы ландшафттық аймақтардың Алматы қаласына жақын орналасуына және пайдалану мүмкіндіктерін айқындайтын табиғи ерекшеліктеріне байланысты (рекреациялық әлеуеті мен үлкен ресурстарын) шаруашылықтың қызметтің әртүрлі түрлері үшін пайдалану мүмкіндіктерін анықтау. Таулы ландшафттардың түрлену дәрежесі 1-ден 7-ге дейінгі баллмен бағаланады (12-сурет).



12-сурет – Зерттелетін аумақтың ландшафттарының өзгеру дәрежесі
 Figure 12 – Degree of landscape changes in the study area

2-кесте – «Іле-Алатау» мемлекеттік ұлттық табиғи паркі ландшафттарының антропогендік өзгерістерін сандық бағалау

Table 2 – Quantitative assessment of anthropogenic changes in the landscapes of Ile-Alatau State National Natural Park

Объект типтері	Гляциальді-нивальді			Таулы-шалғынды		Орманды-шалғынды-далалы	Таулы-далалы	
	Балдар	Мұздықтар	Нивальді зона	Альпілік шалғын	Субальпілік шалғын	Орманды-шалғынды-далалы	Шалғынды далалар	Құрғақ далалар
Алматы қалалық таулы-тау алды зоналарындағы ғимараттар мен асфальтты автотұрақтар	7	0	0	0	0,029	0,733	0,956	0,146
Жолдар	6	0	0,193	0,211	0,435	1,773	0,779	0,689
Асфальт төселмеген тұрақтар	5	0	0	0	0,001	0,01	0,003	0,024
Бақшалар	4	0	0	0	0	0,232	0,267	0,7
Шырша екпелері	3	0	0	0	0	0,896	0	0,265
Туристік маршруттар	2	0,037	0,252	0,298	0,509	1,432	0,363	0,06
Шабындықтар	1	0	0	0	0	0,137	0,271	1,841
Жалпы дәрежесінің түрленуі (ландшафттық белдеу)		0,074	1,886	1,862	3,836	22,436	13,446	10,832

Антропогендік әрекеттің әсер ету дәрежесі бойынша ландшафттар мен зерттеу материалдарының түрлендірілуінің құрастырылған картасын талдау негізінде келесі аймақтар бөлінді (2-кесте):

1. Парк ауданының 25%-ын (509 км²) мұзды-нивальді зонасы алып жатыр, антропогендік әсерге ең аз ұшыраған, бірақ мұнда климаттың жаһандық жылынуы салдарынан мұздық аудандарының қысқаруы факторы маңызды рөл атқарады. 1990 жылдан 2018 жылға дейінгі кезеңде мұздықтардың қысқаруы 40% немесе 35,6 км² құрады, ал ұзындығы жыл сайын 5-10 метрге қысқарып отыр [3].

2. Парк ауданының 29,4%-ын (598,3 км²) алып жатқан таулы-шалғынды ландшафттар мұздық-нивальдіден кейінгі ең аз өзгерген ландшафттар қатарына жатады, мұнда антропогендік бұзылған ландшафттардың (жайылымдарды қоспағанда) жалпы ауданы 1,5 км² құрайды. Таңдалған объектілер класының ішінде мұнда асфальт жолдар, ғимараттар және туристік маршруттар кездеседі. Табиғи ортаның бұл бөлігіне ең үлкен әсер ететін бұл жол төсемдері.

3. Парк ауданының шамамен 29,6%-ын (602 км²) алып жатқан аралас орманды және шалғынды-далалы зонасы басқа ландшафттық зоналармен салыстырғанда ең өзгеріске ұшыраған аймақ болып табылады. Мұнда антропогендік әрекеттің барлық қарастырылған түрлері кездеседі. Антропогендік әсерден бұзылған ландшафттар алып жатқан жалпы ауданы 5 км².

4. Парк ауданының 16% немесе 320,4 км² алып жатқан таулы -далалы зонасы (немесе альпілік шалғындар зонасы) барлық қарастырылғандардың ішінде орташа өзгеріске ұшыраған болып табылады. Мұнда да аралас орманды және шалғынды-далалы зонасында антропогендік әрекеттің барлық қарастырылған түрлері кездеседі. Антропогендік бұзылған ландшафттар алып жатқан жалпы ауданы 6,4 км².

Зерттеу аумағының аспектісіндегі ең үлкен құндылығы тау етегіндегі құрғақ далалы, орманды-шалғынды-далалы және шөлейтті аймақтарда биоәртүрліліктің жойылуымен, олар ең жоғары флористикалық және фауналық әртүрлілігімен және Қызыл кітап енгізілген түрлерінің ең көп шоғырлануымен ерекшеленеді. Сонымен қатар бұл аймақтар ең үлкен антропогендік жүктемені алып отыр.

Сондай-ақ, антропогендік өзгеріске ұшыраған ландшафттардың Алматы қаласының шекарасына іргелес жатқанын және абсолютті биіктіктердің өсуіне қарай олардың саны мен алып жатқан аумақтардың азаятынын атап өткен жөн. Бұл үш негізгі факторға байланысты: біріншіден, бұл объектілердің таралу аймағы шектеулі, яғни олар экономикалық белсенділік аймағымен шектеледі; екіншіден, қызмет көрсетуге қолайлы жағдайлар қаланың жақындығымен және жалпы қолже-

тімділікпен байланысты; үшіншіден, жер бедері мен беткей еңістері бойынша бұл аумақтар объектілерді орналастыруға ең қолайлы болып табылады.

Осылайша, 4 ландшафттық зоналар әртүрлі өзгеру дәрежесіне бөлінді: гляциалді-нивальді – төменгі дәрежеде, таулы-шалғындық – орташа, орманды-шалғынды далалы – жоғары, таулы-далалы – орташадан жоғары.

Қорытынды. Зерттелетін аумақ үшін құрастырылған ландшафттық картада (Алматы қаласының таулы-тау алды зонасы және Іле-Алатау ұлттық паркінде) 4 ландшафттық зоналар (гляциальді-нивальді, таулы-шалғындық, аралас орманды және шалғынды-далалы және таулы-далалы) белгіленген, ал олардың шекараларында – әртүрлі өзгеру дәрежесімен сипатталатын 7 ландшафттық белдеу (мұздық, нивальді, альпі шалғындары, субальпі шалғындары, аралас орман және шалғынды-дала зонасында аралас және қылқан жапырақты ормандар, шалғынды далалар, құрғақ далалар және шөлейттер) антропогендік іс-әрекеттерден туындаған өзгеру дәрежесінің әртүрлілігімен сипатталады. Ландшафттардың өзгеруі түріндегі табиғи ортаға қауіп төндіретін объектілер анықталды, жекелеген құрылыс объектілерін орналастыру нәтижесіндегі себеп-салдарлары бағаланды.

Әртүрлі типтегі және мақсаттағы ғимараттар мен асфальтты автотұрақтар, берік іргетасы жоқ стихиялық тұрақтар, жолдар, бақтар, шырша екпелері, туристік маршруттар мен шабындықтар адам қызметінің негізгі құрамдас бөліктері ретінде қарастырылды. Жоғарыда келтірілген деректердің және олардың жер бетіндегі орналасуының негізінде зерттелетін аумақ (Іле-Алатау ұлттық паркінің аумағы және Алматы қаласының таулы-тау алды зонасының) шегіндегі ландшафттық аумақтардың өзгеру дәрежесін көрсететін карта құрастырылды.

Күрделі азаматтық құрылыстарды, тұрғын үй және жол құрылыстарын және ерекше рекреациялық құрылыстар мен әртүрлі құбырларды салу кезінде қауіпті деп саналатын геологиялық процестердің ғылыми мониторингі мен инженерлік болжамы қарастырылып есепке алыну қажет. Бұл қазіргі қала құрылысын сақтау үшін де, 2018 жылы Алматы қаласының жобалаушылары орындауға кіріскен жаңа бас жоспарды әзірлеу кезінде де қажет.

ӘДЕБИЕТ

[1] Байтулин И. О., Нестерова С. Г. К вопросу о пространственном распределении растительности хребта Илейский Алатау // *Новости Национальной академии наук Республики Казахстан*. – 2015. – Вып. 312. – С. 19-27.

[2] Бочкарев В. П. Инженерная геология и геоэкология в институте АН РК // *ҚР ҰҒА-ның Хабарлары. Геологиялық сериялары*. – 2010. – № 3. – Б. 148-153.

[3] Вилесов. Е. Н. Изменение размеров и состояния ледников Казахстана за 60 лет (1955–2015 гг.) // *Лёд и снег*. – 2018. – № 2. – С. 159-170.

[4] Вилесов Е. Н. и др. Изменение климата города Алматы за последние 130 лет // *Вестник КазНУ*. – 2013. – № 2/2. – С. 74-83.

[5] Иванов А. Н., Чижова В. П. Охраняемые природные территории: Учебное пособие. – М.: МГУ, 2010. – С. 119.

[6] Кокарев А. Л., Шестерова И. Н. Изменение ледниковых систем северного склона Заилийского Алатау во второй половине XX и начале XXI вв. // *Лёд и снег*. – 2011. – № 4. – С. 39-46.

[7] Насыров Р. М., Соколов А. А. Краткая характеристика вертикальной почвенной зональности и почв окрестностей города Алма-Аты. – Алма-Ата: Изд-во Академии наук Казахской ССР, 1988. – С. 32.

[8] Сапарбаева Н. А. Роль Иле-Алатауского государственного национального природного парка в сохранении биоразнообразия растений Казахстана // *Экология: рациональное природопользование и безопасность жизнедеятельности*. – Алматы: Изд-во КазНУ, 2017. – С. 65-67.

[9] Severskiy I. and others. Changes in glaciation of the Balkhash–Alakol basin, central Asia, over recent decades // *Annals of glaciology*. – 2016. – P. 382-394.

[10] Рельеф среды жизни человека (экологическая геоморфология) // Ответственные редакторы Лихачева Э. А. и Тимофеев Д. А. – М.: Медиа-ПРЕСС, 2002. – 640 с.

[11] Медеу А. Р., Тасболат Б., Киренская Т. Л., Ботбаев А. К. Концептуально-методологические основы оценки селевого риска // *Вестник КазНУ. Сер. географическая*. – Алматы, 2005. – № 2(21). – С. 26-31.

[12]. Медеу А. Р., Благовещенский В. П., Баймолдаев Т. А., Киренская Т. Л., Степанов. Б. С. Основы мониторинга в Иле Алатау // *Селевые явления Юго-Восточного Казахстана*. – Алматы, 2018. – Т. 2, ч. 2. – С. 288.

[13] Кружалин В. И. Экологическая геоморфология суши. – М.: Научный мир, 2002. – № 3(46). – С. 131.

[14] Веселова Л.К. Развитие рельефообразующих процессов горных территорий аридной зоны Центральной Азии // *Материалы XXVII Пленума Геоморфологической комиссии РАН и VII Всероссийского научного семинара «Самоорганизация и динамика геоморфосистем»*. – Томск: Изд-во Института оптики атмосферы СО РАН, 2003. – С. 315-317.

[15] Веселова Л. К. Проблемы экологической геоморфологии Казахстана // *Материалы международной научно-практической конференции «География Казахстана: содержание, проблемы, перспективы»*. – Алматы, 2006. – С. 49-51.

- [16] Бексеитова Р. Т., Көшім А.Ф. Anthropogenic factors of the morphogenesis of the arid zone of Kazakhstan (Central Kazakhstan) // Вестник КазНУ. Серия географическая. – 2017. – № 3(46). – С. 77-82.
- [17] Ormanova G. G., Jay Sagin, Bekseitova R. T. Analysis of land degradation and vegetation in the Zhezkazgan copper ore region according to the satellite images LANDSAT // КазНУ Хабаршы. География сериясы. – 2018. – № 1(48). – С. 45-57.
- [18] Bekseitova R. T., Veselova L. K., Koshim A. G., Kozhahmetova U. K. Morpho-orographic and morpho-climatic factors of exomorphic dynamics of denudation platform plains of Kazakhstan // Life Science Journal (<http://www.lifesciencesite.com>). – 2014. – Vol. 11(10 SPEC. ISSUE). – P. 243-249.
- [19] Изтурганов К. Е. Мониторинг опасных геологических процессов с применением БПЛА: Магистерская диссертация (на правах рукописи). – Алматы, 2021. – 50 с.
- [20] Нагиева О. Б. Опасные геодинамические процессы и явления северного склона хребта Илейского Алатау (Приалматирский район) // Известия НАН РК. Сер. геологическая. – 2009. – № 5. – С. 92-98.
- [21] Инженерная геология СССР / Под ред. В. И. Дмитровского. – М., 1977. – Т. 6. – 293 с.
- [22] Лобацкая Р. М. Модели поведения геологической среды урбанизированных территорий для оценки приемлемого риска формирования природных и природно-техногенных чрезвычайных ситуаций // Инженерно-геологические проблемы урбанизированных территорий : материалы Междунар. симпозиума. – Екатеринбург, 2001. – Т. 1. – С. 287-292.
- [23] Государственная программа развития туристской отрасли Республики Казахстан до 2025 года. – Астана, 2018. – 159 с.
- [24] Иле-Алатауский государственный национальный природный парк. – Алматы, 2015. – 208 с.
- [25] Корректировка технико-экономического обоснования Иле-Алатауского государственного национального природного парка в части генерального плана развития инфраструктуры. – Алматы, 2019. – 155 с.
- [26] План управления Иле-Алатауского ГНПП на 2015-2019 гг. – Алматы, 2016. – 225 с.
- [27] Результаты мониторинга национальных парков Алматинской области в 2017 году. Алматы: Экологическое общество «Зеленое спасение». 2018. – 142 с.
- [28] Итоги мониторинга Национального природного парка «Иле Алатау» в 2022 году. Перспективы развития экологического туризма. – Алматы, 2023. – 172 с.
- [29] Климатические данные городов по всему миру [электронный ресурс]. Режим доступа: <https://ru.climate-data.org/>
- [30] Об особо охраняемых природных территориях Закон Республики Казахстан от 7 июля 2006 года, № 175-III (с изменениями и дополнениями по состоянию на 28.10.2019 г.) [электронный ресурс]. Режим доступа: <https://online.zakon.kz/>
- [31] Официальный сайт Иле-Алатауского национального парка [электронный ресурс]. Режим доступа: <http://www.ile-alatau.kz/>
- [32] United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization [электронный ресурс]. Режим доступа: <http://whc.unesco.org/en/statesparties/kz>

REFERENCES

- [1] Baitulin I. O., Nesterova S. G. On the spatial distribution of vegetation of the Ileysky Alatau ridge // News of the National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan. 2015. Issue 312. P. 19-27.
- [2] Bochkarev V. P. Engineering Geology and geoecology in the institute an RK // RK Reports of the NAS. Geological series. 2010. No. 3. P. 148-153.
- [3] Vilesov E. N. Change in the size and condition of glaciers in Kazakhstan over 60 years (1955-2015) // Ice and Snow. 2018. No. 2. P. 159-170.
- [4] Vilesov E.N. et al. Climate change in Almaty over the past 130 years // Bulletin of KazNU. 2013. No. 2/2. P. 74-83.
- [5] Ivanov A. N., Chizhova V. P. Protected natural territories: A textbook. Moscow: MSU, 2010. 119 p.
- [6] Kokarev A. L., Nesterova I. N. Changes in glacial systems of the northern slope of the Trans-Ili Alatau in the second half of the XX and the beginning of the XXI centuries // Ice and Snow. 2011. No. 4. P. 39-46.
- [7] Nasyrov R. M., Sokolov A. A. A brief description of the vertical soil zonation and soils of the vicinity of the city of Alma-Ata. Alma Ata: Publishing House of the Academy of Sciences of the Kazakh SSR, 1988. 32 p.
- [8] Saparbayeva N. A. The role of the Ile-Alatau State National Natural Park in the conservation of plant biodiversity in Kazakhstan // Ecology: rational use of natural resources and life safety. Almaty: KazNU Publishing House, 2017. P. 65-67.
- [9] Severskiy I. and others. Changes in glaciation of the Balkhash–Alakol basin, central Asia, over recent decades // Annals of glaciology. 2016. P. 382-394.
- [10] Relief of the human environment (ecological geomorphology) // The responsible editors are Likhacheva E. A. and Timofeev D. A. M.: Media PRESS, 2002. 640 p.
- [11] Medeu A. R., Tasbolat B., Kirenskaya T. L., Botbaev A.K. Conceptual and methodological foundations of mudflow risk assessment // Bulletin of KazNU. Ser. geographical. Almaty, 2005. No. 2(21). P. 26-31.
- [12] Medeu A. R., Blagoveshchenskiy V. P., Baymoldaev T. A., Kirenskaya T. L., Stepanov B. S. Fundamentals of monitoring in the Alatau Basin // Mudflow phenomena in Southeastern Kazakhstan. – Vol. 2, part 2. Almaty, 2018. 288 p.
- [13] Kruzhalin V. I. Ecological geomorphology of land. Moscow: Nauchny Mir Publ., 2002. 131 p.
- [14] Veselova L. K. The development of relief-forming processes in the mountainous territories of the arid zone of Central Asia // Proceedings of the XXVII Plenum of the Geomorphological Commission of the Russian Academy of Sciences and the VII All-Russian Scientific Seminar «Self-organization and dynamics of geomorphosystems». Tomsk: Publishing House of the Institute of Atmospheric Optics SB RAS, 2003. P. 315-317.
- [15] Veselova L. K. Problems of ecological geomorphology of Kazakhstan // Materials of the international scientific and practical conference «"Geography of Kazakhstan: content, problems, prospects"». Almaty, 2006. P. 49-51.

- [16] Bekseitova R. T., Koshim A. S. Anthropogenic factors of the morphogenesis of the arid zone of Kazakhstan (Central Kazakhstan) // KazNU. Bulletin, geographical series. 2017. No. 3(46). P. 77-82.
- [17] Ormanova G. G., Jay Sagin, Bexeitova R. T. Analysis of land degradation and vegetation in the Zhezkazgan copper ore region according to the satellite images LANDSAT // The treasury of Swag. Geography of the series. 2018. No. 1(48). P. 45-57.
- [18] Bekseitova R. T., Veselova L. K., Koshim A. G., Kozhahmetova U. K. Morpho-orographic and morpho-climatic factors of exomorphic dynamics of denudation platform plains of Kazakhstan // Life Science Journal (<http://www.lifesciencesite.com>). 2014. No. 11(10 SPEC. ISSUE). P. 243-249.
- [19] Izturganov K. E. Monitoring of dangerous geological processes using UAVs.
- [20] Nagisheva O. B. Dangerous geodynamic processes and phenomena of the northern slope of the Ileysky Alatau ridge (Near Almaty region) // Izvestiya NAS RK. Ser. geologicheskaya. 2009. No. 5. P. 92-98.
- [21] Engineering Geology of the USSR / Ed. by V. I. Dmitrovsky. M., 1977. Vol. 6. 293 p.
- [22] Lobatskaya R. M. Models of behavior of the geological environment of urbanized territories for assessing the acceptable risk of natural and man-made emergencies // Engineering and geological problems of urbanized territories: materials of the International the symposium. –Yekaterinburg, 2001. Vol. 1. P. 287-292.
- [23] The state program for the development of the tourism industry of the Republic of Kazakhstan until 2025. Astana, 2018. 159 p.
- [24] Ile-Alatau State National Nature Park. Almaty, 2015. 208 p.
- [25] Adjustment of the feasibility study of the Ile-Alatau State National Natural Park in terms of the master plan for infrastructure development. Almaty, 2019. 155 p.
- [26] Management plan of the Ile-Alatau State Scientific and Technical University for 2015-2019. Almaty, 2016. 225 p.
- [27] Monitoring results of the national parks of the Almaty region in 2017. Ecological society "Green Salvation". Almaty, 2018. 142 p.
- [28] Monitoring results of the Ile Alatau National Nature Park in 2022. Prospects for the development of ecological tourism. Almaty, 2023. 172 p.
- [29] Climatic data of cities around the world [electronic resource]. Access mode: <https://ru.climate-data.org/>
- [30] "On specially protected natural territories" Law of the Republic of Kazakhstan dated July 7, 2006. No. 175-III (with amendments and additions as of 10/28/2019) [electronic resource]. Access mode: <https://online.zakon.kz/>
- [31] The official website of the Ile-Alatau National Park [electronic resource]. Access mode: <http://www.ile-alatau.kz/>
- [32] United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization [electronic resource]. Access mode: <http://whc.unesco.org/en/statesparties/kz>

Р. Т. Бексейтова¹, М. М. Әлімбаев^{*2}, Е. С. Сарыбаев³, Р.О. Турапова⁴

¹ Д. г. н., профессор (Казахский национальный университет им. аль-Фараби, Алматы, Казахстан; bexeitova.roza@gmail.com)

^{2*} PhD докторант (Казахский национальный университет им. аль-Фараби, Алматы, Казахстан; mederkul95@mail.ru)

³ PhD, доцент (Казахский национальный университет им. аль-Фараби, Алматы, Казахстан; edilait@mail.ru)

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

ГЕОДИНАМИКА И ТРАНСФОРМАЦИЯ ЛАНДШАФТОВ АЛМАТИНСКОЙ ПРЕДГОРНО-ГОРНОЙ ЗОНЫ И ИЛЕ-АЛАТАУСКОГО НАЦИОНАЛЬНОГО ПАРКА

Аннотация. Рассматриваются проблемы геодинамики горно-пригородной зоны Алматы и ландшафтных зон Государственного национального природного парка «Иле-Алатау», их состояние и сравнительные оценки. На протяжении последних десятилетий в этих взаимосвязанных геосистемах происходили процессы активной урбанизации городско-пригородной зоны и освоения земель национального парка, приводящие к разрушению природных экосистем. Национальные парки необходимы в качестве сравнительных стандартов при изучении природы и степени экологического нарушения геосистем. Сохранение и постоянный мониторинг состояния отмеченных геосистем с минимизацией рисков хозяйственной деятельности имеет не только практическое, но и большое научное значение для компонентного и комплексного изучения геосистем с целью их оптимизации и дальнейшего восстановления природных геосистем. Результатом этой работы являются карты структуры ландшафтов и их трансформации, а также оценка текущей антропогенной нагрузки на природную среду исследуемой территории. Основываясь на представленных данных, можно проанализировать характер распределения хозяйственной деятельности и дать рекомендации по разгрузке «горячих точек», образовавшихся в результате антропогенной деятельности.

Ключевые слова: Иле-Алатауский национальный парк, геодинамика, геодинамические процессы, ландшафты, устойчивая урбанизация, окружающая среда.

R. T. Bexeitova¹, M. M. Alimbay^{2*}, Ye. S. Sarybaev³, R. O. Turapova⁴

¹ Doctor of Geographical Sciences, Professor

(Al-Farabi Kazakh National University; Almaty, Kazakhstan; *Bexeitova.roza@gmail.com*)

^{2*} PhD student (Al-Farabi Kazakh National University, Almaty, Kazakhstan; *mederkul95@mail.ru*)

³ PhD, Associate professor (Al-Farabi Kazakh National University, Almaty, Kazakhstan; *edilait@mail.ru*)

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

GEODYNAMICS AND TRANSFORMATION OF LANDSCAPES OF THE ALMATY FOOTHILL-MOUNTAIN ZONE AND THE ILE-ALATAU NATIONAL PARK

Abstract. The article deals with the problems of geodynamics of the mountainous suburban area of Almaty and landscape zones of the State National Natural Park "Ile-Alatau", their condition and comparative assessments. Over the past decades, within these interconnected geosystems, the processes of active urbanization of the urban-suburban zone and the development of the lands of the national park have been taking place, leading to the destruction of natural ecosystems. National parks are necessary as comparative standards in the study of nature and the degree of ecological disturbance of geosystems. The preservation and constant monitoring of the condition of the marked geosystems with minimizing the risks of economic activity is not only practical, but also of great scientific importance for the component and complex study of geosystems in order to optimize them and further restore natural geosystems. The result of this work are maps of the landscape structure and their transformation, as well as an assessment of the current anthropogenic load on the natural environment of the studied area. Based on the presented data, it is possible to analyze the nature of the distribution of economic activity and make recommendations on unloading the «hot spots» formed as a result of anthropogenic activity.

Keywords: Ile-Alatau National Park, geodynamics, geodynamic processes, landscapes, sustainable urbanization, environment.

<https://doi.org/10.55764/2957-9856/2025-4-107-115.49>

IISTI 34.29.01

UDC 581.9:551432.22

G. A. Sadyrova^{*1}, K. S. Orazbekova², Sh. P. Kusaev³

¹ Doctor of Biological Sciences, Associate Professor of the UNESCO Department of Sustainable Development (Al-Farabi Kazakh National University, Almaty, Kazakhstan; gulbanu-s@mail.ru)

² PhD, Chief scientific secretary, Senior Researcher

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

³ Candidate of Agricultural Sciences, Leading Researcher (National Joint-Stock Company «Al-Farabi Kazakh National University», Almaty, Kazakhstan; Schaganbek@yandex.kz)

INFLUENCE OF VERTICAL ZONATION OF THE UZYNKAR RIDGE ON SOIL FORMATION IN THE STEPPE LOW-MOUNTAIN AND FOOTHILL ZONES OF THE UYGHUR DISTRICT

Abstract. The article presents data on soil fertility in pastures of the foothill-steppe zone with steppe cereals, legumes and wormwood herbs, located at altitudes of 1100-1600 m, and the foothill-dry steppe zone with wormwood and cereals, located at altitudes of 850-1100 m. The foothill-steppe zone is characterized by light loamy sierozems with a humus content of 3.8-3.9%, decreasing to 1.47% in degraded areas. The content of absorbed bases varies from medium to high. The content of total nitrogen in the soils is low. The soils are deficient in mobile phosphorus. The content of mobile potassium is high. In general, a slight deficiency of nitrogen and phosphorus is observed in the soil, which indicates the need for surface application of phosphorus and nitrogen fertilizers. The granulometric properties of the soil are favorable for the growth and development of grasses on the studied pastures.

Keywords: relief, Uzynkara ridge, soil, medium loam, humus, absorbed bases.

Introduction. The Uzynkara range under study is located within Kazakhstan between 44°00' N and 43°20' N, and between 79°30' E and 85°00' E. The length of the range is over 400 km, and the width is 40–50 km. According to the physical-geographical zoning of Kazakhstan, the Uzynkara range is part of the Central Asian country, the Tien Shan region, the North Tien Shan province, the Chilik-Ketpen district, which also includes two regions: the northern slope of the range and the Kegen-Tekes district [1]. The maximum height of this range reaches 3,680 m near the border with China (Mount Podnebesnaya). To the west and east, the elevation gradually drops to around 3,400 m. The peaks do not reach the snow line, and glaciers, typical of high-mountain peaks, are virtually absent. In northern Kazakhstan, the Uzynkara range borders the Dzungar Alatau, divided by the Ili Depression; to the west, it borders the Kungey Alatau; to the east, it gradually transitions into the Temerlik range, merging with the Boro-Khoro Mountains. On the Chinese side, the Temerlik range is connected to a series of mountain ranges that descend to the east and are separated by depressions: the Kuldzhin Depression to the north, the Kash Depression to the south, and the Tekes Depression to the southeast. In the south, the border runs along the Khalyktau Mountains. Within Kazakhstan, the northern slope of the Uzynkara range is cut by a dense network of deep valleys, while the southern slope, steeper and devoid of foothills, descends sharply to the vast Kegen-Tekess Depression. The central and western parts of the region are occupied by the Aygyrzhol, Basylutau, Karatau, Sarytau, Sumbetau, Yelchik-Buiryk, Laylytau, and Zhabyrtau mountains. The Aygyrzhol and Zhabyrtau mountains are characterized by gentle mid-mountain terrain with elevations ranging from 1,800 to 2,600 meters above sea level. While Yelchik-Buiryk, Basylutau, Laylytau, Sumbetau, and Sarytau belong to high-mountain regions with elevations ranging from 2,200 to 3,600 m, their northern slopes are steep, while their southern slopes, although also steep, are more dissected and have a significant outcrop of bedrock [2]. The diversity of the natural conditions of the Uzynkara ridge is primarily due to the altitudinal dissection of its surface. The ridge is an ancient Paleozoic structure that was smoothed to the stage of peneplained plains and then re-uplifted in Tertiary and Quaternary times to modern heights. The combination of flat relict landforms at different altitudes with younger, highly dissected elements indicates the different chronological formation of the landscape of this area. Analyzing the modern relief and tectonics of the Tien Shan, S.S. Shultz concludes that the processes of sedimentation, folding, and

mountain building do not represent separate sequential stages, but a single, long-term process of recent tectonics [3]. Research shows that three glaciations occurred in the highland regions of Kazakhstan. The most ancient glaciation was semi-sheltering and covered high-elevation mountain ranges that had not yet been dissected by erosion. The early Middle Quaternary period saw powerful tectonic movements and increased climate humidification, which contributed to the active development of the hydrographic network. Glaciers of this period, descending along already depleted valleys, gave them their characteristic trough shape. The geological structure of the Uzynkara ridge has been examined in detail by S.S. Shultz. The axial portion of the ridge is composed of intrusive rocks-pinkish-gray or light-gray pink-mankabiotite granites, outcrops of which are also observed on the northern slope of the ridge [3]. The study area is characterized by a complex, highly dissected topography (figure 1).

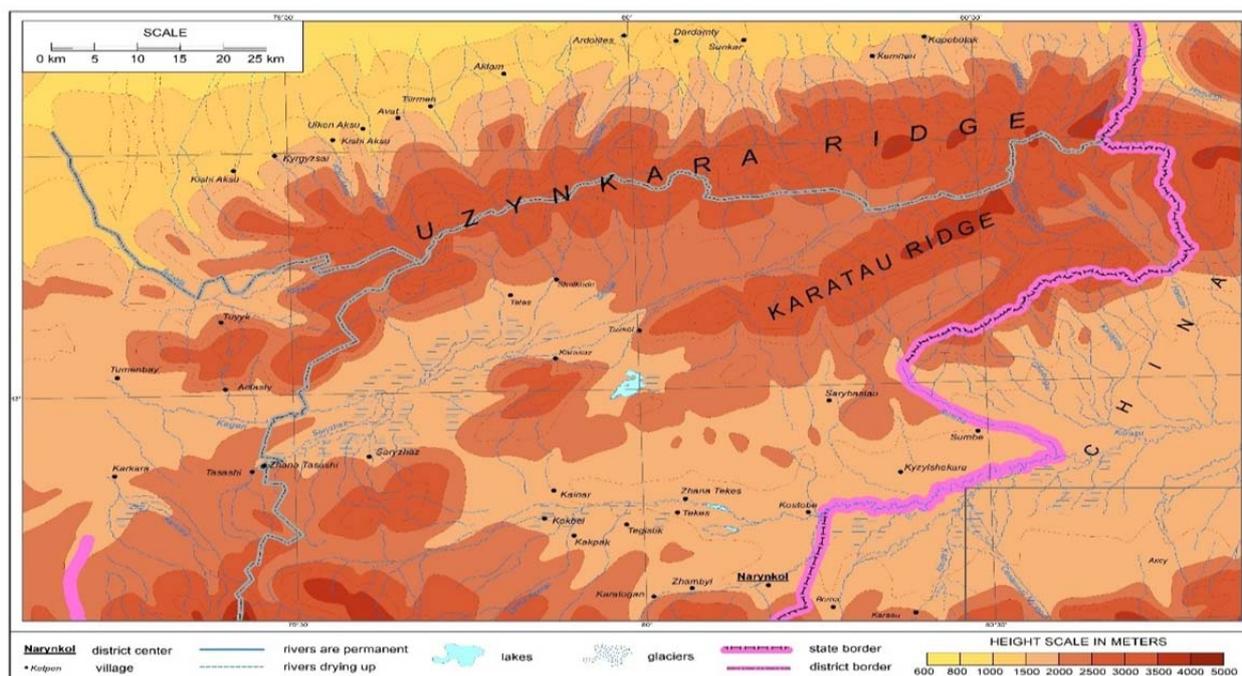


Figure 1 – Map-diagram of the studied area of the Uzynkara ridge

Based on the results of many years of research, the surface structure of the Uzynkara ridge can be divided into the following geomorphological regions: 1. Mountainous region with absolute elevations of 1300–3600 m. 2. Foothill, strongly sloping, undulating foothill plain, with absolute elevations of 800–1600 m above sea level. 3. A gently sloping plain with an absolute elevation of 650–800 m. The river network of the Uzynkara range is unevenly developed. The largest rivers here are the Kegen, Achinakho, Shunkar, Chushanai, Dardymty, Ulken-Aksu, Chulak, Tigermen, Avat, Zhanaozeksai, Arlyksay, Temerlik, Khonakhai, Kash, Ortakaragandy, Chonkaragandy, Chimbulak, Shalkudusu, Ulken-Shiybut, Sumbe, Kirgizsay, Boguty, Khasan, and others. Numerous small streams flow down the northern slopes of the ridge, ending on the foothill plateau. The Temerlik river, the main tributary of the Charyn river, flows down the western slope. The hydrographic network of the southern mountainous part of the district includes the Temerlik, Sumbe, Chushanai, and Sarybulak rivers, as well as numerous streams originating on the northern slopes of the Chushanai and Uzynkara ridges. All the waters of the southern slope of the Uzynkara ridge collect in a large tectonic basin, formerly a lake, known as the Shalkudysu. The Kegen river, the largest tributary of the Ili river, is called the Shalkudysu in its upper reaches, the Kegen in its middle reaches, and the Charyn outside the district. Flowing as a mountain stream into the Kegen-Shalkudinskaya Depression, the river slowly flows westward along low, sometimes marshy banks [3, 4].

The soils of the Uzynkara range are highly varied and complex and obey the laws of vertical zonation inherent to all mountainous regions (table 1). Below we provide a systematic list of soil types in the mountain belt and their brief characteristics [5, 6].

Table 1 – Soils of the mountain belt of the Uzynkara ridge

Soil types	Belts
Mountain meadow alpine	Mountain
Mountain meadow-steppe alpine	
Mountain meadow subalpine	
Mountain meadow-steppe subalpine	
Mountain meadow-steppe chernozem-like	
Mountain-forest dark-colored	
Mountain chernozems	
Mountain dark chestnut	
Mountain light chestnut	
Light chestnut	
Ordinary sierozems	Foothill steppe
Light sierozems	
Gray-brown	
Introzonal soils	
Sands	
Meadow solonchaks	
Meadow solonetz	
Meadow-chestnut	
Meadow-gray soil	
Floodplain-meadow	
Mountain meadow	
Mountain floodplain-meadow	
Meadow-marsh	

Materials and methods of research. The study subjects were natural soils of the steppe part of the lower belt and the foothill part of the desert belt of the Uyghur region of the Uzynkara range. The research was conducted on the Uzynkara range (Northern Tien Shan) using field and stationary methods. The aim of the study is to determine the distribution features of the soil cover of the steppe part of the lower belt and the foothill part of the desert belt in the Uyghur region of the Uzynkara ridge. During field research, soil sections were excavated and soil samples were collected from various natural and anthropogenic zones to determine the characteristics of soil distribution in the Uyghur region of the Uzynkara ridge. The study utilized soil types from the steppe and semi-desert zones of the Uyghur region, including saline, solonchakous, and sandy soils. Research methods: This article examines several methods used to study the soil cover of the Uyghur region of the Uzynkara range. Using field research, soil samples from the study area were collected for analysis. The abundance of species in phytocenoses was determined using the Drude abundance scale [7]. The species composition of plants in plant communities was determined using the relevant botanical identification guides, reference books, etc., such as: «Flora of the USSR» [8], «Flora of Kazakhstan» [9], «Identification Guide to Plants of Central Asia» [10], «Illustrated Identification Guide to Plants of Kazakhstan» [11], etc. Species and generic names of plant species are given according to the Plants of the World Online (POWO) database, as well as according to S.K. Cherepanov and S.A. Abdulina [12,13]. Collection and processing of herbarium material were carried out according to the generally accepted method of A.K. Skvortsov [14].

Laboratory analysis: Laboratory analysis of the selected samples was conducted at the U. U. Us-panov Kazakh Research Institute of Soil Science and Agrochemistry using standard methods. Studies were conducted to determine the physical and chemical properties of the soil layers. The analysis included measurements of the soil's base content for various elements, soil texture, pH, and humus.

Research results. Our research in 2024-2025 was conducted in the Uyghur district of the Almaty region. In 2024, fieldwork and expeditionary work were conducted throughout the grazing season in the mountainous North Tien Shan province, on the Uzynkara ridge, at the Shalkode summer pasture. This included May in the spring, July in the summer, and early October in the fall (figure 2).



Figure 2 – Uzynkara ridge. Pasture in the gorge of Ulkend Diqan (a); Summer pasture of Shalkode (b)

Based on the results of field studies conducted in 2024-2025, changes in vertical zonation zones of the Uzynkara ridge were grouped (table 2).

Table 2 – Vertical zonation in the study area

Vertical zonation			Plant communities	Soils
Macorelief	Zonation	Height, m		
Mountain	Highlands	3600-3200	Alpine meadows	Low-power mountain meadows
		3200-2700	Subalpine meadows	Mountain meadow
	Middle belt	3200-2700	Coniferous forests	Podzolic
		1800-2700	Mixed forests	Brown forest
		1600-1800	Meadow forests	Black soils
	Foothill-steppe lower belt	1100-1600	Foothill steppe, cereal-legume-forb with <i>Artemisia</i>	Dark chestnut and light chestnut soil
850-1100		Foothill-dry steppe, mixed-grass community with <i>Artemisia</i>	Gray soils	
Foothills	Foothill semi-desert	550-850	Cereal community with <i>Carex</i>	Ordinary gray soils
	Desert	Above 550	Mixed-herb community with <i>Artemisia terrae-albae</i>	Light gray soils

Our research in the alpine zone identified alpine-mountain-meadow soils at elevations of 3200-3600 m. In the subalpine zone (2700-3200 m), subalpine-mountain-meadow soils were identified. In the mountain-steppe zone, in the low-mountain belt at elevations of 1100-1600 m, light chestnut soils were identified, which are quite widespread within the region. Further down the slope, at a level of 850-1100 m, there are dark meadow gray soils.

Our research was conducted in the Uyghur district of the Almaty region. In the steppe belt of the lowlands of the Uzynkara ridge, the research was conducted on pastures of three farms. On the first farm, soil studies were conducted at three locations. At the first point, the coordinates of the study are E 43°28'48.96" N80°32'32.96" at an altitude of 1381 m above sea level, the coordinates of the second point are E 43°28'48.10" N80°32'33.15" at an altitude of 1383 m above sea level, the coordinates of the third point are E 43°28'21.20" N80°32'34.70" at an altitude of 1448 m above sea level. In the second peasant farm, soil studies were carried out at two points. At the first point, the coordinates of the study are E 43°28'23.96" N80°32'2.42" 1416 m above sea level, the coordinates of the second point are

E 43°27'50.86'' N80°32'7.12'' 1416 m above sea level. In the third peasant farm, soil studies were carried out at two points. At the first research point, the coordinates of the study are E 43°31'56.99'' N80°32'49.80'' 1140 m a.s.l., the coordinates of the second point are E 43°31'010'' N80°32'56.75'' 1206 m a.s.l. (figure 2).



Figure 2 – Profile of subalpine mountain meadow soil

As a result of field studies in 2024, mountain-meadow subalpine soils were identified within the subalpine zone. Figure 2 shows that horizon A1 (0-14 cm) is peaty with layers of sod and fibrous roots of grasses. The soil color is dark brown, with a gradual transition to the next horizon. Horizon A2 (14-37 cm) is brown, with inclusions of gruss, crushed rock, and stones. Horizon B (37-68 cm) is light brown. Field research conducted in 2025 on the territory of the first and second farms revealed that the soils in the study areas are chestnut, transitioning to light chestnut on the western and southern slopes. Dark meadow gray soils are common on the third farm. We believe it is necessary to assess the fertility of the soils under study. Soil fertility is a complex characteristic that determines the soil's ability to provide plants with the necessary conditions for growth and development, as well as high yields. It depends on many factors, including nutrient content, particle size distribution, structure, and water and air conditions. This is an emergent property of soil: it appears only through the interaction of its components. Emergent soil properties are properties that arise from the interaction of various soil components (minerals, organic matter, water, air, microorganisms) and are not inherent to the individual components individually. These properties manifest themselves at the system level (the soil as a whole) and cannot be predicted or inferred from the properties of individual components. Soil fertility indicators include the hydrophysical properties of the soil (mechanical and aggregate composition, soil structure), humus content, nutrient content in the soil (nitrogen, phosphorus, potassium), soil pH, and the content of absorbed bases in the soil. Soil texture, also known as particle size distribution, characterizes the content of particles of varying sizes, such as sand, silt, and clay. Depending on the percentage of these particles, soils are classified as sandy, sandy loam, loamy, and clayey. Sandy soils contain a lot of sand, are well-drained, and aerated, but are poor in nutrients. Sandy loam soils contain more sand than clays, are well-drained, and aerated, but are also poor in nutrients. Loamy soils contain approximately equal amounts of sand and clay, are well-drained, and rich in nutrients. Clayey soils contain a high clay content, are poorly permeable, and are rich in nutrients. Soil texture significantly influences its physical, chemical, and biological properties, as well as fertility. For example, sandy soils dry quickly and are easily cultivated, while clayey soils, on the contrary, warm up slowly, are poorly permeable, and are rich in nutrients.

Our study of soil texture in the steppe belt of the lowlands of the Uzynkara Range revealed that the soils are classified as medium loam. Physical clay content ranged from 32.4 to 39%. In the adjacent surface soil layer, the clay content was 40.8-42.5%, meaning that the soils in this layer can be classified as heavy loam based on their mechanical composition (table 3).

Table 3 – Granulometric composition of the soil of the studied steppe belt of the lowlands of the Uzynkara ridge, content of fractions in absolute dry soil, %

Peasant farms	Number of points	Depth, cm	Content of fractions						
			sand		dust			silt	clay
			1-0,25	0,25-0,05	0,05-0,01	0,01-0,005	0,005-0,001	<0,001	<0,01
I	1	0-8	22,559	11,485	12,305	16,407	40,197	12,305	16,407
		9-30	27,581	8,112	11,357	17,035	36,504	11,357	17,035
	2	0-8	38,906	9,726	14,184	8,511	32,421	14,184	8,511
		9-30	42,932	11,746	14,986	8,910	35,642	14,986	8,910
	3	0-8	35,470	12,092	14,913	7,255	34,260	14,913	7,255
		9-30	40,363	7,669	20,989	8,476	37,134	20,989	8,476
II	1	0-8	31,282	8,531	13,813	16,657	39,001	13,813	16,657
		9-30	24,768	8,669	16,099	17,750	42,518	16,099	17,750
	2	0-8	31,971	3,642	13,355	4,856	21,854	13,355	4,856
		9-30	31,682	10,154	16,653	14,216	41,024	16,653	14,216
III	1	0-8	39,976	9,287	18,978	8,480	36,745	18,978	8,480
		9-30	37,149	14,133	16,959	9,691	40,783	16,959	9,691
	2	0-8	41,212	9,293	15,758	7,677	32,727	15,758	7,677
		9-30	22,559	11,485	12,305	16,407	40,197	12,305	16,407

As table 3 shows, the underlying soil layer (9-30 cm) shows a 3-10% increase in physical clay content compared to the surface layer. This is likely due to the leaching of clay particles from the upper soil layer into the lower soil layer, i.e., the formation of an illuvial layer. The illuvial layer, known as the leaching horizon, is the soil layer located beneath the eluvial horizon. Various substances, such as clay, silt, and other materials, are washed out from the overlying soil layers and deposited in the underlying soil layer. This type of erosion is called illuvial soil erosion. As analyses (table 2) have shown, the fine earth of the soil is dominated by the coarse silt fraction. The results of the agrochemical analysis of the studied soils of the steppe belt of the lowlands of the Uzynkara ridge are presented in table 4.

Table 4 – Agrochemical analysis of the soil of the steppe belt of the lowlands of the Uzynkara ridge

Farms	Point number	Depth, cm	Determined indicators							
			Total humus, %	Gross, %			pH	Exchangeable ammonium, mg/kg	Mobile, mg/kg	
				N	P	K			P	K
I	1	0-8	3,87	0,308	0,229	2,199	7,34	7,5	52	590
		9-30	2,74	0,210	0,183	2,099	7,25	6,6	24	440
	2	0-8	2,43	0,196	0,362	2,698	7,24	29,7	62	2000
		9-30	1,67	0,112	0,297	2,598	7,69	6,3	20	1300
	3	0-8	3,69	0,238	0,212	2,798	7,58	13,9	48	590
		9-30	2,09	0,168	0,161	2,099	7,93	5	10	460
II	1	0-8	1,87	0,182	0,115	2,099	7,72	7,1	18	370
		9-30	1,47	0,168	0,053	2,698	7,82	3,3	4	100
	2	0-8	2,96	0,224	0,146	2,698	7,07	6,1	42	500
		9-30	2,36	0,196	0,106	2,398	7,75	5,2	10	270
III	1	0-8	1,16	0,140	0,133	2,498	8,06	3	40	340
		9-30	1,13	0,112	0,107	2,299	8,04	1,7	14	210
	2	0-8	1,10	0,084	0,126	2,498	8,07	7,4	22	340
		9-30	1,09	0,112	0,112	2,498	8,04	2,7	10	180

In light chestnut soils, the humus content should be 2.5-3%, in sierozem soils 0.95-1.5%. The data in table 3 show that in terms of humus content, at the first Askarov farm, at two points in the surface 0-8 cm soil layer, the humus content was slightly above the norm and amounted to 3.8-3.9% for light chestnut soils. At the remaining studied points, the humus content was significantly below the norm, from 1.47% to 2.7%, i.e. within the norm. On the third farm, humus content drops to 1.09-1.16%. The pastures on this farm are located approximately 300 meters lower than on the two previous farms. Based on total nitrogen content, the soils in the study area can be classified as low to moderately rich. Based on total potassium content, as shown in the table, the soils in the study area are highly potassium-rich. As Table 3 shows, on the first farm, the content of available phosphorus in the surface 0-8 cm soil layer ranges from low to moderate. In the 9-30 cm soil layer, the total phosphorus content is very low. Some of the increase in phosphorus content in the surface layer is likely due to fertilization with animal manure during grazing. Based on the content of available potassium, the soils in the study area can be classified as high and rich. Exchangeable potassium content in soils generally ranges from 500-600 mg/kg of soil. Only at the second farm, at point 1, in the 9-30 cm soil layer, did potassium content drop to a low level of 100 mg/kg of soil (table 4). The adsorbed bases in the soil adsorption complex (SAC) are cations held on the surface of soil particles by electrostatic forces. These cations can be exchanged for other cations in the soil solution. The main adsorbed bases in soil are calcium (Ca^{2+}), magnesium (Mg^{2+}), potassium (K^+), sodium (Na^+), and hydrogen (H^+). The composition of the adsorbed bases influences the reaction of the soil environment (acidity, alkalinity), the availability of nutrients to plants, the structure, and other soil properties. Adsorbed bases play a vital role in the formation and maintenance of soil fertility, and their composition and quantity determine many agronomic and ecological properties. Soil acidity in the study area ranges from neutral to slightly alkaline, with pH values ranging from 7.24 to 8.07 (table 5).

Table 5 – Content of absorbed bases in the studied soil of the steppe belt of the lowlands of the Uzynkara ridge, mg equivalent per 100 g of soil

Peasant farms	Place of sampling	Depth, cm	Absorbed bases				
			Ca	Mg	Na	K	Σ SAB
I	Point 1	0-8	27,23	7,43	0,52	0,31	35,49
		9-30	27,23	8,42	0,37	0,24	36,26
	Point 2	0-8	12,87	3,96	0,37	1,65	18,85
		9-30	12,38	2,48	0,37	1,11	16,34
	Point 3	0-8	16,83	4,95	0,37	0,36	22,39
		9-30	14,85	3,96	0,37	0,24	19,42
II	Point 1	0-8	21,29	5,45	0,35	0,48	27,57
		9-30	34,65	8,42	0,30	0,24	43,61
	Point 2	0-8	11,88	5,94	0,35	0,52	18,69
		9-30	15,84	3,96	0,35	0,42	20,57
III	Point 1	0-8	10,40	1,98	0,35	0,24	12,97
		9-30	10,89	1,98	0,37	0,24	13,48
	Point 2	0-8	9,41	0,49	0,37	0,24	10,57
		9-30	11,39	0,49	0,37	0,24	12,49

The content of absorbed bases in soil, expressed as the sum of exchangeable cations (S), is an important characteristic of soil fertility. It determines the soil's ability to retain nutrients and resist acidification. Classifying soils by their content of absorbed bases allows one to assess their potential fertility and limiting needs [15].

According to the classification of absorbed base content in table 6 and the data in Table 4, the soils in the study areas range from moderate to very high in absorbed base content. On the territory of the first farm, located at an altitude of 1,300-1,350 m above sea level, the absorbed base content ranges from moderate to high. At the second farm, located at an altitude of 1,350–1,410 m, in an eroded area (point 2), the content of these elements decreases to average levels. At the third farm, located at an altitude of

Table 6 – Classification of soils by the content of absorbed bases

Degrees	Sum of absorbed bases, mg – equivalent per 100g of soil
Very low	≤ 5
Low	5-10
Moderate	10-20
High	20-30
Very high	≥ 30

1,000–1,100 m, the overall content of exchangeable bases decreases to average to low levels. This is likely explained by the fact that the third farm is located approximately 300 meters lower than the two aforementioned farms. This 300-meter difference in vertical zonation undoubtedly leads to reduced precipitation and increased air temperature, which in turn leads to aridization and more pronounced desertification compared to the other two farms, which are located at an altitude of 1300-1400 meters.

Discussion. Thus, it was established that the steppe pasture soils of the Uzynkara ridge lowland are classified as medium loams in terms of mechanical composition, with a physical clay content of 32-39%, which ensures good air and water permeability, favorable for aerobic plants. The humus content in the foothill-steppe lowlands ranges from 3.8-3.9% (above the norm) to 1.47% in degraded areas and 1.09-1.16% in the more arid regions of the third farm. The content of absorbed bases varies from medium to high in the first and second farms, decreasing to medium and low in the third. The soils are characterized by low to medium total nitrogen content, high total potassium content, and low to medium available phosphorus content. Soil acidity is neutral to slightly alkaline (pH 7.24-8.07), which also creates favorable conditions for the growth of aerobic plants.

Conclusion. The study found that the soils of the steppe pastures in the Uzynkara range's lowlands are classified as medium loam in terms of texture. The physical clay content ranges from 32-39%. This indicates that these soils are well-permeable to air and water, creating favorable conditions for the growth and development of aerobic plants. Aerobic plants are known to comprise almost all the grass in the pastures of this zone. In the foothill-steppe lowlands, in the zone of grass-wormwood communities on light chestnut soils, humus content was slightly higher than normal, fluctuating between 3.8-3.9%. In degraded pasture areas, humus content dropped to 1.47%, significantly below the norm of 3.5%. The pastures of the third farm are located approximately 300 m lower than the two previous farms. This 300 m difference in vertical zonation undoubtedly leads to reduced precipitation and increased air temperature, which in turn leads to aridization and more pronounced desertification. Humus content ranges from 1.09-1.16%, with dark meadow sierozem soils formed here, where the grass stand is dominated by wormwood communities.

On the territory of the first and second farms, the content of absorbed bases ranges from medium to high. On the second farm, on an eroded plot, the content of these elements decreases to medium levels. On the third farm, the content of exchangeable bases decreases to medium to low levels. Absorbed bases play a crucial role in the formation and maintenance of soil fertility, and their composition and quantity determine many agronomic and ecological properties. Based on total nitrogen content, the soils in the study area are classified as having low to moderate levels of potassium. Based on total potassium content, the soils in the study area are considered to be high in potassium. Available phosphorus content ranges from low to moderate.

The soil acidity in the study area ranges from neutral to slightly alkaline, with a pH from 7.24 to 8.07, which also creates favorable conditions for the growth and development of aerobic plants in pastures.

Financing. The work was carried out with the support and funding of the Science Committee of the Ministry of Science and Higher Education of the Republic of Kazakhstan within the framework of the project "Assessment of the impact of natural and anthropogenic factors on the degree of degradation of pasture ecosystems in the southeast of Kazakhstan for the implementation of Sustainable Development Goal 15." (grant IRN No. AP23490247).

REFERENCES

- [1] Atlas of the Kazakh SSR. Natural conditions and resources. Moscow, 1982. 81 p.
 [2] Rybin N. G. Surface structure of Kazakhstan (Essays on the physical geography of Kazakhstan). Alma-Ata, 1952. P. 3-59 (in Russ.).
 [3] Shults S. S. Analysis of recent tectonics and relief of the Tien Shan. Moscow, 1948. 58 p.
 [4] Rybin N. G., Yunusov G. R. Rivers of Kazakhstan (Essays on the physical geography of Kazakhstan). Almaty, 1952. P. 17-43 (in Russ.).
 [5] Soils of the Kazakh SSR (Alma-Ata region). Alma-Ata, 1962. Vol. IV. 423 p. (in Russ.).
 [6] Glazovskaya M. A. Soils of Kazakhstan // Essays on the physical geography of Kazakhstan. Almaty, 1952. P. 311-344 (in Russ.).
 [7] Drude O., Die Ökologie der Phanzen. Braunschweig. Germany: F. Vieweg & Sohn, 1913.
 [8] Flora of the USSR. Leningrad, 1934-1960. Vol. I-XXX (in Russ.).
 [9] Flora of Kazakstana. Alma-Ata, 1956-1966. Vol. I-IX (in Russ.).
 [10] Identifier of plants of Central Asia. Tashkent, 1968-1993. Vol. I-IX (in Russ.).
 [11] Illustrated guide to plants of Kazakhstan. Alma-Ata, 1962-1975. Vol. 1-2 (in Russ.).
 [12] Abdullina S. A. List of vascular plants of Kazakhstan. Almaty, 1999. 187 p. (in Russ.).
 [13] Cherepanov S. K. Vascular Plants of Russia and Neighboring Countries. St. Petersburg, 1995. 990 p. (in Russ.).
 [14] Skvortsov A. K. Herbarium. Moscow, 1977. 199 p. (in Russ.).
 [15] Kaurichev I. S., Burlakova L. M. Soil Science with the Basics of Geology. – Moscow: Kolos, 1989. 719 p. (in Russ.).

Г. А. Садырова^{*1}, К. С. Оразбекова², Ш. П. Кусаев³

¹ * Доцент, б. ғ. д. (Өл-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университеті, Алматы, Қазақстан; gulbanu-s@mail.ru)

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

³ Жетекші ғылыми қызметкер, а.ш. ғ. к. (Өл-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университеті, Алматы, Қазақстан; Schaganbek@yandex.kz)

ҰЙҒЫР АУДАНЫ АУМАҒЫНДАҒЫ ДАЛАЛЫҚ АЛАҢ ТАУ ЖӘНЕ ТАУ ЕТЕКТЕРІ АЙМАҚТАРЫНДАҒЫ ҰЗЫҢҚАРА ЖОТАСЫНЫҢ ТІК АЙМАҚТЫҒЫНЫҢ ТОПЫРАҒЫН ҚАЛПЫНА КЕЛУІНЕ ӘСЕРІ

Аннотация. Мақалада 1100-1600 м биіктікте орналасқан дала шөптері, бұршақ тұқымдастары және жусанды шөптер өсетін тау етегіндегі дала аймағындағы жайылымдардың топырақ құнарлылығы туралы деректер келтірілген, ал тау етегіндегі құрғақ дала аймағында 850-1100 м биіктікте орналасқан жусанды және шөптер өсетін жайылымдардың топырақ құнарлылығы туралы деректер келтірілген. Тау етегіндегі дала аймағы гумус мөлшері 3,8-3,9% болатын жеңіл сазды сироземдермен сипатталады, деградацияланған жерлерде 1,47%-ға дейін төмендейді. Сіңірілген негіздердің мөлшері орташадан жоғарыға дейін өзгереді. Топырақтағы жалпы азоттың мөлшері төмен. Топырақта жылжымалы фосфор жетіспейді. Жылжымалы калийдің мөлшері жоғары. Жалпы алғанда, топырақта азот пен фосфордың аздап жетіспеушілігі байқалады, бұл фосфор мен азот тынайтқыштарын бетіне жағу қажеттілігін көрсетеді. Топырақтың гранулометриялық қасиеттері зерттелген жайылымдардағы шөптердің өсуі мен дамуына қолайлы.

Түйін сөздер: рельеф, Ұзынқара жотасы, топырақ, орташа саздауыт, гумус, сіңірілген негіздері.

Г. А. Садырова^{*1}, К. С. Оразбекова², Ш. П. Кусаев³

¹ * Д. б. н., доцент (Казахский национальный университет им. аль-Фараби, Алматы, Казахстан; gulbanu-s@mail.ru)

² PhD, главный ученый секретарь (АО «Институт географии и водной безопасности», Алматы, Казахстан; Kuralay_orazbekova@mail.ru)

³ Ведущий научный сотрудник, к. с/х. н. (Казахский национальный университет им. аль-Фараби), Алматы, Казахстан; Schaganbek@yandex.kz)

ВЛИЯНИЕ ВЕРТИКАЛЬНОЙ ПОЯСНОСТИ ХРЕБТА УЗЫНКАРА НА ПОЧВООБРАЗОВАНИЕ В СТЕПНОЙ НИЗКОГОРНОЙ И ПРЕДГОРНОЙ ЗОНАХ УЙГУРСКОГО РАЙОНА

Аннотация. Приведены данные о плодородии почв пастбищ предгорно-степной зоны со степными злаками, бобовыми и полынным разнотравьем, расположенных на высотах 1100-1600 м, и предгорно-сухостепной зоны с польнью и злаками, расположенных на высотах 850-1100 м. Предгорно-степная зона характеризуется легкосуглинистыми сероземами с содержанием гумуса 3,8-3,9%, уменьшающимся до 1,47% на деградированных участках. Содержание поглощенных оснований варьирует от среднего до высокого. Количество общего азота в почвах низкое. Почвы дефицитны по подвижному фосфору. Содержание подвижного калия высокое. В целом в почве наблюдается незначительный дефицит азота и фосфора, что свидетельствует о необходимости поверхностного внесения фосфорных и азотных удобрений. Гранулометрические свойства почвы благоприятны для роста и развития трав на исследуемых пастбищах.

Ключевые слова: рельеф, хребет Узынкара, почва, средний суглинок, гумус, поглощенные основания.

Климатология и метеорология
Климатология және метеорология
Climatology and meteorology

<https://doi.org/10.55764/2957-9856/2025-4-116-129.50>

IRSTI 372137
UDC 551.59

A. K. Zheksenbaeva*¹, A. N. Munaitpasova², G. O. Orakova³, A. Tursynbek⁴

¹ Candidate of geographical sciences, Associate Professor
(Al-Farabi Kazakh National University, Almaty, Kazakhstan; zheksenbaeva077@gmail.com)

² Candidate of geographical sciences, Senior Lecturer
(Al-Farabi Kazakh National University, Almaty, Kazakhstan; aidamunaitpasova@mail.ru)

³ Senior Lecturer (Al-Farabi Kazakh National University, Almaty, Kazakhstan; gulnar.orakova@mail.ru)

⁴ Master's student (Al-Farabi Kazakh National University, Almaty, Kazakhstan; aktilek_tursynbek@mail.ru)

**SPATIAL DISTRIBUTION OF DUST STORMS
IN THE SOUTHERN REGION OF KAZAKHSTAN
IN THE CONTEXT OF MODERN CLIMATE CHANGE**

Abstract. Problems of modern climate change and assessment of their consequences IPCC (2021-2023) according to the latest assessment reports, there is an increase in dangerous weather phenomena that cause significant social and economic damage in various regions of the Earth. In this article, various climatic factors affecting the state of dust storm formation associated with modern climate change were studied. It was established that the longest (72 hours) duration of dust storms at the Aral Sea station in the southern region of Kazakhstan in the period from 2005 to 2022 was recorded in May 2018. The values of meteoparameters at that time, that is, its dependence on weather conditions, quantitative indicators of solar activity (Wolf number), bioclimatic indicators, as well as the conditions of macrocirculation formation, were considered, and it turned out that there was an important correlation relationship between the number of days when dust storms were most observed and the Wolf number ($r = 1.00$), Wangenheim-GIRs circulation forms, including the e Form ($r = 0.49$), El- Niño indices ($r = 0.47$ as a result of the analysis, it was determined that the prolonged Observation of dust storms was associated with the north-western cold front.

Keywords: dust storm, Wolf number, bioclimatic indicators, atmospheric circulation, correlation coefficient, indexes.

Introduction. Dust storms are dangerous weather phenomena. Dust storms are when a large amount of dust and sand rises into the air by the wind, clouding of the atmosphere and a significant deterioration in visibility. Transportation of a large amount of thick dust or sand by strong winds is a characteristic phenomenon of deserts and steppes, as a result of which wind destruction or soil deflation occurs [1].

Systematic monitoring of dust storms in the network of meteorological stations dates back to 1936. The first work on the climatological generalization of these observations for certain areas of Central Asia took place in the 60s of the last century. The description of the spatial distribution of dust storms for northern Kazakhstan was considered by A. S. Uteshev and O. E. Semenov (1967, 1977) and Yu.M. Chirkov (1970), for the South-East – L. P. Fedyushina (1972), for the West and south-west – A. P. Agarkova (1972) [2-6].

The zoning of the entire flat territory of Kazakhstan by the number of days with dust storms in a year was performed by E. A. Seredkina (1960), L. P. Fedyushina and O. E. Semenov (1970). O. E. Semenov and L. P. Tulina (1978) published a detailed schematic map of the number of days with dust storms in a

year for the territory of Kazakhstan. Shardakova and L. V. Usmanova (2006) analyzed the state of dust storm phenomena near the South Aral Sea in 1990-2000 due to a decrease in the level of the Aral Sea [7-10].

The first attempt to collect data on the dust storm regime in the territory of Central Asia, which included Turkmenistan, Uzbekistan and South Kazakhstan in the period 1951-1955, was made by N. N. Romanov in 1960. In addition to analyzing the recurrence and duration of dust storms during this period, N. N. Romanov classified synoptic conditions for the development of dust storms and made recommendations for predicting them. He noted that in the main part of Central Asia, the north, northeast and northwest winds promote the formation of dust storms, and in the southern part (in Turkmenistan) this role is played by the East and southeast winds. In a later period, the entire Central Asian territory was zoned. So, S. A. Sapozhnikova (1970) compiled a map of the number of days with dust storms for the arid region of the USSR. The map of L. V. Klimenko and L. A. Moskaleva (1979) shows the distribution of the number of days with dust storms on the territory of the USSR. A. N. Zolotokrylin (1996) from 1936 to 1985 tried to diagnose the geographical distribution of repeated dust storms in the Turanian lowland according to surface observations at 65 meteorological stations. When comparing these maps, stable and variable features of the geographical distribution of dust storms in Central Asia are distinguished. A. N. Zolotokrylin noted that a distinctive feature of the spread of dust storms in the territory under consideration is the stable isolation of large foci in Turkmenistan and the East Aral region and their attachment to sandy fields [11-14].

In most of the territory, a significant decrease in the recurrence of dust storms was found in the period 1970-2000. However, since the late 1970s, against the background of a negative trend in the recurrence of dust storms in most of the territory, the recurrence of dust storms near the Aral Sea, south of Lake Balkhash and north of the Caspian Sea began to increase. Foci of high repeatability of dust storms in Central Karakum remain, but its intensity has decreased [15].

The spatio-temporal distribution of dust storms in the southern regions of Kazakhstan in the period from 2005 to 2022 and the meteorological conditions of the longest observed dust storm in this period were considered in the previous article [16].

One of the meteorological values that occupies an important place during a dust storm is wind speed. Studies by many scientists have shown that the wind regime is one of the main meteorological factors that cause dust storms. The higher the wind speeds, the greater the amount of dust and sand is carried over a larger area. The higher the wind speeds, the greater the danger of dust storms [17].

In the considered territory, meteorological factors have their own impact on the formation of dust storms. A long dust storm depends on the amount of precipitation, that is, a long rainless period, the amount of rainless and rainy days in a month, and the height of the snow cover in the Cold 3 months of the year [18].

The dependence of the dust storm on the height of the snow cover is associated with time and space. In the south of Aktobe region, the number of days of dust storms in April depends on the height of snow cover in January and February. The dependence of dust storms on the height of snow cover shows that the height of snow cover in the Shalkar district in the first ten days of February and in the first and third ten days of January is closely related to the recurrence of storms in April. In the east of Atyrau region, dust storms in August depend on the height of the snow cover in the third ten days of February and the first ten days of January. And in the south of the Turkestan region, dust storms that occur in April are closely related to the third ten days of March. In connection with such studies, we can conclude that the recurrence of particularly dangerous dust storms in individual areas is influenced by the snow cover of the past winter. This dependence is an important factor in the development of methods for predicting dust storms [19].

A. L. Chizhevsky showed that during the period of increased solar activity, natural disasters and epidemics occur on earth. From this, conclusions were drawn about the impact of the 11-year cycle of solar activity on climatic, geological and social processes on earth. According to the research of A. L. Chizhevsky, it was established that known solar storms cause large catastrophic, that is, Stormy phenomena [20].

Atmospheric circulation is one of the factors of climate change. Climate change has a significant impact on the economic activity of a person, his living conditions and directly on the health of people. The

variability of atmospheric circulation is the cause of changes in atmospheric pressure, wind, air temperature and humidity in different regions of the Earth.

The use of atmospheric circulation indices proposed by Wangenheim-Geers for the northern hemisphere is considered one of the main forms used in both science and practical applications. It is valid for assessing the contribution of atmospheric circulation to climate change.

During the e-form, significant precipitation deficit zones are observed in the meridional area along the Volga River from the Caspian Sea. The reason for the lack of precipitation in this air is the location of the High Ridge in the troposphere and the mixing of this ridge with the edge, sometimes the center of the Siberian anticyclone on earth. After that, positive pressure anomalies are created and the anticyclogenesis process is intensified. Even in a warm half-year, the distribution of precipitation will be the same as the distribution of winter precipitation. In the western and southwestern regions of Kazakhstan, precipitation will be below normal [21].

The main feature of long thermobaric waves of form E is their stationary nature. Located on a high ravine, that is, it affects the western and southwestern regions of Kazakhstan, that is, due to the import of dry air masses into these regions, the air temperature increases, and as the temperature increases, the soil moisture decreases, creating conditions for the formation of dust storms [22].

Among the phenomena of a planetary scale occurring in the Earth-atmosphere system - the ocean, El Niño-South oscillation (Southern occurrence Index - SOI) has been of great interest in recent years. They explain the annual intermediate changes in atmospheric pressure, wind and precipitation on the earth's surface, which have opposite signs of anomalies in the tropical regions of the eastern and western hemispheres. With the Southern Oscillation of the atmosphere, the phenomena of El Niño and La Niña are closely related. Therefore, they are considered by El Niño-South oscillation as a single phenomenon. ENUT-monitoring with several indices [23].

In the process of considering the microcirculatory conditions of dust storms in the South Kazakhstan region in the period from 2005 to 2022, the connection with the El Niño phenomenon during the period of the storm was studied [24].

According to research by A. P. Agarkova (1950-1969) in the study area studied was observed that dust storms often occur against a temperate and weak background of small areas covering one or more areas. The nature of its occurrence is determined not only by the state of the paving surface but also depends on the direction and intensity of atmospheric processes that have developed on the Earth's surface and altitude [25].

The relevance of the research work is that in the last decade there are significant changes in climatic characteristics and resources, which are determined by the relative and socio economic systems. Among the most dangerous weather phenomena are droughts and dust storms, therefore, due to the unfavorable consequences of dust storms, the problem of studying the conditions for the occurrence and spread of this phenomenon remains relevant. The study of dust storms not only allows us to predict it, but also effectively helps to combat it, that is, to carry out anti-erosion measures, insure the national economy, and much more. The purpose of the research work is to consider the spatial distribution of dust storms in the southern region of Kazakhstan in the period from 2005 to 2022 in the context of modern climate change.

As objectives of the study, the spatio-temporal distribution of dust storms in the southern region of Kazakhstan for the period 2005-2022 was determined and the dependence of the longest observed dust storms for these years on meteorological conditions, quantitative indicators of solar activity (Wolf number), bioclimatic indicators, as well as macrocirculation conditions was determined.

Materials and research methods. To determine the conditions for the formation of dust storms at the Kyzylorda, Aral Sea, Kyzylkum, Ashysay, Zhosaly stations located in the south of Kazakhstan, the values of the weather parameters during their longest observation in the period from 2005 to 2022 (based on complementing the values in the previous article), that is, its dependence on weather conditions, quantitative indicators of solar activity (Wolf number), bioclimatic indicators, as well as the conditions of macrocirculation formation were studied.

The object of the study was the Stations of the Aral Sea, Kyzylorda, Kyzylkum, Zhosaly, Ashysai in the southern region of the Republic of Kazakhstan. South Kazakhstan is a region that occupies a large valley from the Aral Sea in the west to the Zhetysu Alatau in the East and from Lake Balkhash in the North and the Betpakdala desert to the border of Kazakhstan in the South. Kyzylorda region is located in the southern part of Kazakhstan. It borders South Kazakhstan to the East and Southeast, Karaganda to the



Figure 1 – Map-scheme of the research area

North, Aktobe region of the Republic of Kazakhstan to the Northwest, and the Republic of Uzbekistan to the South. Due to the fact that one of the largest environmental disasters – the Aral Sea problem – is located in the Kyzylorda region, all areas of the region are considered environmentally catastrophic zones. The territory of the region is located in the east of the Aral Sea in the lower reaches of the Syrdarya River, the main part is located in the Turan lowland. The west of the region is adjacent to the Aral Sea, in the south-east there are North-Western Spurs and Foothill plains of the Karatau Ridge, in the north-west there are wide valleys of mountain sands of the Aral Karakum. On the Left Bank of the Syrdarya there is a wide range of hilly-Ridge sands of Kyzylkum, cut through the dry channels of the Zhanadarya and arid Darya. On the right bank there are Hills (Yegizkara), sandy areas (Aryskum, etc.), shallow basins occupied by salt marshes. In the north there are hilly sand massifs (lesser Badger and Aral buckwheat). In the South-East, the North-Western Spurs of the Karatau Ridge are included in the territory of the region. On a wide concave plain, which gradually descends from the edge of the Turanian lowland to the center, there are a number of large sandy massifs intersecting with clay Plains. Karakum near the Aral Sea is located in the north-east of the Aral Sea, in the south it is bordered by the Syrdarya River. Most of the desert territory is located within the Aral and Kazalinsky districts of the Kyzylorda region. In general, the climate of this belt is characterized by long hot summers, cold winters for these latitudes, extremely dry air, little cloudiness, little precipitation distributed unevenly throughout the year, and a slight snow cover. This climatic regime is determined by the location of the region in the center of the Eurasian continent of the Kyzylorda region, on the northern edge of the inner tropical deserts of Asia, the peculiarities of atmospheric circulation, the nature of the Earth's surface and other factors. To the north, it allows cold air masses to freely enter the region and cool down suddenly, especially in winter. There is a drought characteristic of the climate of the region, where there is little precipitation, not exceeding 190 mm. Precipitation is unevenly distributed throughout the seasons, occurring mainly in the winter and spring months, accounting for 60% of the total precipitation. Frequent and strong winds blow throughout the region, with an average annual speed of 3.1-6.0 M/s. In winter, these winds blow away the snow cover, causing deep freezing of the soil, and in summer, dust storms are observed. Basically, the entire territory of the region is characterized by frequent and strong winds of the northeast direction [2].

In the process of carrying out the work, generally accepted methods of processing mathematical, statistical and climatological data were used.

As bioclimatic indicators, the Effective temperature according to Missenard and the "heat heat" index proposed by Stedman were calculated.

Bioclimatic indices determine the features of the thermal structure of the medium of a physical nature and are an additional indicator of the state of the thermal Valley. The degree of inconvenience caused by the excess of heat is usually determined by one or more biometeorological temperature indices. In

practice, effective temperature is often used. By itself, it gives the temperature of the still standing air, saturated with water vapor. In determining the effective temperature, the Missenard method is widely used. Effective temperature is widely used in the climatic assessment of thermal effects, environmental discomfort, and in treatment. The importance of effective temperature as a bioclimatic indicator is that it continues to be used both in the Warm Period and in the cold period.

The effective temperature according to Missenard is calculated using the following formula:

$$ET = t - 0,4 (t - 10) (1 - f/100), \quad (1)$$

where t – air temperature, °C; f – relative humidity, %.

Another index used to assess the effects of heat is the "heat" index, proposed by Stedman. It is widely used in the United States. Stedman's "heat" index is determined by the following formula:

$$HI = - 42,379 + 2,04901523t + 10,14333127f - 0,224754t \cdot f - 0,00683783t^2 - 0,05481717f^2 + 0,00122874t^2 + 0,00085282t \cdot f^2 - 0,00000199t^2 \cdot f, \quad (2)$$

where HI – heat index; t – air temperature, °C; f – relative humidity, %.

In the process of carrying out the work, generally accepted methods of processing mathematical, statistical and climatological data were used.

Research results. In the southern regions of Kazakhstan, the longest duration of dust storms in the period from 2005 to 2022 was recorded at the Aral Sea station in May 2018.

The dust storm began on May 26 at 11:00 local time and ended on May 29 at 11:00, that is, with a total duration of 72 hours. These days, at different times, a dust storm was also registered at the Kyzylorda station. In the process of considering meteorological conditions during these dust storms, data were obtained on air and soil temperatures, air humidity, wind speed and direction, visibility distance, as well as the amount of precipitation and the height of snow cover during the period of the storm.

The values of meteorological values during dust storms in the Aral Sea for the period from May 26 to 29, 2018 are given in the figures below (figure 2-4).

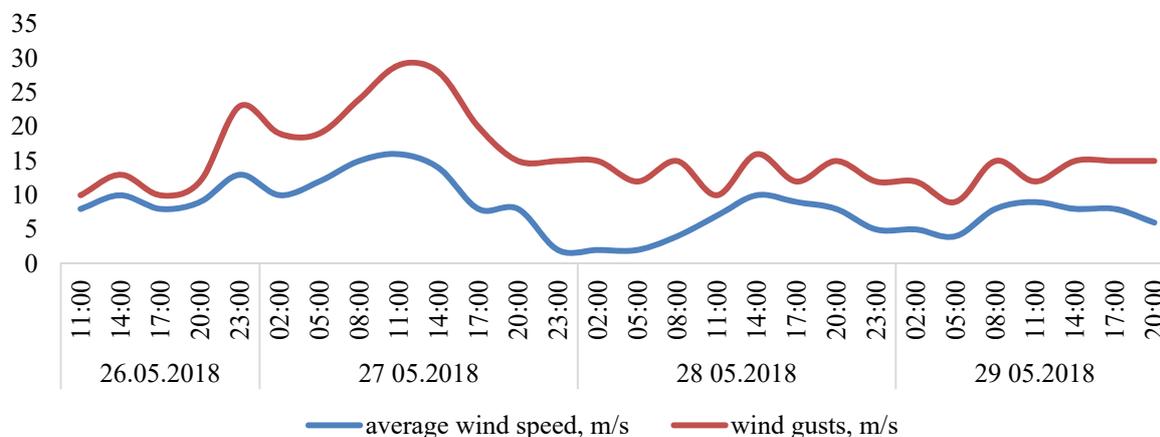


Figure 2 –Average wind speed and gusts during the longest observed dust storm at the Aral Sea station

According to figure 2, the dust storm, which began on May 26, intensified on May 27, and on this day the maximum value of the average wind speed (16 m/s) was observed, and the acceleration was 29 M/s. In later terms, the wind slowed down and only reached a high value again by the time the dust storm stopped. In most cases, the wind was from the north, north-west direction.

In the initial period of the beginning of the dust storm, the values of air temperature and soil temperature were higher, that is, at 11:00 on May 26, the temperature of the air was higher than 30 °C, and the temperature of the soil was 45 °C. That is, high air and soil temperatures create favorable conditions for the formation of dust storms.

Air humidity was observed as the inverse of air temperature and decreased at high wind speed values. When the wind speed increased, that is, when the dust storm intensified (on May 27 at 11:00 and 14:00 hours), the meteorological visibility distance was equal to 2.0 m.

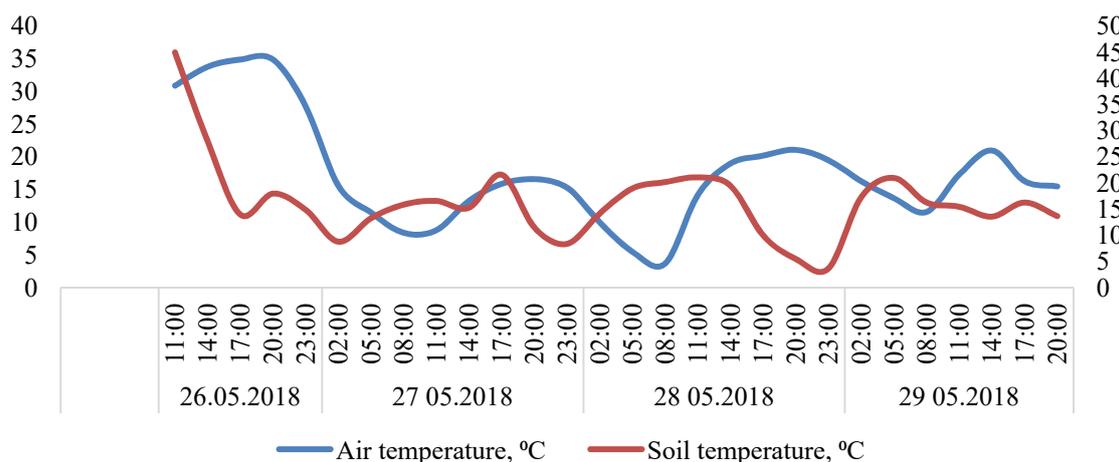


Figure 3 – Distribution of air and soil temperatures during the longest observed dust storm according to the Aral Sea station

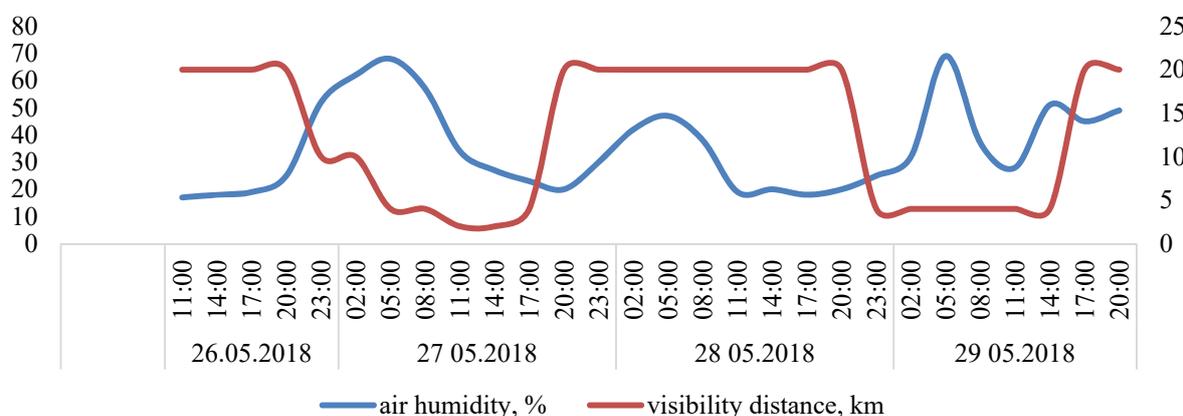


Figure 4 –Air humidity and visibility distance during the longest observed dust storm according to the Aral Sea station

The amount of precipitation (mm) and the height of snow cover at the Aral Sea station in December-May 2017-2018 (table 1).

Table 1 –The amount of precipitation in December-may (mm) and the height of the snow cover at the Aral Sea station for 2017–2018 years

Decada	12/2017		01/2018		02/2018		03/2018	04/2018	05/2018	General
	ΣR	H	ΣR	H	ΣR	H	ΣR	ΣR		
1 decada	5,6	0	13,2	6	3,5	17	8	–	–	30,3
2 decada	0,2	3	0,4	13,1		17	2	–	–	2,6
3 decada	10,3	5	14,1	15	6,8	16	4,4	0,4	–	36
For the moon	16,4		27,8		10,3		15,2	0,4	–	70,1
		3		11		17				10

Note. H is the height of the snow cover; ΣR is the amount of precipitation.

As shown in table 1, the Aral Sea station received 16.4 mm in December 2017, 27.8 mm in January 2018, 10.3 mm in February, 15.2 mm in March, 0.4 mm in April, and no precipitation at all in May. The height of the snow cover in December 2017 is very low, that is, only 3 cm, because in 1 decada there was no snow cover. At the same time, the average height of the snow cover also showed small values for January and February, that is, it was 11 cm in January and 17 cm in February. Due to such a small amount

of precipitation in winter, the degree of soil moisture was also low. Accordingly, the pavement surface quickly dried up, which affected the formation of dust storms, that is, a long absence of precipitation created conditions for the formation of storms.

Thus, a long dust storm depends on the amount of precipitation, that is, a long rainless period, in addition to the height of the snow cover in the winter months, as well as on solar activity (Wolf number).

The distribution of quantitative indicators of solar activity (Wolf number) during the longest observed dust storm for 2018 is given (figure 5).

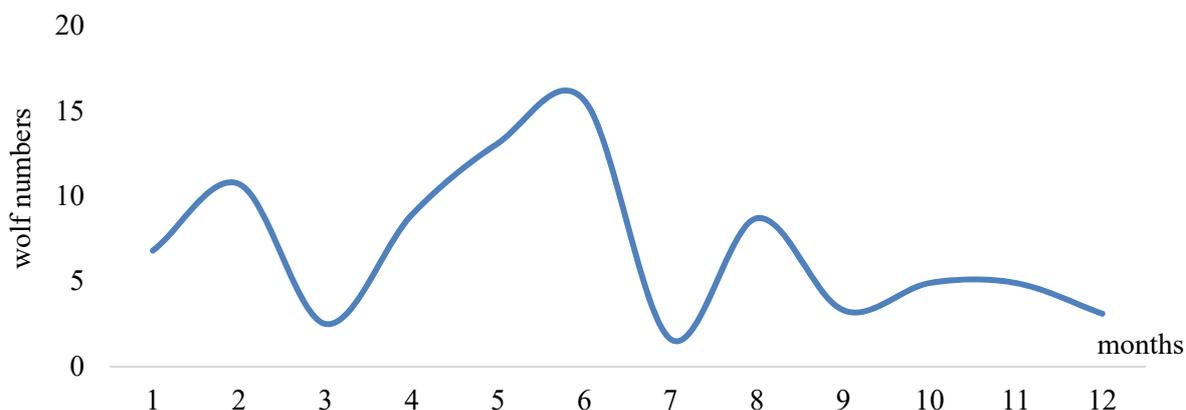


Figure 5 –Distribution of The Wolf number in 2018

As shown in figure 5, the increase in solar activity in 2018, when the longest dust storm was observed, falls on the spring months, especially in May and June, that is, during these months the value of The Wolf number increased to 13.1-15.3. The longest observed dust storm was observed at the Aral Sea station in 2018 in the period from May 26 to 29, according to which quantitative indicators of solar activity also showed high values during this period. From this it can be concluded that as the number of wolves increases, the repeatability of dust storms is more likely.

To assess the role of Wolf number 2005-2022. The coefficient correlation between the series of quantitative indicators of solar activity and the number of days in which dust storms were observed was calculated for the warm season. The values of The Wolf number and the average number of days during which dust storms were observed were taken as quantitative indicators of solar activity (table 2).

Table 2 – Correlation relationship between the number of days dust storm and the wolf numbers in the 2005-2022 years

Correlated dimensions	Months						
	3	4	5	6	7	8	9
South Kazakhstan region							
r (Wolf number; number of days)	0,39	0,42	0,53	0,35	0,39	0,30	-0,11
Aral Sea station							
r (Wolf number; number of days)	0,47	0,44	1,00	0,64	0,53	0,46	-0,13
<i>Note.</i> 1) CS is the number of days; 2) for N = 17 samples, the correlation coefficient is 0.45 at a confidence level of 95 % ($\alpha = 0.05$) [26].							

According to table 3, in 2005-2022. in determining the correlation relationship between the number of days when dust storms were observed in the South Kazakhstan region for a warm period and the wolf numbers, the correlation relationship is important when, according to the data given in Lakin's book "biometrics", the critical value of the correlation coefficient for 17 years is equal to 0.45. Accordingly, for the South Kazakhstan region, the correlation coefficient (0.53) was significant in May in the generally considered years. And the values of the coefficient correlation between the average number of days during which dust storms were observed at the Aral Sea station and the wolf numbers, especially in March-August, showed a positive sign and direct relationship (0.44-1.00). That is, the high values of the number

of days on which the dust storm was observed also correspond to the high values of the wolf numbers, and it can be seen that a very important direct relationship was observed, especially in May, when the correlation coefficient had a very high (1.00) indicator. Therefore, it can be concluded that the indicators of solar activity had a significant impact on the dust storms that occurred in this area.

Depending on the effective temperature value, a person's sense of heat was determined according to the following table (table 3).

Table 3 –Feeling of heat in a person due to the value of the effective temperature (°C)

Effective temperature	>30	30-24	24-18	18-12	12-6	6-0
Feeling	Very hot	Hot	Warm	Norm warm	Cool	Norm
Impact	Strong	Normal	Suitable	Suitable		

The effective temperature course on the Missenard of May 2018, when the longest dust storm was observed at the Aral Sea station, is given (figure 6).

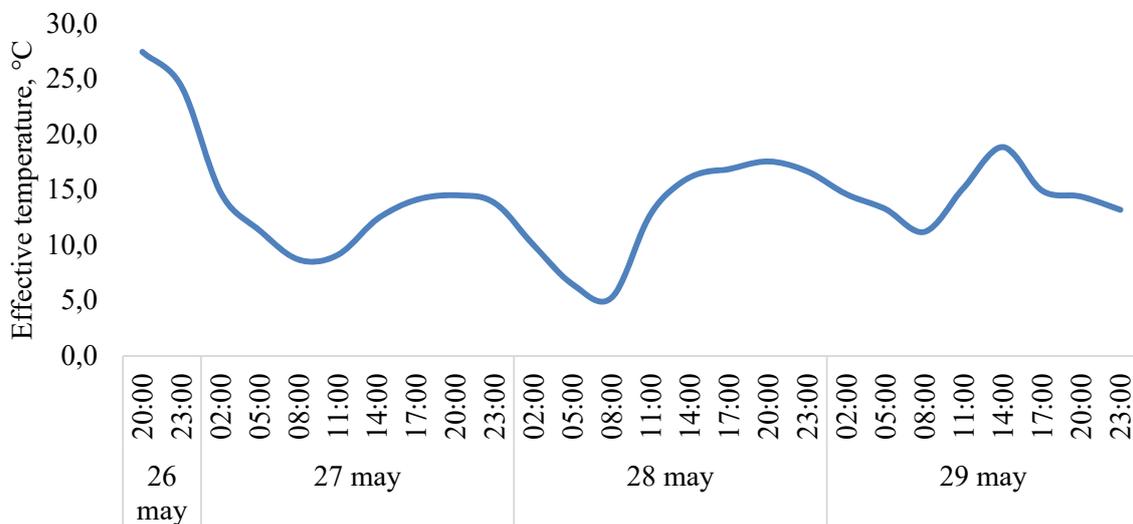


Figure 6 –Distribution of the Effective temperature course on the Missenard on the days when the longest dust storm was observed

According to figure 6, in May, when the longest dust storm was observed at the Aral Sea station in 2018, there was no significant change in the course of effective temperatures along the Missenard. In May, the effective temperature value at the time of the beginning of the dust storm was 27.4 °C, that is, it did not exceed 30 °C. This temperature is estimated to be a hot temperature according to the degree to which a person feels heat and is considered normal according to the effects it has.

Depending on the value of the HI index, the hazard category is determined according to the Table (table 4).

Table 4 –Hazard category depending on the value of the HI index

HI index value	Danger category	Possible deviations in the upper risk groups
27-32	Noteworthy	Presence of weakness in physical activity
32-41	Extreme caution	Muscle twitching, heat and sun passing, diseases of blood vessels from heat
41-54	Dangerous	Muscle inflammation, sun and heat transition
>54	Especially dangerous	Heat or sun pass

The course of the "heatstroke" Index according to Stedmen for May, when the longest dust storm of 2018 was observed at the Aral Sea station (figure 7) is given.

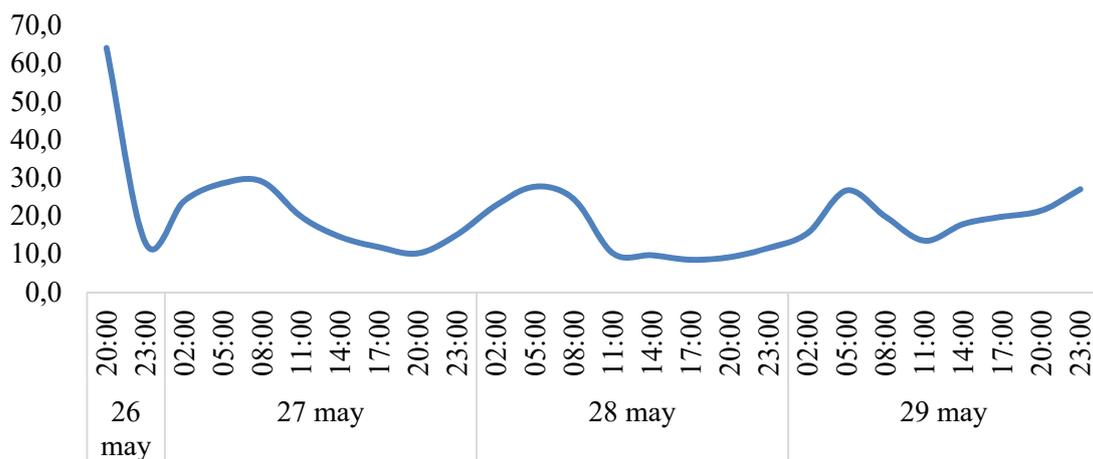


Figure 7 –The days when the longest dust storm was observed Stedman's "heat heat" indexes gait distribution

Figure 7 shows the course of the Stedmen thermal index for May, when the longest dust storm was observed in 2018 at the Aral Sea station. On May 26, when the longest dust storm began in 2018, the maximum indicator of the Stedman "heat" index was 64.1, therefore, according to the degree of danger, this day is considered the most dangerous and most likely to be observed heat or solar transition in terms of possible fluctuations in the upper risk groups.

During the consideration of microcirculation cases of dust storms in the South Kazakhstan region for the period from 2005 to 2022, data from the Wangenheim-Girst indices E, C, W were obtained.

The relationship between the number of observed days during the longest observed dust storms of the warm season of 2018 in the southern regions of Kazakhstan and the values of the Wangenheim-Girs meridional (E and C) and zonal (W) indices is shown in the following figure (figure 8).

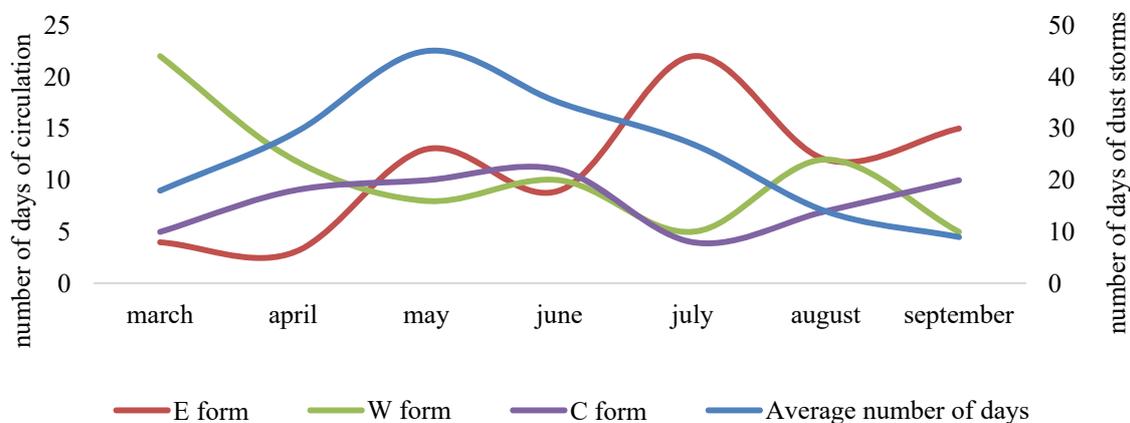


Figure 8 –Relationship between the Wangenheim-Girs indices and the number of days of the longest observed dust storm

According to figure 8, when determining the relationship between the Wangenheim-Geers indices for three forms (E, C, W) and the dust storm gait for the longest observed year (2018), The Shape e gait for the longest observed dust storm gait is approximately directly propotional, i.e. the gait of both values was higher in May. The course of form C is also approximately close to the course of the longest observed dust storm. And the course of form W was the opposite of the course of the longest observed dust storm.

The relationship between the values of the Wangenheim-Girs form E index and the number of days when dust storms were observed in the southern regions of Kazakhstan in the warm season in 2018 is shown (figure 9).

According to figure 9, the number of days of the longest observed dust storm in the warm season in 2018 and the course of the e-form of circulation are approximately similar. The similarity is especially well expressed in April-May, that is, the longest observed dust storm, which lasted 72 hours, coincides with the March of the May period and the course of the e-Form (13 days).

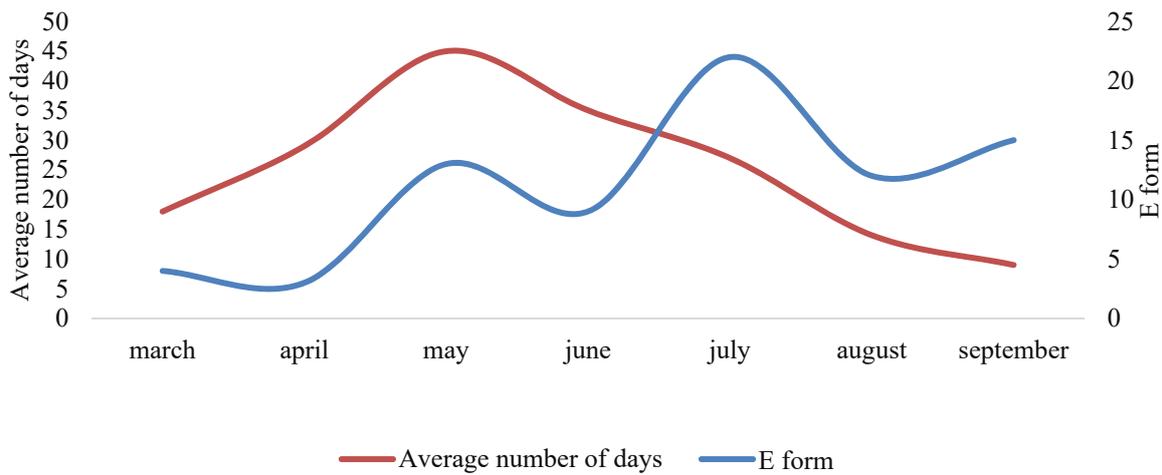


Figure 9 –Relationship between Wangenheim-Geers e-form indices and the number of days of the longest observed dust storm

To assess the role of the circulating factor during a more detailed consideration of the above-mentioned relationship, it is necessary to study the results of 2005-2022. the correlation coefficient between the number of days when dust storms were observed in the Warm Period and the form E was calculated (table 5).

Table 5 –The correlation between the number of days in which the dust storm was observed and the form E

Correlated dimensions	Months						
	3	4	5	6	7	8	9
South Kazakhstan region							
<i>r</i> (Form E; number of days)	0,06	0,22	0,42	0,23	-0,13	-0,14	-0,04
Aral Sea station							
<i>r</i> (Form E; number of days)	0,12	0,40	0,49	0,03	-0,03	-0,31	-0,20
<i>Note.</i> 1) CS is the number of days; 2) for N = 17 samples, the correlation coefficient is 0.45 at a confidence level of 95 % ($\alpha = 0.05$) [26].							

According to Table 5, 2005-2022. in determining the correlation relationship between the number of days when dust storms were observed in the South Kazakhstan region for the Warm Period and the e-form indices, the correlation relationship is important when, according to the data given in Lakin's book "biometrics", the critical value of the correlation coefficient for 17 years is 0.45, that is, the e-form affected the dust storms that occurred in the general region approximately in May (0.42).

According to the Aral Sea station in 2005-2022. the correlation coefficient between the number of days of a dust storm and the form E in April and May, the values of which are positive and Direct, was observed, that is, high values of the indices of the Form e corresponded to high values of the number of days of a dust storm, especially in May, it can be seen that a very significant relationship was observed, that is, the correlation coefficient was equal to 0.49.

The relationship between the values of the El Niño indices during dust storms and the number of days when dust storms were observed in the southern region of Kazakhstan for the considered years is shown (figure 10).

As shown in figure 10, for the period 2005-2022 by the region studied. In determining the relationship between the El Niño index travel and the number of days in which a dust storm was observed, The Travels of both values roughly coincide.

Discussion. To assess the role of the microcirculation factor in a more detailed study of the relationship between the El Niño Southern Oscillation and the number of days observed in dust storms, the correlation coefficient between the macroscale atmospheric circulation indices and the number of days observed in dust storms was calculated for the warm season. The values of El Niño (SOI) and the number of days in which dust storms were observed were taken as macroscale circulation indices (table 6).

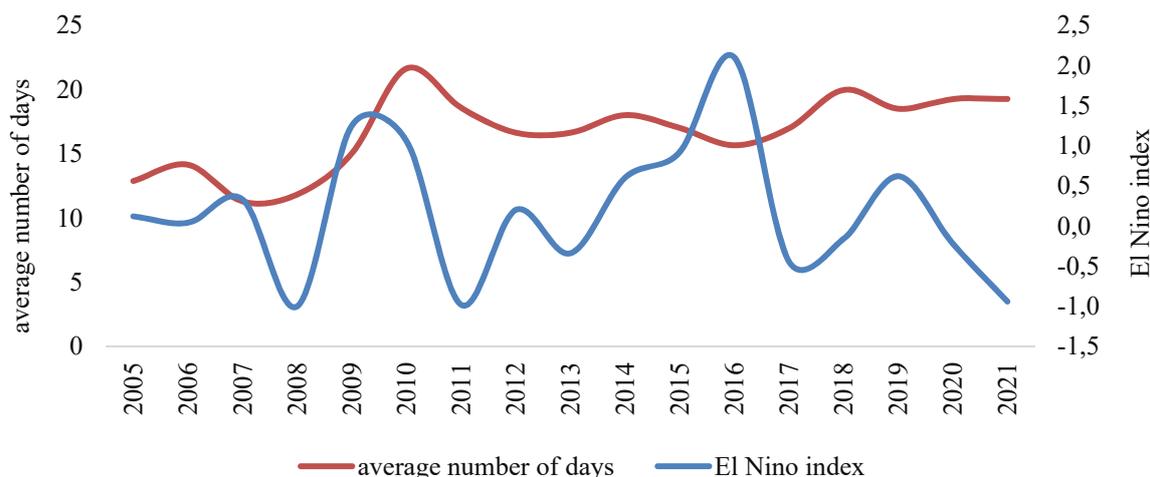


Figure 10 –The relationship between the El Niño indices and the number of days the dust storm was observed

Table 6 –2005-2022 correlation relationship between the number of days when a dust storm was observed for a warm period and the El Niño (SOI) index

Correlated dimensions	Months						
	3	4	5	6	7	8	9
South Kazakhstan region							
<i>r</i> (SOI; number of days)	0,13	0,31	0,42	0,34	0,17	-0,17	-0,03
Aral Sea station							
<i>r</i> (SOI; number of days)	0,25	0,38	0,47	0,34	0,28	0,20	-0,13
<i>Note.</i> 1) CS is the average number of days; 2) for N = 17 samples, the correlation coefficient is 0.45 at a confidence level of 95 % ($\alpha = 0.05$) [26].							

As shown in table 7, for the warm period from 2005 to 2022, the data of the correlation coefficient between the number of days of dust storms and the El Niño (SOI) index for the South Kazakhstan region and the Aral Sea station were calculated. At the stations considered in the southern region of Kazakhstan, the values of the correlation coefficient between the number of days when dust storms were observed in May and the El Niño (SOI) index showed a positive and direct relationship, that is, the high values of the number of days when dust storms were observed also corresponded to the high values of the El Niño (SOI) index, so the correlation coefficient was positive and was equal to 0.42. On the other hand, an important connection was observed in May at the Aral Sea station, that is, the coefficient correlation was equal to 0.47.

According to research by A. P. Agarkova (1950-1969) in the study area studied was observed that dust storms often occur against a temperate and weak background of small areas covering one or more areas. The nature of its occurrence is determined not only by the state of the paving surface but also depends on the direction and intensity of atmospheric processes that have developed on the Earth's surface and altitude [25].

The synoptic state during the longest observed (72 hours) dust storm in the period from May 26 to 29, 2018 was considered, and the analysis of the dust storm (May 27), which struck in those days at the most intense speed (average -16 M/s, perturbation – 29 M/S) was given according to the following maps: a map of the Earth's surface and a map of Baric topography AT₅₀₀ GPA (figure 11).

As shown in figure 11, on the Earth map on May 27, several frontal systems passed through the central and southern regions of Kazakhstan, in connection with which in the Aral Sea and Kyzylorda regions there was an increase in winds, a high recurrence of dust storms, that is, in this regard, the winds that increase during convection, which occurs as a result of uneven heating of the Earth's surface in May-June, and the forced rise of warm air on cold fronts, also cause dust storms in arid regions. On the Baric topography map of the AT500 altitude of May 27, 2018, the territory of the European territory of Western

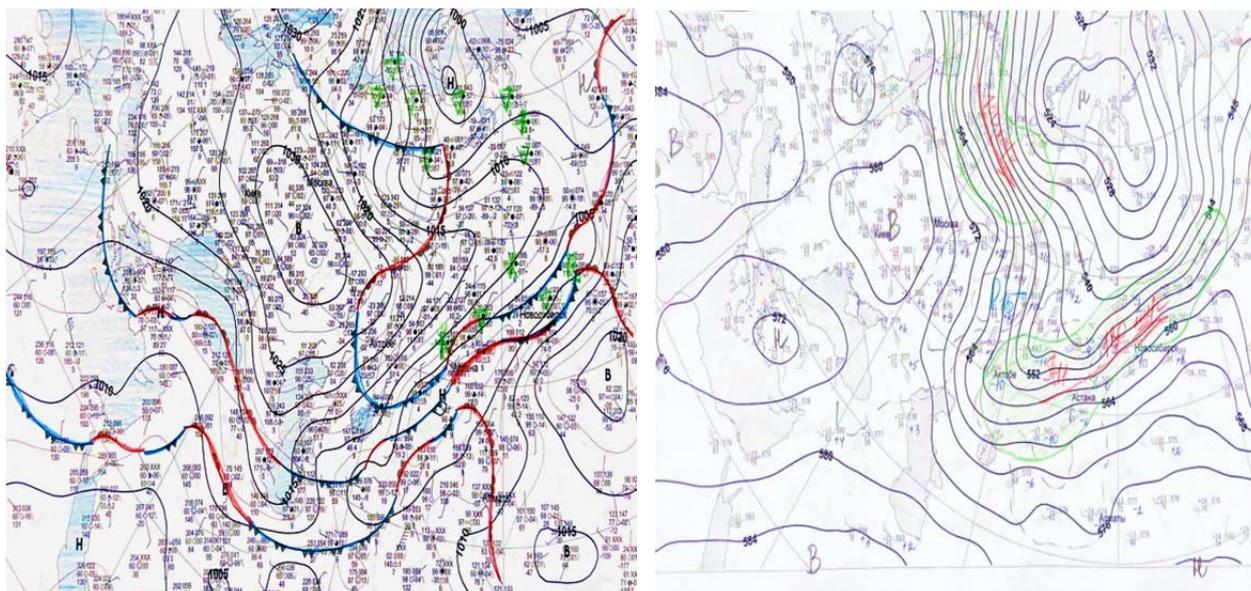


Figure 11 – On May 27, 2018, 12 hours. surface weather map and altitude map at 500 GPA

Europe and Russia, the west of Kazakhstan, coincides with a high ridge with a closed center of the anticyclone. On the territory of the North Sea, a large-scale cyclone is widespread, which is located above the island of Svalbard. A deep ravine extends from it, directed to Western Siberia and eastern Kazakhstan. Between these Baric structures, an intense high frontal zone is formed, which moves medially through the Scandinavian Peninsula to the regions of western Kazakhstan. The location of such Baric structures is characteristic of the north-western penetration.

Conclusion. Considering the conditions for the formation of dust storms in the southern region of Kazakhstan for the period from 2005 to 2022, the following results were summed up:

1. The Longest duration of the dust storm began on May 26, 2018, at 11:00 hours and ended on May 29 at 11:00 hours, that is, the total duration lasted 72 hours. During the initial period of the longest dust storm, that is, on May 26, the air temperature was higher than 30 °C, and the soil temperature was 45°C, the maximum value of the average wind speed was 16 m/s, and the wind speed was 29 m/s, and the visibility distance was reduced to 2 m. The average height of the snow cover is 10 cm, precipitation in April is 0.4 mm, and in May-absolutely no precipitation.

2. The values of the correlation coefficient between the number of days when dust storms were observed at the Aral Sea station and the number of wolves, especially in March-August, were very significant (1.00), especially in May.

3. The effective temperature value according to the Misener indices of May, when the longest dust storm was observed at the Aral Sea station in 2018, was 27.4 °C at the time of the beginning of the dust storm. The maximum indicator of the heat index according to Stedman was 64.1, with a high probability of passing the sun in terms of the degree of danger and possible deviations in the highest risk groups.

4. In the relationship between the Wangenheim-Geers atmospheric circulation indices (E, C, W) and the course of the dust storm in the longest observed year (2018), the importance of form E was found to be especially high ($r = 0.49$) in May.

5. The correlation coefficient between the macro-mass atmospheric circulation Index El Niño (SOI) and the index of the number of days in which dust storms were observed showed that a significant connection was observed in May at the Aral Sea station, that is, the correlation coefficient was equal to 0.47.

6. During the analysis of the synoptic process during a dust storm that struck at the most intense speed (average –16 m/s, permeability – 29 m/s) as of May 27, 2018, it was found that the formation of a dust storm was associated with the penetration of cold northwestern air.

Summarizing the studies carried out, it was proved that the high recurrence rate of dust storms in the south of the country is influenced by meteoparameters. According to the data of the years considered, the

increase in air and soil temperatures, as well as a decrease in air humidity and a decrease in the amount of precipitation and the height of snow cover over the past winter months, influenced the repeatability and duration of dust storms. The results obtained from this research work are somewhat informative when studying climate change in the southern region of Kazakhstan.

REFERENCES

- [1] Agarkova A. P. Dust storms and their forecast. Moscow: Hydrometeoizdat, 1981. 105 p.
- [2] Uteshev A. S. The climate of Kazakhstan. L.: Hydrometeoizdat, 1959. 367 p.
- [3] Semenov O.E. Introduction to experimental meteorology and climatology of sandstorms // KazNRIEC. No. 3. 210 p.
- [4] Chirkov Yu. I. The recurrence of dust storms in the USSR and the possibility of predicting their occurrence // Tr. GMTS. 1970. Issue 69. P. 109.
- [5] Fedushina L. P. Distribution of dust storms on the territory of Alma Ata and Dzhambul regions, one of the forms of manifestation of soil deflation // Proceedings of KazNIGMI. 1972. Issue 49. P. 76-83.
- [6] Agarkova A. P. Distribution and duration of dust storms in the territory of Western and Southern Kazakhstan // Tr. KazNIGMI. 1972. Vol. 49. P. 110-117.
- [7] Seredkina E.A. Dust storms of Kazakhstan // Proceedings of KazNIGMI. 1960. Issue 15. P. 54-59.
- [8] Fedushina L. P., Semenov O. E., Climatic conditionality of deflationary processes in Kazakhstan // Proceedings of KazNIGMI. 1970. Issue 35. P. 41-51.
- [9] Semenov O. E., Tulina L.P. Spatial and temporal distribution of dangerous and especially dangerous dust storms in Kazakhstan // Proceedings of KazNIGMI. 1978. Issue 71. P. 62-77.
- [10] Shardakova L.Yu., Usmanova L. V. Analysis of dust storms in the Aral Sea region // Problems of desert development. 2006. No. 3. P. 30-34.
- [11] Romanov N.N. Dust storms in Central Asia. Tashkent: SamGU Publishing House, 1960. 198 p.
- [12] Sapozhnikova S. A. A chart of the number of days with dust storms in the southern zone of the USSR and adjacent territories // Proceedings of the National Research Institute of the Russian Academy of Sciences. 1970. Issue 65. P. 61-68.
- [13] Klimenko L. V., Moskaleva L.A. The frequency of dust storms in the USSR // Meteorology and Hydrology. 1979. No. 9. P. 93-97.
- [14] Zolotokrylin A. N. Dust storms in the Turanian lowlands // Izvestia of the Russian Academy of Sciences. Geographical series. 1996. No. 6. P. 48-54.
- [15] Orlovsky N. S., Orlovskaya L., Induitu R. Dangerous and especially dangerous dust storms in Central Asia // Aridnye ecosystems. 2013. Vol. 19, No. 4(57). P. 49-58.
- [16] Tursynbek A., Zheksenbayeva A. K. spatial and temporal distribution of dust storms in the southern regions of Kazakhstan // International scientific journal academician. 2024. No. 1(240). P. 80-89.
- [17] Agarkova A. P., Panova E. N. Wind regime in Western and Southern Kazakhstan during dust storms lasting 12 hours or more // Tr. KazNIGMI. 1974. Vol. 53. P. 178-184.
- [18] Handbook on the climate of Kazakhstan, Republican State Enterprise Kazhydromet. Almaty, 2003. P. 38-39.
- [19] Agarkova A. P. Distribution and duration of dust storms in the territory of Western and Southern Kazakhstan // Tr. KazNIGMI. 1972. Vol. 49. P. 110-117.
- [20] Chizhevsky A. L. The earthly echo of solar storms. Moscow: Mysl, 1976. P. 29-323.
- [21] Baydal M. H. The main forms of atmospheric circulation and their influence on the weather in Kazakhstan // Proceedings of KazNIGMI. L.: Gidrometeoizdat, 1995. Vol. 9. 105 p.
- [22] Girs A. A. Long-term fluctuations of atmospheric circulation and long-term meteorological forecasts. L.: Gidrometeoizdat, 1971.
- [23] Bondarenko A. L. El Niño - La Niña: mechanisms of formation // NATURE. 2006. No. 5. P. 39-47.
- [24] SOI Southern Oscillation Index data, electronic resource <https://crudata.uea.ac.uk/cru/data/soi/>
- [25] Agarkova A. P., Climatic characteristics of the Kazakh SSR by month // Tr. KazNIGMI. 1975. Vol. 59. P. 167-170.
- [26] Lakin G. F. Biometrics. Textbook for universities and pedagogical institutes. M.: Higher School, 1973. 343 p.

А. К. Жексенбаева*¹, А. Н. Мунайтпасова², Г. О. Оракова³, А. Тұрсынбек⁴

¹* Г. ғ. к, доцент м.а. (Әл-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университеті, Алматы, Қазақстан;
zheksenbaeva077@gmail.com)

² Г. ғ. к, аға оқытушысы (Әл-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университеті, Алматы, Қазақстан;
aidamunaitpasova@mail.ru)

³ Аға оқытушысы (Әл-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университеті, Алматы,
Қазақстан;*gulnar.orakova@mail.ru*)

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

КЛИМАТТЫҢ ЗАМАНАУИ ӨЗГЕРУІ ЖАҒДАЙЫНДА ҚАЗАҚСТАННЫҢ ОҢТҮСТІК АЙМАҒЫНДАҒЫ ШАНДЫ ДАУЫЛДАРДЫҢ КЕҢІСТІКТІК ТАРАЛУЫ

Аннотация. Заманауи климаттың өзгеруі және олардың салдарын бағалау мәселелері IPCC (2021-2023) соңғы бағалау баяндамаларына сәйкес, жердің әртүрлі аймақтарында айтарлықтай элеуметтік және экономикалық зиян келтіретін, ауа райының қауіпті құбылыстарының артуы байқалуда. Берілген мақалада климаттың заманауи өзгеруіне байланысты шанды дауылдың қалыптасу жағдайына әсер ететін әртүрлі климаттық факторлар зерттелді. Қазақстанның оңтүстік өңіріндегі Арал теңізі станциясында 2005-2022 жылдар аралығындағы шанды дауылдың ең ұзақ уақытқа (72 сағат) созылуы 2018 жылдың мамыр айында тіркелгені анықталды. Сол кездегі метеопараметрлердің мәндері, яғни оның ауа райы жағдайларына тәуелділігі, Күн белсенділігінің сандық көрсеткіштері (Вольф саны), биоклиматтық көрсеткіштер, сонымен қатар макроциркуляциялық қалыптасу жағдайлары қарастырылды. Талдау нәтижесінде шанды дауыл ең көп байқалған күндер саны мен Вольф саны ($r = 1,00$), Вангенгейм-Гирс циркуляция формалары, оның ішінде E формасы ($r = 0,49$), Эль-Ниньо индекстері ($r = 0,47$) арасында маңызды корреляциялық байланыс болғаны, сонымен қатар синоптикалық талдау нәтижесінде шанды дауылдың ұзақ байқалуы солтүстік-батыс суық фронтымен байланысты болғаны айқындалды.

Түйін сөздер: шанды дауыл, Вольф саны, биоклиматтық көрсеткіштер, атмосфера циркуляциясы, корреляция коэффициенті, индекстер.

А. К. Жексенбаева*¹, А. Н. Мунайтпасова², Г. О. Оракова³, А. Тұрсынбек⁴

¹* К. г. н., доцент (Казахский национальный университет им. Аль-Фараби, Алматы, Казахстан;
zheksenbaeva077@gmail.com)

² К. г. н., старший преподаватель (Казахский национальный университет им. Аль-Фараби, Алматы,
Казахстан; *aidamunaitpasova@mail.ru*)

³ Старший преподаватель (Казахский национальный университет имени Аль-Фараби, Алматы, Казахстан;
gulnar.orakova@mail.ru)

⁴ Магистрант (Казахский национальный университет имени Аль-Фараби, Алматы, Казахстан;
aktilek_tursynbek@mail.ru)

ПРОСТРАНСТВЕННОЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ПЫЛЬНЫХ БУРЬ В ЮЖНОМ РЕГИОНЕ КАЗАХСТАНА В УСЛОВИЯХ СОВРЕМЕННОГО ИЗМЕНЕНИЯ КЛИМАТА

Аннотация. Согласно последним оценочным докладом МГЭИК (2021-2023), в различных регионах Земли наблюдается рост опасных погодных явлений, наносящих значительный социальный и экономический ущерб. Изучены различные климатические факторы, влияющие на образование пыльных бурь в связи с современным изменением климата. Установлено, что на станции Аральского моря в южном регионе Казахстана в мае 2018 года зафиксирована самая продолжительная (72 ч) пыльная буря с 2005 по 2022 год. Рассмотрены значения метеопараметров того времени, т. е. их зависимость от погодных условий, количественные показатели солнечной активности (число Вольфа), биоклиматические показатели, а также условия макроциркуляционного формирования. Анализ показал, что существует значительная корреляционная связь между количеством дней, в течение которых пыльная буря наблюдалась больше всего, и количеством числа Вольфа ($r = 1,00$), формами циркуляции Вангенгейма-Гирса, включая форму E ($r = 0,49$), индексы Эль-Ниньо ($r = 0,47$). В результате синоптического анализа установлено, что продолжительное наблюдение пыльных бурь было связано с прохождением северо-западного холодного фронта.

Ключевые слова: пыльная буря, число Вольфа, биоклиматические показатели, циркуляция атмосферы, коэффициент корреляции, индексы.

<https://doi.org/10.55764/2957-9856/2025-4-130-148.51>

МРНТИ 37.21.29
УДК 504.32

**А. Н. Мунайтпасова^{*1}, С. С. Байшоланов², К. С. Салиева³,
Р. Арыстанова⁴, Н. Н. Карабкина⁵, А. А. Арыстанов⁶**

^{1*} К. г. н., старший преподаватель (Казахский национальный университет им. аль-Фараби, Алматы, Казахстан; aidamunaitpasova@mail.ru)

² К. г. н., ассоциированный профессор (Международный университет «Астана», Астана, Казахстан; saken_baisholan@mail.ru)

³ Начальник управления агрометеорологического прогнозирования (РГП «Казгидромет», Астана, Казахстан; kamar.salieva@gmail.com)

⁴ PhD докторант (Казахский национальный университет им. аль-Фараби, Алматы, Казахстан; arystanovaranida@gmail.com)

⁵ Ведущий научный сотрудник (Научно-образовательная технологическая платформа Казахского национального аграрного исследовательского университета, Алматы, Казахстан; nkarabkina@mail.ru)

⁶ Постдокторант по программе “Жас Ғалым” (Казахский национальный университет им. аль-Фараби, Алматы, Казахстан; asetarystanov87@gmail.com)

ТЕМПЕРАТУРНЫЙ РЕЖИМ И РЕСУРСЫ ТЕПЛА В СЕВЕРО-КАЗАХСТАНСКОЙ ОБЛАСТИ

Аннотация. На основе многолетних метеорологических данных рассматриваются особенности температурного режима и ресурсы тепла в Северо-Казахстанской области. Проведен пространственно-временной анализ солнечной радиации, температурного режима, континентальности климата, даты наступления и продолжительности сезонов года, благоприятности климата для рекреации, теплообеспеченности вегетационного периода, заморозков и неблагоприятно жарких дней. На основе ресурсов тепла определены сельскохозяйственные культуры, обеспеченные теплом. Полученные результаты представляют практическую ценность для оценки климатических рисков, планирования сельскохозяйственной деятельности и разработки адаптационных мер в условиях изменяющегося климата Северо-Казахстанской области.

Ключевые слова: температура воздуха, теплообеспеченность, вегетационный период, заморозки.

Введение. В последние 20–30 лет наблюдается рост интереса общественности к вопросам климата, что обусловлено учащением природных катаклизмов, связанных с глобальным и региональным изменением климата [7-15].

Изучением глобального изменения климата, а также предоставлением научной информации для разработки климатической политики на всех уровнях занимаются такие организации, как Всемирная метеорологическая организация (ВМО), Программа развития Организации Объединенных Наций (ПРООН), Межправительственная группа экспертов по изменению климата (МГЭИК), региональные ведомства (РГП «Казгидромет»), а также ряд отечественных и зарубежных учёных-климатологов. Отчёты МГЭИК являются ключевым вкладом в международные переговоры по вопросам климата.

ВМО осуществляет координацию климатических исследований в международном масштабе, включая изучение климатических колебаний, экстремальных явлений и их воздействие на деятельность человека. Кроме того, ВМО содействует разработке и применению климатических услуг как важнейшего компонента глобальных климатических действий.

Согласно сводному докладу МГЭИК изменение климата может быть обусловлено как естественными внутренними процессами и внешними факторами (например, изменением солнечной активности, вулканической деятельностью), так и устойчивыми антропогенными изменениями состава атмосферы, океанов и землепользования.

Антропогенное изменение климата, вызванное деятельностью человека (сжигание ископаемого топлива, изменение землепользования, ведение животноводства, применение удобрений, утилизация отходов, промышленные процессы), оказывает всё более заметное воздействие на климатическую систему Земли. Оно приводит к масштабным и быстрым

изменениям в атмосфере, океане, криосфере и биосфере, способствуя учащению экстремальных погодных явлений и сопровождаясь значительными социально-экономическими потерями [1].

Согласно Шестому оценочному докладу МГЭИК антропогенное изменение климата уже с 1950-х годов привело к увеличению частоты и интенсивности тепловых волн. Прогнозируется, что при дальнейшем глобальном потеплении их частота и интенсивность будут расти, что увеличит риски для продовольственной безопасности, особенно в уязвимых регионах. Массовые потери местных популяций растений и животных связываются с ростом самых жарких годовых температур и участвующими тепловыми волнами. Последствия этих явлений проявляются в росте смертности и заболеваемости, степень которых зависит от возраста, пола, степени урбанизации и социально-экономических условий [2].

С каждым дополнительным повышением глобальной температуры (например, на каждые 0,5 °C) экстремальные климатические явления усиливаются: увеличивается частота, интенсивность и продолжительность тепловых волн. Последние, в свою очередь, провоцируют засухи, лесные пожары, задымление, нехватку воды и энергии, а также потери в сельском хозяйстве. Без дополнительных адаптационных мер особенно уязвимыми окажутся группы населения с ограниченными ресурсами.

Согласно новому докладу ВМО в 2023 году были зафиксированы рекордные значения по концентрации парниковых газов, температуре воздуха у поверхности, теплосодержанию и закислению океанов, уровню моря, площади морского льда в Антарктике и темпам отступления ледников. Средняя глобальная температура приземного воздуха в 2023 году на 1,45 °C ($\pm 0,12$ °C) превысила доиндустриальный уровень, сделав 2023 год самым тёплым в истории инструментальных наблюдений. При этом последнее десятилетие также стало самым тёплым за весь период наблюдений [3].

Помимо отчётов международных организаций, на национальном и региональном уровнях публикуются научные статьи и исследования, посвящённые последствиям изменения климата. Так, в работе «Воздействие изменения климата на наземные системы поверхности Земли» рассматривается влияние глобального потепления на растительность, почвы и водные ресурсы, включая снижение плодородия почв, ухудшение качества воды и утрату биоразнообразия [4].

В исследовании «Global warming and forest carbon dynamics uncertainty in the northern hemisphere» анализируется неопределённость влияния изменения климата на леса Северного полушария и их углеродный баланс. Отмечается, что изменение климата может вызвать резкое сокращение лесных массивов, смещение границ экосистем и серьёзные нарушения в углеродном цикле, играющем ключевую роль в регулировании парниковых газов [5].

В статье «Climate Change and Hydrological Extremes» показано, как изменение климата влияет на круговорот воды, пространственно-временные характеристики наводнений и засух, а также на формирование экстремальных гидрологических явлений в различных масштабах [6].

В Казахстане активными исследованиями климатических изменений занимаются специалисты Казгидромета, Института географии и водной безопасности, а также учёные кафедры метеорологии и гидрологии Казахского национального университета имени аль-Фараби. Среди них Долгих С. А., Чередниченко В. С., Чередниченко А. В., Сальников В. Г., Полякова С. Е., Нысанбаева А. С., Жексенбаева А. К., Талипова Э. К. и др. [7-15].

В работе [14] представлены результаты оценки современных пространственно-временных трендов экстремальных температур и осадков на основе данных 42 метеостанций за 1971–2020 гг. При этом использовались специализированные климатические индексы, рекомендованные ВМО, проанализированы их изменения.

В статье [15] оценены изменения метеорологических параметров вегетационного периода и их связь с урожайностью зерновых культур в Северном Казахстане.

Исследованию влияния изменения климата на сельское хозяйство посвящены работы Байшоланова С. С. [16-19]. В работе [16] проведено агроклиматическое зонирование территории Северного Казахстана. В работе [17] дана оценка уязвимости и адаптации к изменению климата зернопроизводства и пастбищного животноводства Казахстана. В работе [18] исследовано влияние изменения климата на пастбища и орошаемое земледелие на юге страны. Также были подготовлены агроклиматические справочники для 7 областей Казахстана, включая Северо-Казахстанскую область [19].

В настоящей статье нами был проведен анализ температурного режима и ресурсов тепла в Северо-Казахстанской области. Температурный режим является одной из важных характеристик климата, определяет его благоприятность для рекреации и ведения сельского хозяйства. Соответственно были рассмотрены обеспеченность территории Северо-Казахстанской области солнечной радиацией, температурный режим, континентальность климата, сезоны года, благоприятность климата для рекреации, ресурсы тепла в период вегетации, атмосферные заморозки и т.д.

Данные и методы исследования. Несмотря на обширные исследования глобальных и региональных климатических изменений, существует потребность в более детальном анализе региональных особенностей теплового режима Северо-Казахстанской области за современный период. В связи с интенсивным потеплением климата нами в качестве современного актуального климатического периода было выбрано последнее 20-летние, т.е. период с 2003 по 2024 год.

Соответственно в настоящей статье были использованы данные метеорологических станций РГП «Казгидромет» Министерства экологии и природных ресурсов Республики Казахстан (МЭПР РК) с 2003 по 2024 год.

Ресурсы тепла были оценены по административным районам Северо-Казахстанской области. Для этого использованы данные метеорологических станций (МС) и агрометеорологических постов (АМП), имеющих многолетний ряд наблюдений. Если в районе имелись несколько МС, то их данные усреднялись (таблица 1).

Для уточнения данных на приграничных территориях Северо-Казахстанской области были использованы результаты наблюдений приграничных МС трех соседних областей (Костанайская, Акмолинская, Павлодарская).

Таблица 1 – Метеорологические станций и агрометпосты Северо-Казахстанской области
Table 1 – Meteorological stations and agrometeorological stations in the North Kazakhstan region

№	Район	МС
1	Кызылжарский	АМП Налобино, МС Петропавловск
2	Мамлютский	АМС Мамлютка
3	М.Жумабаева	АМС Булаево, МС Возвышенка
4	Аккаинский	АМС Смирново
5	Жамбылский	МС Благовещенка, АМП Пресновка
6	Есильский	МС Явленка, АМП Корнеевка
7	Шал акына	МС Сергеевка
8	Айыртауский	МС Саумалколь
9	Тайыншинский	МС Тайынша, МС Чкалово
10	Тимирязевский	МС Тимирязево
11	Г.Мусрепова	МС Рузаевка, АМП Новоишимский
12	Акжарский	АМП Талшык
13	Уалихановский	МС Кишкенеколь

Для характеристики теплового режима выбраны следующие показатели:

1. Суммарная фотосинтетически активная радиация, МДж/м².
2. Длина светового дня и продолжительность солнечного сияния, ч.
3. Средняя месячная и годовая температура воздуха, °С.
4. Индекс континентальности климата по Л. Горчинскому.
5. Даты устойчивого перехода температуры воздуха через 0; 5; 10 и 15°С.
6. Радиационно-эквивалентно-эффективная температура воздуха.
7. Индекс суровости зимы по методу Бодмана.
8. Продолжительность периода со средней суточной температурой воздуха выше 5; 10 и 15 °С.
9. Сумма средних суточных температур воздуха выше 5; 10 и 15 °С.
10. Количество дней с максимальной температурой воздуха выше 32 °С.
11. Даты последних весенних и первых осенних заморозков, продолжительность беззаморозкового периода в воздухе.

Ресурсы солнечной радиации применительно к растению оцениваются фотосинтетически активной радиацией (ФАР), длиной светового дня и продолжительностью солнечного сияния.

Для расчета ФАР было использовано уравнение, предложенное Б. И. Гуляевым, Х. Г. Тоо-мингом и Н. А. Ефимовой [20]:

$$\sum Q_{\Phi} = 0,43 \sum S' + 0,57 \sum D, \quad (1)$$

где $\sum Q_{\Phi}$ – суммарная фотосинтетически активная радиация, МДж/м²; $\sum S'$ – сумма прямой радиации на горизонтальную поверхность за определенный промежуток времени, МДж/м²; $\sum D$ – сумма рассеянной радиации за тот же промежуток времени, МДж/м².

Также были определены длина светового дня и продолжительность солнечного сияния.

Для оценки континентальности климата использован индекс континентальности климата по Л. Горчинскому (k) [21]:

$$k = \frac{1,7 A}{\sin \varphi} - 20,4, \quad (2)$$

где A – годовая амплитуда температуры воздуха; φ – географическая широта.

Континентальность климата оценивается по критериям:

- 20 и менее – мягкий морской климат;
- 20,1-30 – умеренный морской климат;
- 30,1-50 – умеренный континентальный климат;
- 50,1-70 – континентальный климат;
- 70,1-90 – резко континентальный климат;
- 90 и более – сильно континентальный климат.

Устойчивый переход среднесуточной температуры воздуха выше 0°C считают климатическим наступлением весны, выше 15°C – наступлением лета. Соответственно эти даты были использованы для определения климатических сезонов года (весна, лето, осень, зима). Для определения даты перехода температуры был использован графический метод.

Благоприятность климата для человека оценивалась в теплый период года по радиационно-эквивалентно-эффективной температуре (РЭЭТ), а в холодный период года – по индексу суровости зимы Бодмана (S).

РЭЭТ учитывает температуру воздуха, относительную влажность воздуха, скорость ветра и солнечную радиацию, поэтому является самым информативным индексом для теплого времени года. РЭЭТ рассчитывается по формуле [22, 23]:

$$РЭЭТ = 125 \lg [1 + 0,02t + 0,001(t - 8)(f - 60) - 0,45(33 - t)\sqrt{v} + 185Вп], \quad (3)$$

где T – температура воздуха, °C; f – относительная влажность воздуха, %; v – скорость ветра, м/с; Вп – поглощенная поверхностью солнечная радиация, кВт/м².

При отсутствии данных по солнечной радиации РЭЭТ может быть рассчитана на основе эквивалентно-эффективной температуры (ЭЭТ):

$$РЭЭТ = 0,83 ЭЭТ + 12 \text{ } ^\circ\text{C}. \quad (4)$$

Для оценки теплоощущения по РЭЭТ используются следующие критерии:

- выше 32°C – жаркий дискомфорт (ЖДК);
- 27-32°C – теплый субкомфорт (ТСК);
- 21-27°C – теплый комфорт (ТК);
- 17-21°C – холодный субкомфорт (ХСК);
- ниже 17°C – холодный дискомфорт (ХДК).

ЭЭТ находится по формуле [24]:

$$ЭЭТ = 37 - \frac{37-t}{0,68-0,0014f+\frac{1}{1,76+1,4v^{0,75}}} - 0,29t\left(1 - \frac{f}{100}\right), \quad (5)$$

где f – относительная влажность воздуха, %; t – температура воздуха, °C; v – скорость ветра, м/с.

ЭЭТ характеризует теплоощущение одетого человека в тени. Комфортными являются температура воздуха 22,0-23,0°C, относительная влажность 56% и штиль, что близко к 18°C ЭЭТ. Однако ЭЭТ хорошо подходит для диапазона тепла, удовлетворительно – для диапазона охлаждения, а для диапазона холода его можно рассматривать в качестве предположительного критерия, поэтому рекомендуется использовать РЭЭТ.

В холодный период года для оценки благоприятности климата лучше подходит индекс суровости зимы по Бодману (S).

Индекс суровости зимы по Бодману (S) рассчитывается по формуле [25, 26]:

$$S = (1 - 0,04t) (1 + 0,27v), \quad (6)$$

где S – индекс суровости (баллы); t – температура воздуха, °C; v – скорость ветра, м/с.

Для оценки суровости зимы применяются следующие критерии:

- S < 1 – мягкая (M);
- S = 1-2 – мало суровая (MC);
- S = 2-3 – умеренно суровая (UC);
- S = 3-4 – суровая (C);
- S = 4-5 – очень суровая (OC);
- S = 5-6 – жестко суровая (JC);
- S > 6 – крайне суровая (KC).

Рост и развитие растений, в том числе сельскохозяйственных культур, начинаются от даты устойчивого перехода суточной температуры воздуха выше уровня ее биологической минимальной температуры. Для ранних яровых сельскохозяйственных культур биологическая минимальная температура равна 5°C, для поздних яровых культур – 10°C, а для теплолюбивых культур – 15°C. Например, биологическая минимальная температура воздуха, необходимая для формирования вегетативных органов, равна для пшеницы 5°C, для проса – 10°C, для риса – 15°C [20, 27]. Соответственно для характеристики теплообеспеченности вегетационного периода были использованы: даты устойчивого перехода температуры воздуха через 5; 10 и 15°C; продолжительность периода со средней суточной температурой воздуха выше 5; 10 и 15°C; Сумма средних суточных температур воздуха выше 5; 10 и 15°C.

В летнее время очень высокая температура воздуха в дневные часы перегревает растение и подавляет жизненные процессы. Такую температуру обычно называют балластной. В среднем балластной температурой воздуха, т.е. когда высокая температура подавляет жизненные процессы растений, можно считать для сельскохозяйственных культур умеренного тепла (яровые зерновые культуры) – выше 32°C, для теплолюбивых культур (кукуруза, рис, хлопчатник) – выше 37 °C [27].

Для создания агроклиматических карт использовалось программное обеспечение ArcGIS 10.7.

Результаты исследования. Обеспеченность солнечной радиацией. В Северо-Казахстанской области на МС Петропавловск измеряется только продолжительность солнечного сияния. Поэтому для характеристики солнечного излучения на севере области были использованы климатические данные МС Омск (Россия), расположенной на одинаковой широте с МС Петропавловск [28]. Для характеристики солнечного излучения на юге области применялись данные МС Рудный (Костанайская область), расположенной на широте МС Рузаевка [29].

Годовая сумма суммарной солнечной радиации (ΣQ) по территории Северо-Казахстанской области колеблется от 5900 до 6100 МДж/м² при ясном небе и от 4100 до 4600 МДж/м² при средних условиях облачности. Месячные суммы суммарной радиации при ясном небе изменяются от 92–121 МДж/м² в декабре до 913 МДж/м² в июне (таблица 2). Разница суммарной радиации юге и на севере области уменьшается к лету и возрастает к зиме.

По месячным суммам прямой и рассеянной солнечной радиации на горизонтальную поверхность были рассчитаны месячные суммы фотосинтетически активной радиации (ФАР) при ясном небе ($\Sigma Q_{\text{Ф(я)}}$) и средних условиях облачности ($\Sigma Q_{\text{Ф(co)}}$). Средние многолетние месячные суммы ФАР при средней облачности в вегетационный период (с мая по август) составляют 248–321 МДж/(м²·мес) на севере области, 274–329 МДж/(м²·мес) на юге. Максимальное значение ФАР наблюдается в июне. ФАР при ясном небе в июне достигает на севере области 416 МДж/(м²·мес), на юге – 418 МДж/(м²·мес) (таблица 3).

Таблица 2 – Месячная и годовая сумма суммарной радиации при ясном небе ($\Sigma Q_{\text{я}}$) и при средних условиях облачности ($\Sigma Q_{\text{со}}$), МДж/м² [28, 29]

Table 2 – Monthly and annual total radiation under clear skies (ΣQ_{s}) and under average cloud conditions (ΣQ_{c}), MJ/m² [28, 29]

Показатели	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Год
Север области (МС Омск)													
$\Sigma Q_{\text{я}}$	124	230	466	646	856	912	885	725	496	321	172	92	5925
$\Sigma Q_{\text{со}}$	90	175	346	473	611	657	633	498	328	177	91	69	4148
Юг области (МС Рудный)													
$\Sigma Q_{\text{я}}$	150	256	476	663	852	913	885	734	532	357	185	121	6123
$\Sigma Q_{\text{со}}$	118	214	396	513	663	675	666	563	385	222	120	88	4623

Таблица 3 – Среднегодовое количество суммарной радиации (ФАР), МДж/(м²·мес) [19]

Table 3 – Average annual monthly amounts of FAR, MJ/(m²·month) [19]

Показатели	V	VI	VII	VIII	IX
Север области					
$\Sigma Q_{\text{Ф(я)}}$	392	416	406	331	228
$\Sigma Q_{\text{Ф(со)}}$	301	321	310	248	164
Юг области					
$\Sigma Q_{\text{Ф(я)}}$	392	418	407	338	245
$\Sigma Q_{\text{Ф(со)}}$	322	329	325	274	189

При оценке воздействия солнечной энергии на растения также учитываются длина светового дня и продолжительность солнечного сияния. Северо-Казахстанская область находится в пределах 52,2–55,4° северной широты. В вегетационный период (май–август) длина светового дня на севере Северо-Казахстанской области составляет 15–17 ч, а на юге – 14–16 ч (таблица 4). Соответственно территория области подходит для роста и развития растений длинного дня.

Таблица 4 – Длина светового дня, ч*

Table 4 – Length of daylight hours, h*

Широта	01.V	15.V	01.VI	15.VI	01.VII	15.VII	01.VIII	15.VIII
55°	15:12	16:06	16:57	17:20	17:17	16:51	15:57	15:02
52°	14:51	15:39	16:23	16:42	16:40	16:17	15:31	14:43
*Ист.: http://planetcalc.com/300/								

Для характеристики продолжительности солнечного сияния на севере Северо-Казахстанской области использованы данные МС Петропавловск, а на юге – МС Кокшетау (Акмолинская область), расположенной близко к границе области и соответствующей по широте МС Саумалколь. Среднегодовое количество продолжительности солнечного сияния по области возрастает с севера на юг от 2070 до 2290 ч в год, что соответствует в среднем 6,5–7,1 ч солнечного сияния в сутки. В вегетационный период (май–август) в среднем за месяц солнце сияет в течение 7,4–10,1 часов в сутки на севере, 8,5–10,6 ч в сутки на юге области. При этом в среднем за месяц 1–2 дня бывает без солнца (таблица 5).

Таким образом, в Северо-Казахстанской области ресурсы солнечной радиации являются достаточными для обеспечения оптимальных условий жизнедеятельности сельскохозяйственных культур. Благодаря продолжительной длительности светового дня и значительной продолжительности солнечного сияния регион особенно благоприятен для выращивания растений длинного дня.

Таблица 5 – Продолжительность солнечного сияния (по гелиографу), ч

Table 5 – Duration of sunshine (according to the heliograph), h

Показатели	V	VI	VII	VIII
Север области (МС Петропавловск)				
Суммарное солнечное сияние, час	279	294	283	220
Солнечное сияние за день, час	9,5	10,1	9,3	7,4
Число дней без солнца, сутки	2	0,8	0,8	1
Юг области (МС Кокшетау)				
Суммарное солнечное сияние, час	294	313	310	256
Солнечное сияние за день, час	9,9	10,6	10,3	8,5
Число дней без солнца, сутки	1	0,5	0,9	1

Анализ режима температуры воздуха. Для изучения температурного режима Северо-Казахстанской области был проведен анализ средних многолетних (2003-2024 гг.) месячных и годовых температур воздуха. Полученные данные представлены в таблице 6.

Таблица 6 – Средняя месячная и годовая температура воздуха (2003-2024 гг.), °C

Table 6 – Average monthly and annual air temperature (2003–2024), °C

МС/АМП	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Год
Налобино	-16,6	-15,2	-6,5	4,7	12,9	17,9	19,5	17,0	10,7	3,4	-5,2	-13,0	2,5
Мамлютка	-16,9	-14,9	-6,3	4,8	13,3	18,0	19,3	17,7	11,1	3,9	-5,8	-12,9	2,6
Петропавловск	-17,0	-15,1	-6,7	5,0	13,6	18,3	20,0	17,9	11,4	4,2	-5,2	-12,7	2,8
Булаево	-17,3	-14,6	-6,5	5,0	13,1	18,1	19,6	17,4	11,0	4,0	-5,4	-13,2	2,6
Пресновка	-17,1	-15,5	-7,5	4,9	13,0	18,3	19,6	17,7	10,9	3,3	-5,5	-13,0	2,4
Смирново	-17,3	-15,2	-6,8	4,9	13,3	17,9	19,4	17,7	11,0	3,7	-5,7	-13,1	2,5
Возвышенка	-17,7	-15,9	-7,5	4,9	13,1	18,2	19,7	17,7	11,2	3,6	-6,0	-13,3	2,4
Благовещенка	-17,1	-15,2	-7,0	4,8	13,3	18,1	19,7	18,2	11,7	4,1	-5,2	-12,7	2,7
Явленка	-16,8	-15,0	-6,4	5,0	13,7	18,4	19,7	18,0	11,6	4,2	-5,1	-12,2	3,0
Корнесевка	-16,9	-15,4	-7,0	4,9	13,1	18,5	19,7	17,7	10,8	3,3	-5,7	-12,8	2,5
Тайынша	-16,2	-14,5	-5,9	5,5	13,8	18,7	20,1	18,4	11,9	4,5	-5,1	-12,1	3,3
Сергеевка	-16,8	-15,1	-6,7	5,2	14,0	18,6	19,7	18,2	11,9	4,1	-5,3	-12,3	3,0
Тимирязево	-16,3	-15,1	-7,1	5,3	13,9	18,4	20,1	18,8	12,6	4,2	-5,2	-12,3	3,1
Талшык	-17,9	-16,5	-7,5	5,5	13,6	19,5	20,6	18,2	10,7	3,2	-5,3	-13,4	2,6
Кишкенеколь	-17,7	-15,9	-7,6	5,6	13,6	19,1	20,5	18,5	11,8	4,0	-5,8	-13,5	2,7
Чкалово	-15,3	-14,1	-5,5	5,7	13,9	18,9	20,1	18,4	11,9	4,5	-5,2	-10,5	3,6
Саумалколь	-15,6	-14,1	-6,2	5,1	13,3	17,7	19,0	17,5	11,2	3,6	-5,5	-12,3	2,8
Новоишимское	-16,5	-15,4	-7,0	5,3	13,8	18,5	19,7	18,3	11,6	3,6	-5,3	-12,2	2,8
Рузаевка	-16,2	-15,0	-6,9	5,5	14,1	18,7	20,0	18,5	11,9	4,1	-5,1	-12,6	3,1

Пространственное распределение средней годовой температуры воздуха в области носит зональный характер, увеличиваясь с севера на юг. Средняя годовая температура воздуха варьируется от 2,4 °C на МС Возвышенка до 3,6 °C на МС Чкалово. Месячные колебания температуры воздуха значительно выражены: максимальные среднемесячные значения наблюдаются в июле (19,0-20,6 °C), а минимальные – в январе (от -15,3 до -17,9 °C). Это свидетельствует о характерном для Северного Казахстана континентальном климате с теплым летом и холодной зимой.

Для выявления тенденции изменения температуры воздуха были сравнены средние многолетние месячные температуры воздуха за два последовательных климатических периода: 1971-2000 и 2003-2024 гг. Данные за 1971-2000 гг. были взяты из климатического справочника РГП «Казгидромет» МЭПР РК [30].

Таблица 7 – Средняя месячная и годовая температура воздуха по Северо-Казахстанской области за два климатических периода 2003-2024 и 1971-2000 гг., °С

Table 7 – Average monthly and annual air temperature in the North Kazakhstan region for two climatic periods: 2003–2024 and 1971–2000, °C

Период	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Год
2003-2024	-16,7	-15,0	-6,7	5,3	13,6	18,4	19,8	18,1	11,7	4,1	-5,3	-12,5	2,9
1971-2000	-16,3	-15,7	-9,0	4,2	12,5	18,6	20,0	16,9	10,9	3,0	-7,7	-13,1	2,0
Разница	-0,4	0,7	2,3	1,1	1,1	-0,2	-0,2	1,3	0,8	1,1	2,3	0,6	0,9

В таблице 7 приведены осредненные по 12 МС средние областные значения месячных и годовой температуры воздуха за разные климатические периоды. Современный климат (2003-2024 гг.) стал теплее, чем прошлый климат (1971-2000 гг.) в среднем за год на 0,9 °С. Однако холоднее стало в январе на 0,4 °С, а также в июне и июле на 0,2 °С. Остальные месяцы стали теплее, особенно весенние и осенние. Март и ноябрь стали теплее на 2,3 °С. Это показывает интенсивный характер потепления климата.

Континентальность климата. Годовая амплитуда температуры воздуха по территории Северо-Казахстанской области колеблется от 34 до 38°С, а индекс континентальности климата по Л. Горчинскому (k) составляет 53-60. Соответственно климат области является континентальным. В области наименьшая континентальность климата наблюдается в Айыртауском районе (k = 53), наибольшая – в Уалихановском районе (k = 60).

Климатические сезоны года. В основе средней многолетней декадной температуры воздуха по графическому методу были определены даты устойчивого перехода температуры воздуха через 0 и 15 °С. Далее на их основе определены климатические сезоны года. В Северо-Казахстанской области климатическая весна начинается 2–4 апреля и продолжается около 50 суток, лето наступает 18-25 мая и длится в течение 95 сут на севере, 109 сут на юге. Далее в конце августа-начале сентября начинается осень с продолжительностью 55-59 сут. Здесь зима начинается 25-29 октября и бывает очень продолжительной, длится 155-160 сут. Таким образом, в Северо-Казахстанской области продолжительность зимы составляет более 5 месяцев (ноябрь–март), а лето длится чуть больше 3 месяцев. Продолжительность весны составляет около 1 месяца и 10 дней, а осени – чуть меньше 2 месяцев.

Оценка благоприятности климата для рекреации. Благоприятность климата для человека оценивалась в теплый период года по радиационно-эквивалентно-эффективной температуре (РЭЭТ), а в холодный период года – по индексу суровости зимы по Бодману (S).

Расчеты показали, что в Северо-Казахстанской области климат в зимние месяцы (декабрь-февраль) характеризуется как «суровый» и «умеренно суровый», в марте и ноябре – как «умеренно суровый». В остальные весенние и осенние месяцы (апрель, май, сентябрь, октябрь) климат характеризуется в основном как «холодный дискомфорт». Климат в летние месяцы характеризуется как «теплый комфорт». Таким образом, климат Северо-Казахстанской области для рекреации оценивается как умеренно благоприятный, т.е. лето благоприятное, весна и осень умеренно благоприятные, зима умеренно неблагоприятная. Наилучшие условия климата для рекреации наблюдается в Айыртауском районе (таблица 8).

Анализ теплообеспеченности вегетационного периода. Рост и развитие растений, включая сельскохозяйственные культуры, начинается с даты устойчивого перехода среднесуточной температуры воздуха выше уровня её биологического минимума.

В таблице 9 приведены средние многолетние даты устойчивого перехода температуры воздуха через 5; 10 и 15 °С и продолжительности периода с такими температурами по административным районам области.

В Северо-Казахстанской области температура воздуха устойчиво переходит через 5°С весной 13–14 апреля, а обратно осенью – 10–13 октября, и продолжительность всего вегетационного периода составляет 180–183 сут.

Температура воздуха переходит через 10°С весной 29 апреля – 2 мая, а обратно осенью – 19–22 сентября. Соответственно продолжительность вегетационного периода для яровых культур составляет 140-146 сут.

Таблица 8 – Оценка благоприятности климата районов по S и РЭЭТ
Table 8 – Assessment of climate suitability of regions according to S and REET

Район	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
	S			РЭЭТ, °C								
Кызылжарский	С	С	УС	ХДК	ХДК	ТК	ТК	ТК	ХДК	ХДК	УС	УС
Мамлютский	С	С	УС	ХДК	ХДК	ТК	ТК	ТК	ХДК	ХДК	УС	УС
М. Жумабаева	С	С	УС	ХДК	ХДК	ТК	ТК	ТК	ХДК	ХДК	УС	С
Аккаинский	С	С	УС	ХДК	ХДК	ТК	ТК	ТК	ХДК	ХДК	УС	С
Жамбылский	С	С	УС	ХДК	ХДК	ТК	ТК	ТК	ХДК	ХДК	УС	С
Есильский	С	С	УС	ХДК	ХДК	ТК	ТК	ТК	ХДК	ХДК	УС	УС
Шал ақына	С	С	УС	ХДК	ХСК	ТК	ТК	ТК	ХДК	ХДК	УС	УС
Айыртауский	УС	УС	УС	ХДК	ХДК	ТК	ТК	ТК	ХДК	ХДК	УС	УС
Тайыншинский	С	С	УС	ХДК	ХДК	ТК	ТК	ТК	ХДК	ХДК	УС	С
Тимирязевский	С	С	УС	ХДК	ХДК	ТК	ТК	ТК	ХДК	ХДК	УС	С
Г. Мусрепова	С	С	УС	ХДК	ХДК	ТК	ТК	ТК	ХДК	ХДК	УС	С
Акжарский	С	С	УС	ХДК	ХДК	ТК	ТК	ТК	ХДК	ХДК	УС	С
Уалихановский	С	С	УС	ХДК	ХДК	ТК	ТК	ТК	ХДК	ХДК	УС	С

Таблица 9 – Даты устойчивого перехода температуры воздуха через 5°C (D₅), 10°C (D₁₀), 15°C (D₁₅) и продолжительность периода с температурой выше указанных пределов (N₅, N₁₀, N₁₅) по районам

Table 9 – Dates of sustained transition of air temperature through 5°C (D₅), 10°C (D₁₀), 15°C (D₁₅) and duration of the period with temperatures above the specified limits (N₅, N₁₀, N₁₅) by region

Район	D ₅		N ₅ , Сутки	D ₁₀		N ₁₀ , Сутки	D ₁₅		N ₁₅ , Сутки
	Весна	Осень		Весна	Осень		Весна	Осень	
Кызылжарский	14.04	10.10	180	02.05	19.09	140	25.05	29.08	96
Мамлютский	14.04	11.10	180	02.05	19.09	140	25.05	30.08	97
М. Жумабаева	14.04	11.10	180	01.05	19.09	141	24.05	29.08	97
Аккаинский	14.04	11.10	180	01.05	19.09	141	24.05	30.08	98
Жамбылский	14.04	11.10	181	01.05	19.09	142	23.05	31.08	100
Есильский	14.04	12.10	181	01.05	20.09	143	22.05	02.09	103
Шал ақына	13.04	13.10	183	30.04	22.09	145	19.05	03.09	107
Айыртауский	13.04	12.10	182	30.04	21.09	144	19.05	03.09	107
Тайыншинский	13.04	12.10	183	30.04	21.09	145	19.05	03.09	108
Тимирязевский	13.04	13.10	183	30.04	22.09	145	19.05	03.09	107
Г. Мусрепова	13.04	12.10	183	29.04	22.09	146	18.05	03.09	108
Акжарский	13.04	13.10	183	30.04	22.09	145	19.05	03.09	107
Уалихановский	13.04	13.10	183	29.04	22.09	146	18.05	04.09	108

Средняя суточная температура воздуха переходит через 15°C весной 18–25 мая, а обратно осенью – 29 августа – 4 сентября, и соответственно продолжительность вегетационного периода для теплолюбивых культур составляет на севере области 96 сут, а на юге – 109 сут.

В таблице 10 приведены средние многолетние значения суммы активных температур воздуха выше 5, 10 и 15 °C по административным районам области. По районам области сумма активных температур воздуха составляет: выше 5 °C – 2612-2774 °C; выше 10 °C – 2329-2511°C; выше 15 °C – 1738-2004 °C.

Таблица 10 – Сумма активных температур воздуха выше 5, 10 и 15 °С (ΣT) по районам

Table 10 – Sum of active air temperatures above 5, 10, and 15 °C (ΣT) by region

Район	ΣT > 5°C	ΣT > 10°C	ΣT > 15°C
Кызылжарский	2621	2334	1738
Мамлютский	2617	2329	1744
М. Жумабаева	2623	2339	1754
Аккаинский	2612	2341	1759
Жамбылский	2641	2369	1799
Есильский	2660	2383	1849
Шал акына	2734	2466	1933
Айыртауский	2622	2359	1862
Тайыншинский	2770	2483	1963
Тимирязевский	2770	2501	1960
Г. Мусрепова	2731	2477	1960
Акжарский	2726	2485	1980
Уалихановский	2774	2511	2004

В умеренном поясе продолжительность периода со средней суточной температурой воздуха выше 10 °С соответствует вегетационному периоду большинства сельскохозяйственных культур. Посев сельскохозяйственных культур проводится при достаточном прогреве почвы и достижении ее мягкопластичного состояния, когда среднесуточная температура воздуха уже переходит через 10 °С. Поэтому тепловые ресурсы вегетационного периода часто оцениваются датой перехода, продолжительностью периода и суммой активных температур воздуха выше 10 °С.

На рисунке 1 представлено пространственное распределение даты перехода температуры воздуха через 10°C весной по территории Северо-Казахстанской области. Переход температуры

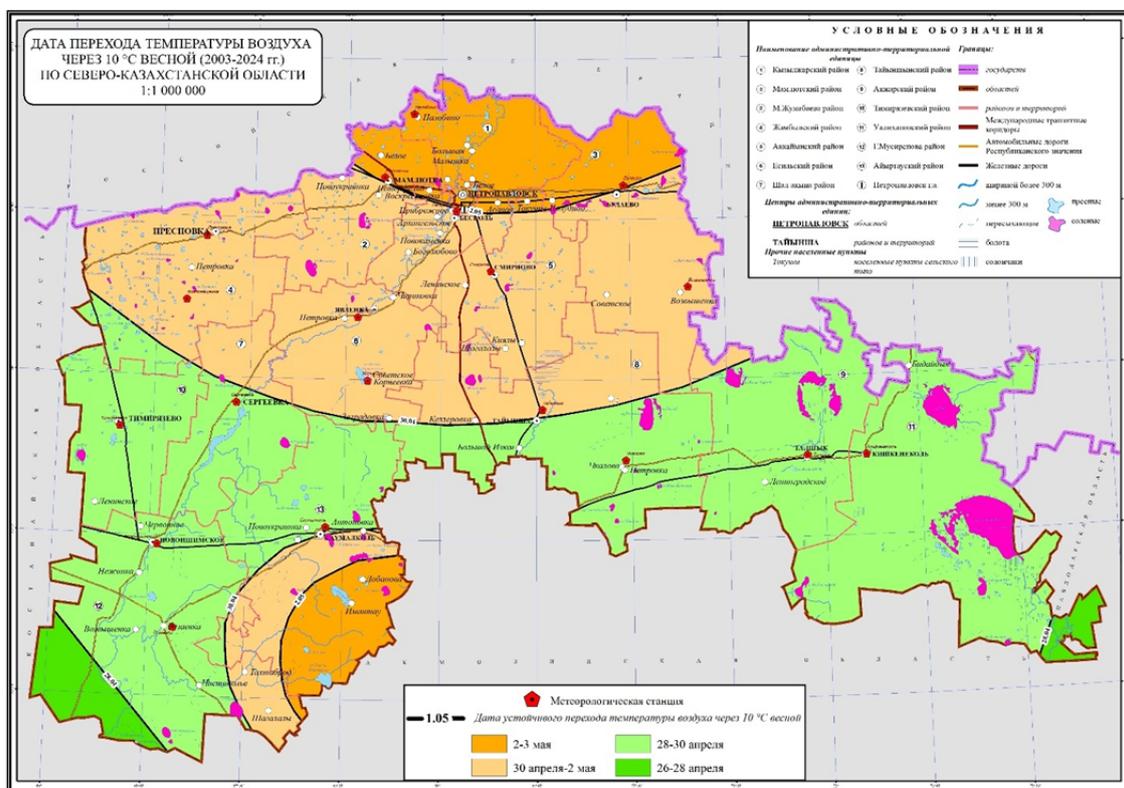


Рисунок 1 – Дата перехода температуры воздуха через 10°C весной

Figure 1 – Date of air temperature transition through 10°C in spring

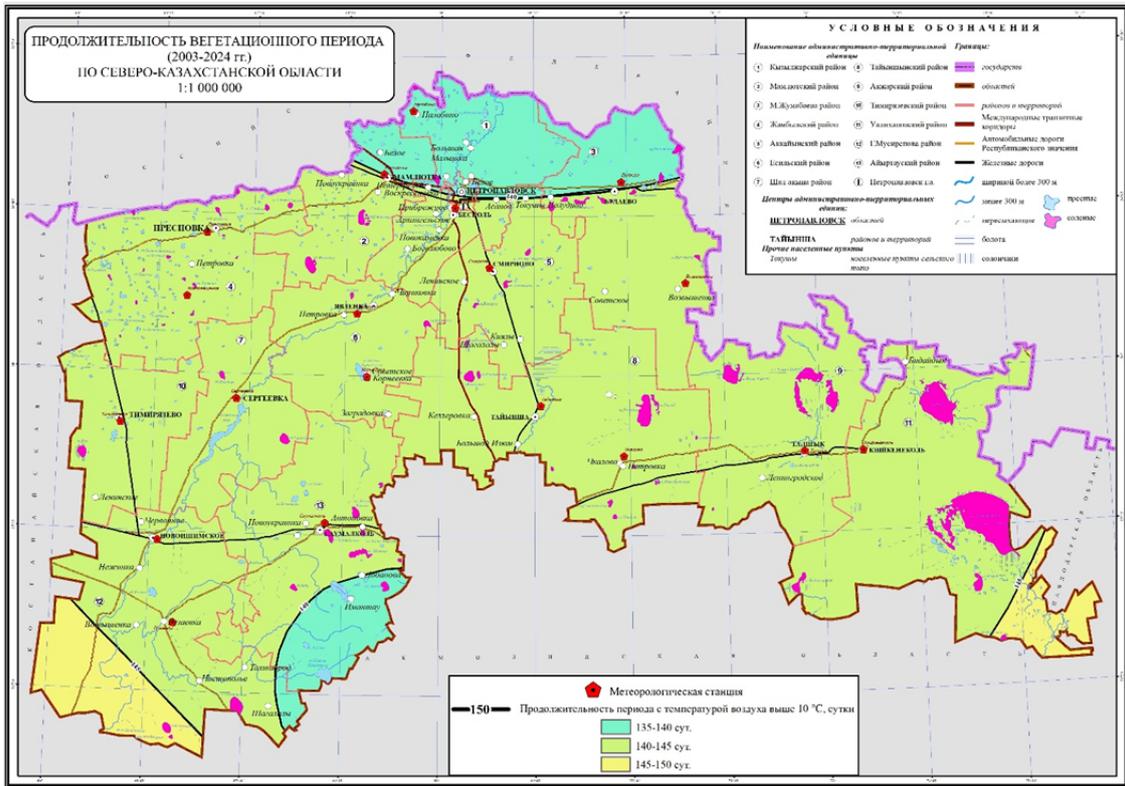


Рисунок 2 – Продолжительность периода с температурой воздуха выше 10 °С

Figure 2 – Duration of the period with air temperature above 10 °С

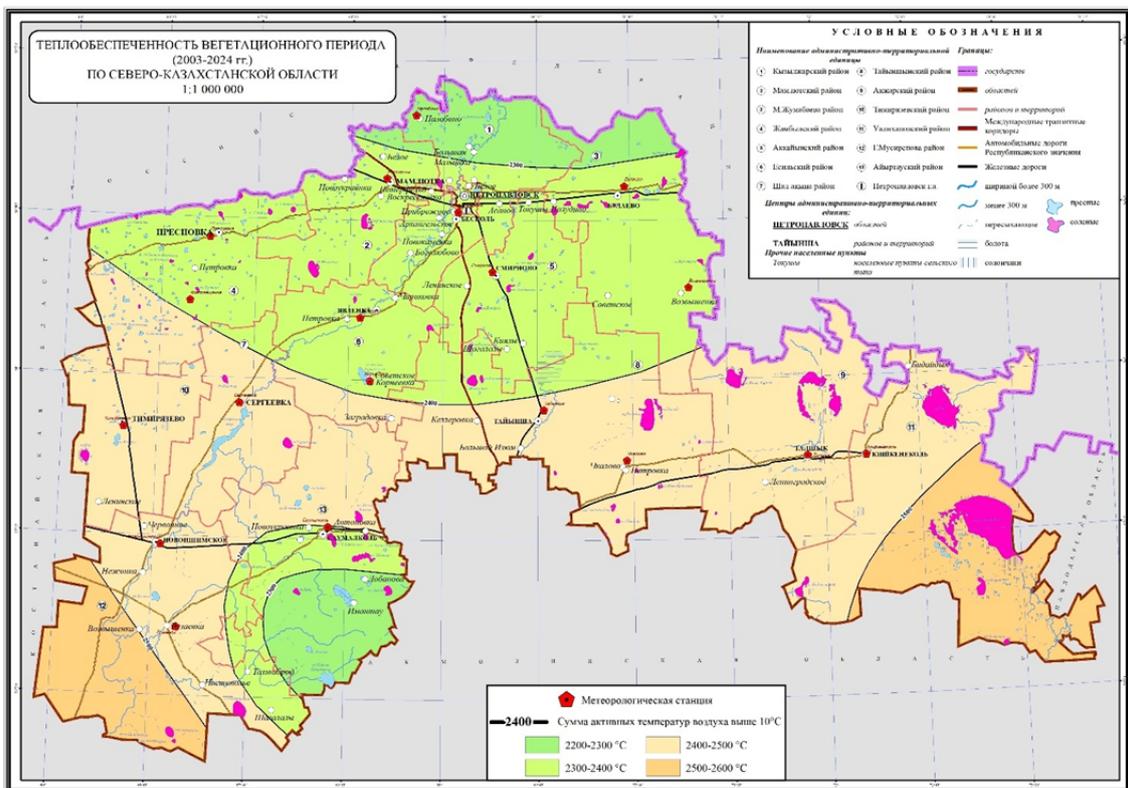


Рисунок 3 – Сумма активных температур воздуха выше 10 °С

Figure 3 – Sum of active air temperatures above 10 °С

воздуха через 10°C раньше наступает на юго-западе и на юго-востоке области – 28 апреля. В северной части области и в южной зоне, охватывающей Кокшетаускую возвышенность, отмечается запаздывание перехода на 3–4 дня.

На рисунке 2 представлено пространственное распределение продолжительности периода с температурой воздуха выше 10°C по территории Северо-Казахстанской области. Продолжительность периода с температурой воздуха выше 10°C увеличивается с севера в юго-западном и юго-восточном направлениях от 140 до 145 сут. Однако в районе Кокшетауской возвышенности, несмотря на более южное географическое положение, продолжительность вегетационного периода составляет менее 140 сут. Это обусловлено рельефными и орографическими особенностями, влияющими на температурный режим атмосферы.

Сумма активных температур воздуха выше 10°C также растет с севера на юго-запад и на юго-восток области от 2300 до 2500 °C. В районе Кокшетауской возвышенности накапливается меньше тепла с суммой температур менее 2300 °C (рисунок 3).

На рисунке 4 представлена многолетняя динамика суммы температуры воздуха выше 10°C с 1991 по 2024 год по районам Северо-Казахстанской области. Многолетняя динамика суммы температур воздуха за последние 34 года имеет тенденцию увеличения, что указывает на постепенный рост теплообеспеченности вегетационного периода.

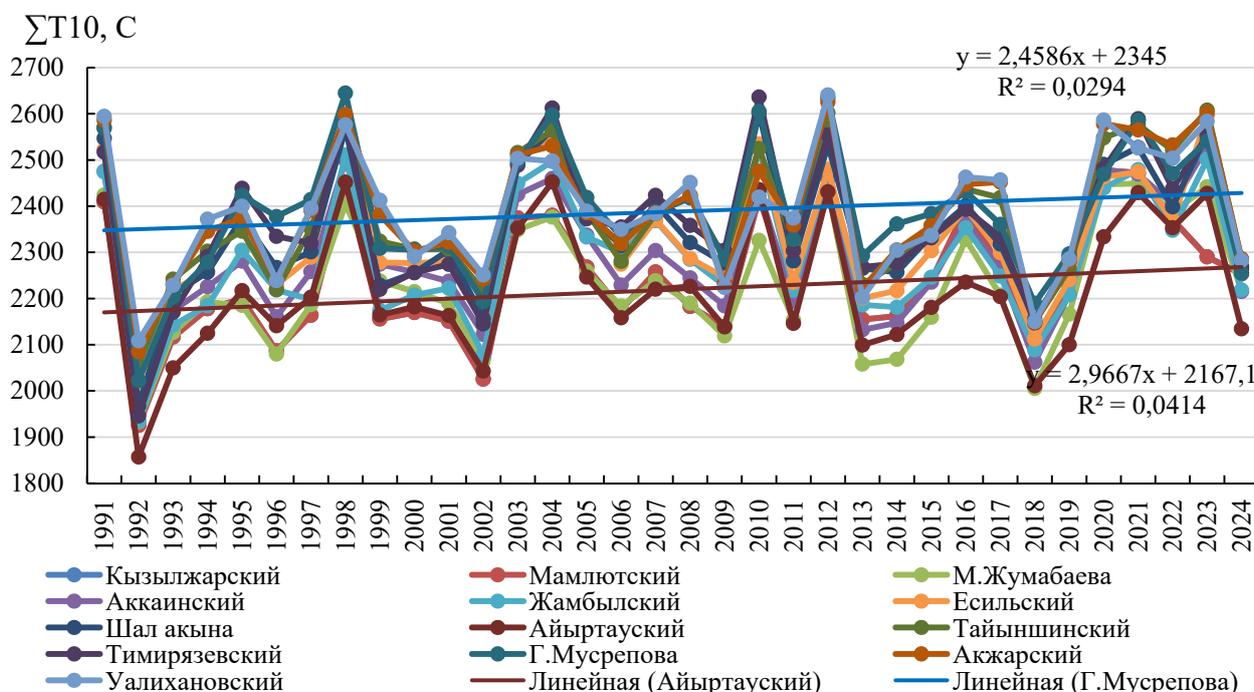


Рисунок 4 – Многолетняя динамика средней по районам Северо-Казахстанской области суммы активных температур воздуха выше 10 °C

Figure 4 – Long-term dynamics of the average sum of active air temperatures above 10 °C by district in the North Kazakhstan region

В Северо-Казахстанской области вегетационный период был жарким в 1991, 1998, 2004, 2010, 2012, 2020, 2021 и 2023 гг., прохладным – в 1992, 2002, 2009, 2011, 2013-2014, 2018, 2019 и 2024 гг.

В таблице 11 приведена обеспеченность сумм активных температур воздуха выше 10°C по районам Северо-Казахстанской области. Вегетационный период в северных районах области на 90% обеспечен теплом 2100°C, т.е. в 9 годах из 10 лет за вегетацию накапливается около 2100°C тепла, что удовлетворяет требования пшеницы, ячменя и овса, для раннеспелых и среднеспелых сортов подсолнечника, но недостаточно для кукурузы. В южных районах области на 90% обеспечено 2300°C тепла, что также достаточно для раннеспелых сортов кукурузы.

Тепловые ресурсы территории определяют возможность выращивания сельскохозяйственных культур. Для этого оценивается соответствие ресурсов тепла требованию сельскохозяйственной культуры. При этом 90% обеспеченность теплом является достаточной.

Таблица 11 – Обеспеченность суммы активных температур воздуха выше 10 °С по районам

Table 11 – Availability of active air temperatures above 10 °C by region

Район / Р, %	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
Кызылжарский	2559	2462	2425	2359	2320	2305	2261	2205	2163	2034
Мамлютский	2507	2474	2436	2369	2317	2296	2254	2230	2179	2125
М. Жумабаева	2520	2482	2426	2395	2309	2273	2256	2247	2172	2105
Аккаинский	2484	2456	2422	2380	2343	2323	2263	2247	2208	2102
Жамбылский	2547	2513	2456	2397	2339	2312	2269	2252	2227	2046
Есильский	2563	2497	2460	2424	2372	2321	2295	2260	2226	2108
Шал ақына	2647	2610	2556	2464	2418	2395	2381	2375	2344	2205
Айыртауский	2540	2511	2430	2340	2318	2311	2277	2250	2215	2128
Тайыншинский	2659	2624	2599	2527	2477	2447	2395	2370	2322	2245
Тимирязевский	2696	2604	2560	2505	2470	2437	2413	2392	2383	2305
Г. Мусрепова	2667	2591	2535	2483	2457	2432	2397	2358	2336	2212
Акжарский	2607	2574	2562	2503	2464	2448	2425	2369	2334	2271
Уалихановский	2676	2603	2585	2551	2526	2489	2452	2396	2335	2268

В таблице 12 приведена потребность 25 сельскохозяйственных культур в тепле (ΣT_b). Для умеренно теплолюбивых культур (А1–А9) дана биологическая сумма температуры воздуха выше 10°C, а для теплолюбивых культур (Б1–Б5) – выше 15°C.

Таблица 12 – Потребность сельскохозяйственных культур в тепле [16]

Table 12 – Heat requirements of agricultural crops [16]

Группа	ΣT_b , °C	Культура (р – раннеспелая, с – среднеспелая, сп – среднепоздние, п – позднеспелая)
А1	1200–1400	Гречиха–р, гречиха–с, ячмень–р, овёс–р, горох–р, картофель–р, огурцы–р, огурцы–с
А2	1400–1600	Гречиха–п, ячмень–с, ячмень–п, овёс–с, горох–с, горох–п, картофель–с, огурцы–п, пшеница–р, фасоль–р, чина–р, чечевица–р, чечевица–с, нут–р, нут–с, люпин–р, лён масличный–р, лён масличный–с, лен долгунец–р, лен долгунец–с, капуста–р, капуста–с, томаты–р
А3	1600–1800	Картофель–п, ячмень–п, овёс–п, пшеница–с, просо–р, просо–с, фасоль–с, чина–с, нут–п, люпин–с, капуста–п, томаты–с, томаты–п
А4	1800–2000	Пшеница–п, просо–п, фасоль–п, подсолнечник–р, рапс–р
А5	2000–2200	Люпин–п, подсолнечник–с, рапс–п, сахарная свекла–р.
А6	2200–2400	Подсолнечник–п, соя–р, сахарная свекла–с, кукуруза–р
А7	2400–2600	Соя–с, сахарная свекла–п, кукуруза–с, сорго–р
А8	2600–2800	Соя–сп, кукуруза–сп, сорго–с
А9	2800–3000	Соя–п, кукуруза–п, сорго–п
Б1	2500–2700	Рис–р
Б2	2700–2900	Рис–с
Б3	2900–3300	Рис–п, хлопчатник–р
Б4	3300–3600	Хлопчатник–с
Б5	3600–4000	Хлопчатник–п

Вегетационный период в 3 северных районах Северо-Казахстанской области на 90% обеспечен теплом в 2100°C, что удовлетворяет требования культур группы от А1 до А4. Сюда входят гречиха, ячмень, овес, пшеница, просо, горох, фасоль, чина, чечевица, нут, лён, картофель, огурцы, томаты, раннеспелые и среднеспелые сорта люпина, а также раннеспелые сорта подсолнечника и рапса. В остальных 10 районах области на 90% обеспечены теплом в 2200-2300°C требования культур группы от А1 до А5. Такое количество тепла достаточно для возделывания еще позднеспелых сортов люпина и рапса, среднеспелых сортов подсолнечника, а также раннеспелых сортов сахарной свеклы (таблица 13).

Таблица 13 – Районирование сельскохозяйственных культур по теплообеспеченности

Table 13 – Classification of agricultural crops according to heat supply

Район	Культуры, обеспеченные теплом	
	Группа	Виды
Кызылжарский	A1-A4	Гречиха, ячмень, овес, пшеница, просо, горох, фасоль, чина, чечевица, нут, лён, картофель, огурцы, томаты, раннеспелые и среднеспелые сорта люпина, раннеспелые сорта подсолнечника и рапса
Мамлютский		
М. Жумабаева		
Аккаинский	A1-A5	Гречиха, ячмень, овес, пшеница, просо, горох, фасоль, чина, чечевица, нут, лён, картофель, огурцы, томаты, люпин, рапс, раннеспелые и среднеспелые сорта подсолнечника, раннеспелые сорта сахарной свеклы
Жамбылский		
Есильский		
Шал акына		
Айыртауский		
Тайыншинский		
Тимирязевский		
Г.Мусрепова		
Акжарский		
Уалихановский		

В дополнение к теплообеспеченности необходимо учитывать опасность заморозков и устойчивость культур к заморозкам.

Анализ неблагоприятно жарких дней за летний сезон. В летнее время высокая температура воздуха в дневные часы может перегревать растения и подавлять их жизненные процессы. Такая температура называется балластной температурой. В среднем для сельскохозяйственных культур умеренного тепла (яровые зерновые культуры) балластной считается температура выше 32 °С, а для теплолюбивых культур (кукуруза, рис, хлопчатник) – выше 37 °С [27].

На рисунке 5 представлена многолетняя динамика количества жарких дней для яровых зерновых культур в среднем по Северо-Казахстанской области. Количество таких дней колеблется от 1 до 17 сут. Особо жаркими были 2010, 2012, 2020, 2021 и 2023 гг., когда КЖД за летний период в среднем по области составлял 13–17 дней. В южных районах области число жарких дней достигало 20–28 сут.

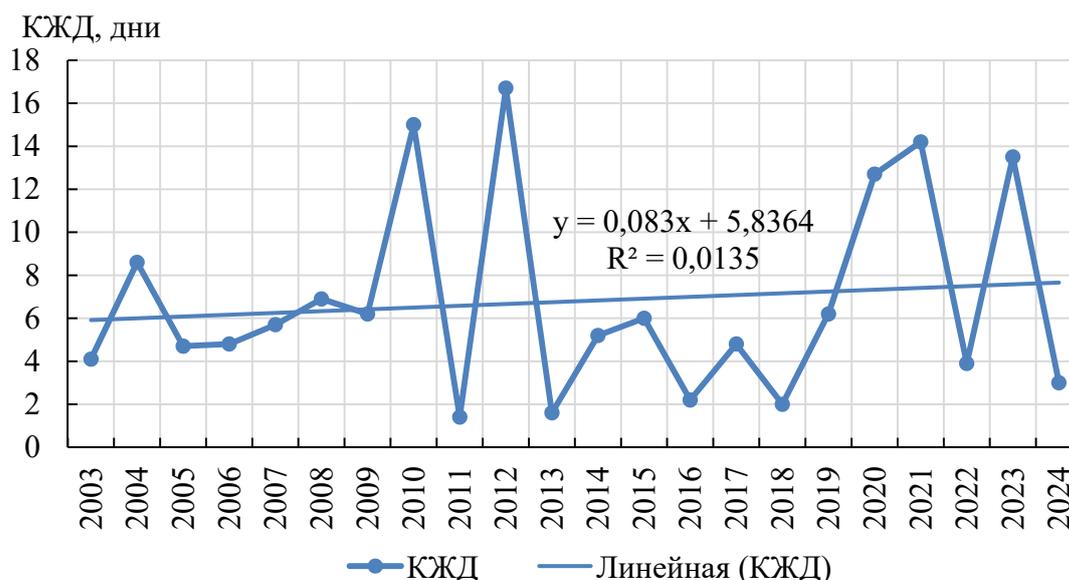


Рисунок 5 – Многолетняя динамика количества жарких дней для яровых зерновых культур в среднем по Северо-Казахстанской области

Figure 5 – Long-term dynamics of the number of hot days for spring grain crops on average in the North Kazakhstan region

Анализ заморозков в вегетационный период. Заморозки – кратковременное понижение температуры воздуха до 0 °С и ниже на фоне положительных средних суточных температур воздуха. Заморозки в вегетационный период представляют серьезную угрозу для сельскохозяйственных культур. Особенно опасны поздние весенние и ранние осенние заморозки.

На основе данных по суточной минимальной температуре воздуха были установлены весенние последние и осенние первые заморозки в воздухе за 2003-2024 гг. и определены их средние многолетние даты. В Северо-Казахстанской области весенние последние заморозки в воздухе в среднем завершаются 10-14 мая. В жаркие годы последние заморозки в воздухе наблюдаться 1-2 мая, а в прохладные годы – 24-31 мая. Осенние первые заморозки в воздухе в среднем начинаются 18-22 сентября, в прохладные годы – 6-11 сентября, а в жаркие годы – 27-30 сентября. Средняя продолжительность беззаморозкового периода в воздухе по территории области составляет 127-138 сут (таблица 14).

Таблица 14 – Среднемноголетние (2003-2024 гг.) даты последних весенних и первых осенних заморозков, продолжительность беззаморозкового периода в воздухе

Table 14 – Average annual (2003–2024) dates of the last spring and first autumn frosts, duration of the frost-free period in the air

МС	Весенняя дата			Осенняя дата			Продолжительность, сут
	Средняя	Ранняя	Поздняя	Средняя	Ранняя	Поздняя	
Петропавловск	10.05	01.05	24.05	22.09	11.09	30.09	135
Булаево	14.05	01.05	31.05	22.09	12.09	30.09	131
Возвышенка	12.05	01.05	31.05	20.09	06.09	30.09	131
Благовещенка	13.05	01.05	31.05	25.09	11.09	30.09	135
Явленка	11.05	02.05	24.05	26.09	11.09	30.09	138
Тайынша	12.05	01.05	26.05	22.09	12.09	29.09	133
Сергеевка	12.05	01.05	31.05	20.09	09.09	28.09	131
Тимирязево	15.05	02.05	26.05	21.09	11.09	28.09	129
Кишкенеколь	12.05	03.05	30.05	23.09	10.09	30.09	134
Чкалово	13.05	01.05	26.05	20.09	06.09	28.09	130
Саумалколь	12.05	01.05	26.05	21.09	11.09	27.09	132
Рузаевка	14.05	01.05	31.05	18.09	06.09	29.09	127

Обсуждение. Анализ климатических данных по Северо-Казахстанской области показал наличие устойчивых тенденций потепления и изменения режима увлажнения за последние десятилетия. Установлено, что среднегодовая температура воздуха демонстрирует положительный тренд, особенно выраженный в весенне-летний период. В ходе анализа выявлено, что современный климатический режим региона характеризуется не только повышением температуры, но и смещением сроков наступления агроклиматических фаз – начала и окончания вегетации.

В Северо-Казахстанской области ресурсы солнечной радиации достаточны для роста и развития сельскохозяйственных культур и лучше подходят для выращивания растений длинного дня.

Пространственное распределение средней годовой температуры воздуха в области носит зональный характер, увеличиваясь с севера на юг от 2,4 до 3,6 °С. Наблюдается рост температуры воздуха. Современный климат (2003-2024 гг.) стал теплее, чем прошлый климат (1971-2000 гг.) в среднем за год на 0,9 °С.

Климат области является континентальным. Наименьшая континентальность климата наблюдается в Айыртауском районе (k = 53), наибольшее – в Уалихановском районе (k = 60).

В области весна начинается 2–4 апреля, лето наступает 18-25 мая, в конце августа-начале сентября начинается осень, а зима – 25-29 октября. Продолжительность зимы составляет более 5 мес. (ноябрь–март), а лето длится чуть больше 3 месяцев. Продолжительность весны составляет около 1 мес. и 10 дней, а осени – чуть меньше 2 мес.

Климат Северо-Казахстанской области для рекреации оценивается как умеренно благоприятный, т.е. лето благоприятное, весна и осень – умеренно благоприятные, зима – умеренно неблагоприятная. Наилучшие условия климата для рекреации наблюдается в Айыртауском районе.

Закключение. В Северо-Казахстанской области температура воздуха устойчиво переходит через 5°C весной 13–14 апреля, через 10°C весной 29 апреля – 2 мая, через 15°C весной 18–25 мая. Сумма активных температур воздуха составляет: выше 5 °C – 2612-2774 °C; выше 10 °C – 2329-2511°C; выше 15 °C – 1738-2004 °C. Наблюдается постепенный рост теплообеспеченности вегетационного периода.

В трех северных районах области обеспечены теплом гречиха, ячмень, овес, пшеница, просо, горох, фасоль, чина, чечевица, нут, лён, картофель, огурцы, томаты, раннеспелые и среднеспелые сорта люпина, а также раннеспелые сорта подсолнечника и рапса. В остальных 10 районах области обеспечены теплом еще позднеспелые сорта люпина и рапса, среднеспелые сорта подсолнечника, а также раннеспелые сорта сахарной свеклы.

Заморозки и жаркие дни также являются значимыми климатическими факторами, влияющими на сельское хозяйство. Последние весенние заморозки обычно завершаются 10-14 мая, а первые осенние заморозки начинаются 18-22 сентября. Количество жарких для яровых культур дней по области в среднем составляет 4-11 дней, а в жаркие годы увеличивается до 10-28 дней.

Полученные результаты будут полезны при научном сопровождении земледелия, районировании сельскохозяйственных культур и определении стратегии диверсификации растениеводства. Они способствуют развитию климатически ориентированных сельскохозяйственных технологий, более полному учету климатических ресурсов территории в научных исследованиях и на практике. Позволяют обоснованно планировать и проводить агротехнические мероприятия в оптимальные сроки, разрабатывать стратегические планы развития растениеводства.

Финансирование. Настоящие исследования проведены в рамках реализации научно-технической программы ИРН BR24993222 «Построение системы поддержки принятия решений для природно-хозяйственного обустройства территории Северо-Казахстанской области в контексте устойчивого развития», финансируемой Комитетом науки Министерства науки и высшего образования Республики Казахстан в рамках программно-целевого финансирования.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Сводный доклад МГЭИК AR6. Синтезированный доклад. Изменение климата 2023 [Электрон. ресурс]. – URL: <https://www.ipcc.ch/report/sixth-assessment-report-cycle>
- [2] Шестой оценочный доклад МГЭИК: Изменение климата 2022 [Электрон. ресурс]. – URL: <https://www.ipcc.ch/report/sixth-assessment-report-working-group-ii>
- [3] Всемирная метеорологическая организация (ВМО). Показатели изменения климата достигли рекордных уровней в 2023 году [Электрон. ресурс]. – URL: <https://wmo.int/ru/media/news/vmo-pokazateli-izmeneniya-klimata-dostigli-rekordnykh-urovney-v-2023-godu>
- [4] Долгих С. А., Есеркепова И. Б., Шамен А. Оценка вклада ожидаемого потепления глобального климата в развитие процессов опустынивания в Казахстане // Гидрометеорология и экология. – 1997. – № 3. – С. 43-49.
- [5] Долгих С. А. О многолетних тенденциях термического режима на территории Республики Казахстан // Гидрометеорология и экология. – 1995. – № 3. – С. 68-77.
- [6] Долгих С. А., Илякова Р. М., Сабитаева А. У. Об изменении климата Казахстана в прошедший столетний период // Гидрометеорология и экология. – 2005. – № 4. – С. 6-27.
- [7] Чередниченко А. В. Климат Казахстана как отклик на глобальные изменения // Гидрометеорология и экология. – 2009. – № 4. – С. 7-22.
- [8] Жексенбаева А. К., Ашимақын А. М. Қазақстанның солтүстік өңіріндегі жылы мезгілдегі жауын-шашынның маусымдық статистикалық құрылымы // ҚазҰУ хабаршысы. География сериясы. – 2022. – № 2(65). – 55-62 бб.
- [9] Talipova E. K., Nyssanbayeva A. S., Shrestha S. Regional climate change in the Ile River Basin // Вестник КазНУ. Серия географическая. – 2019. – Т. 53, № 2. – С. 25-34.
- [10] Байшоланов С. С. Уязвимость и адаптация сельского хозяйства Республики Казахстан к изменению климата. – Астана: ПРООН, 2018. – 128 с. [Электрон. ресурс]. – URL: <https://kazneb.kz/kk/catalogue/view/1595141> (дата обращения: 07.11.2025).
- [11] Байшоланов С. С. Оценка уязвимости, воздействие изменения климата и меры по адаптации. Раздел 6.6. Сельское хозяйство // Восьмое национальное сообщение и пятый двухгодичный доклад Республики Казахстан Рамочной конвенции ООН об изменении климата. – Астана, 2022. – С. 242-259. [Электрон. ресурс]. – URL: https://unfccc.int/sites/default/files/resource/8NC_Kazakhstan_2022v1.0.pdf (дата обращения: 07.11.2025).
- [12] Байшоланов С. С., Павлова В. Н., Мусатаева Г. Б., Габбасова М. С., Жакиева А. Р., Муканов Е. Н., Акшалов К. А., Чернов Д. А. Агроклиматические ресурсы Северо-Казахстанской области: научно-прикладной справочник. – Астана, 2017. – 125 с. [Электрон. ресурс]. – URL: <http://kazneb.kz/site/catalogue/view?br=1596681> (дата обращения: 07.11.2025).
- [13] Грингоф И. Г., Клещенко А. Д. Основы сельскохозяйственной метеорологии. – Обнинск: ФГБУ «ВНИИГМИ-МЦД», 2011. – Т. 1. – 808 с.
- [14] Хромов С. П., Петросянц М. А. Метеорология и климатология. – М.: Изд-во МГУ, 2001. – 528 с.

- [15] Колокотрони К. О., Калмыкова И. Н. Оценка биоклиматических условий на территории Приволжского федерального округа с использованием ГИС-технологий. – М.: Изд-во Московского университета, 2003. – С. 5-26.
- [16] Русанов В. И. Комплексные метеорологические показатели и методы оценки климата для медицинских целей. – Томск: ТГУ, 1981. – 86 с.
- [17] Головина Е. Г., Русанов В.И. Некоторые вопросы биометеорологии: учеб. пособие. – СПб.: Изд. РГГМИ, 1993. – 90 с.
- [18] Бокша В. Г. Справочник по климатотерапии. – Киев: Здоровье, 1980. – С. 118-119.
- [19] Адаменко В. Н., Хайруллин К. Ш. Оценка условий пребывания человека на открытом воздухе зимой с учетом микроклимата застройки // Труды ГГО. – 1969. – Вып. 248. – С. 74-81.
- [20] Акшалов К. А., Байшоланов С. С., Баймуканова О. Н., Ауезханов Д. А., Кужинов М. Б. Анализ агрометеорологических условий вегетационного периода 2020 и 2021 годов в Северном Казахстане: особенности и меры адаптации к изменению климата // Вестник науки КазАТУ им. С. Сейфуллина. – 2022. – № 3(114), ч. 1. – С. 161-176.
- [21] Научно-прикладной справочник по климату СССР. Серия 3. Части 1-6. Вып. 17. Тюменская и Омская области. – СПб.: Гидрометеоздат, 1998. – 702 с.
- [22] Научно-прикладной справочник по климату СССР. Серия 3. Вып. 18. Казахская ССР. Книга 1. – Л.: Гидрометеоздат, 1989. – 514 с.
- [23] Справочник по климату Казахстана. Многолетние данные 1971–2000 гг. Температура воздуха. – Алматы: РГП «Казгидромет», 2004. – 38 с.
- [24] Knight J., Harrison S. The impacts of climate change on terrestrial Earth surface systems // Nature Climate Change. – 2013. – P. 1-6.
- [25] Cui J., Deng O., Zheng M., Zhang X., Bian Z., Pan N., Tian H., Xu J., Gu B. Warming exacerbates global inequality in forest carbon and nitrogen cycles // Nature Communications. – 2024. – Vol. 15. – Article 9185. DOI: <https://doi.org/10.1038/s41467-024-53518-5>.
- [26] Xiong J., Yang Y. Climate change and hydrological extremes // Current Climate Change Reports. – 2024. – Vol. 11. – Article 1. DOI: <https://doi.org/10.1007/s40641-024-00198-4>.
- [27] Cherednichenko A.V., Cherednichenko A., Cherednichenko V.S. Climate change in the city of Almaty during the past 120 years // Quaternary International. – 2015.
- [28] Salnikov V., Talanov Y., Polyakova S., Altynbekov K., Tleukeyeva S., Abdrakhmanov R., Shalakhmetova G. An assessment of the present trends in temperature and precipitation extremes in Kazakhstan // Climate. – 2023. – Vol. 11, No. 33. – P. 1-19.
- [29] Zheksenbayeva A. K., Nyssanbayeva A. S., Tursunbayeva M. O. Dynamics of multi-year climatic changes of precipitation during the vegetation period in the north of Kazakhstan // News of the National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan. Series of Geology and Technical Sciences. – 2019. – Vol. 6, No. 438. – P. 223-234.
- [30] Baisholanov S., Akshalov K., Mukanov Y., Zhumabek B., Karakulov E. Agro-climatic zoning of the territory of Northern Kazakhstan for zoning of agricultural crops under conditions of climate change // Climate. – 2025. – Vol. 13, No. 3. DOI: <https://doi.org/10.3390/cli13010003>

REFERENCES

- [1] IPCC. (2023). AR6 Synthesis Report: Climate Change 2023. Retrieved from <https://www.ipcc.ch/report/sixth-assessment-report-cycle/>
- [2] IPCC. (2022). Sixth Assessment Report, Working Group II: Climate Change 2022. Retrieved from <https://www.ipcc.ch/report/sixth-assessment-report-working-group-ii/>
- [3] World Meteorological Organization (WMO). (2023). Climate indicators reached record levels in 2023. Retrieved from <https://wmo.int/ru/media/news/vmo-pokazateli-izmeneniya-klimata-dostigli-rekordnykh-urovney-v-2023-godu>
- [4] Dolgikh, S. A., Yeserkepova, I. B., & Shamen, A. (1997). Assessment of the contribution of expected global warming to desertification processes in Kazakhstan. *Hydrometeorology and Ecology*, 3, 43-49.
- [5] Dolgikh, S. A. (1995). On long-term trends in the thermal regime in the territory of the Republic of Kazakhstan. *Hydrometeorology and Ecology*, 3, 68-77.
- [6] Dolgikh, S. A., Ilyakova, R. M., & Sabitayeva, A. U. (2005). On climate change in Kazakhstan during the last century. *Hydrometeorology and Ecology*, 4, 6-27.
- [7] Cherednichenko, A. V. (2009). The climate of Kazakhstan as a response to global changes. *Hydrometeorology and Ecology*, 4, 7-22.
- [8] Zheksenbayeva, A. K., & Ashimakyn, A. M. (2022). Seasonal statistical structure of warm-period precipitation in the northern region of Kazakhstan. *Bulletin of KazNU. Geography Series*, 2(65), 55-62.
- [9] Talipova, E. K., Nyssanbayeva, A. S., & Shrestha, S. (2019). Regional climate change in the Ile River Basin. *Bulletin of KazNU. Geographical Series*, 53(2), 25-34.
- [10] Baisholanov, S. S. (2018). Vulnerability and adaptation of agriculture in the Republic of Kazakhstan to climate change. Astana: UNDP. 128 p. Retrieved from <https://kazneb.kz/kk/catalogue/view/1595141>
- [11] Baisholanov, S. S. (2022). Assessment of vulnerability, climate change impacts and adaptation measures – 6.6 Agriculture. In Eighth National Communication and Fifth Biennial Report of the Republic of Kazakhstan to the UNFCCC (pp. 242-259). Astana. https://unfccc.int/sites/default/files/resource/8NC_Kazakhstan_2022v1.0.pdf
- [12] Baisholanov, S. S., Pavlova, V. N., Musatayeva, G. B., Gabbasova, M. S., Zhakiyeva, A. R., Mukanov, Y. N., Akshalov, K. A., & Chernov, D. A. (2017). Agroclimatic resources of the North Kazakhstan region: Scientific and applied reference book. Astana. 125 p. Retrieved from <http://kazneb.kz/site/catalogue/view?br=1596681>

- [13] Gringof, I. G., & Kleshchenko, A. D. (2011). *Fundamentals of Agricultural Meteorology*. Vol. 1. Obninsk: VNIIGMI-MCD. 808 p
- [14] Khromov, S. P., & Petrosyants, M. A. (2001). *Meteorology and Climatology*. Moscow: MSU Press. 528 p.
- [15] Kolokotroni, K. O., & Kalmykova, I. N. (2003). Assessment of bioclimatic conditions in the Volga Federal District using GIS technologies. *Moscow University Press*. pp. 5-26.
- [16] Rusanov, V. I. (1981). *Complex meteorological indicators and methods for climate assessment for medical purposes*. Tomsk: TSU Press. 86 p.
- [17] Golovina, E. G., & Rusanov, V.I. (1993). *Some issues of biometeorology: A textbook*. St. Petersburg: RSHMI Press. 90 p.
- [18] Boksha, V.G. (1980). *Handbook on Climatotherapy*. Kyiv: Zdorovya. 118 p.
- [19] Adamenko, V.N., & Khayrullin, K.Sh. (1969). Assessment of outdoor human comfort in winter considering the urban microclimate. *Proceedings of the Main Geophysical Observatory*, 248, 74–81.
- [20] Akshalov, K. A., Baisholanov, S. S., Baymukanova, O. N., Auezhanov, D. A., & Kuzhinov, M. B. (2022). Analysis of agrometeorological conditions of the growing seasons of 2020 and 2021 in Northern Kazakhstan: features and adaptation measures to climate change. *Bulletin of S. Seifullin Kazakh Agrotechnical University*, 3(114), Part 1, 161-176.
- [21] *Scientific and Applied Climate Reference Book of the USSR. Series 3, Parts 1–6, Issue 17. Tyumen and Omsk regions*. (1998). St. Petersburg: Hydrometeoizdat. 702 p.
- [22] *Scientific and Applied Climate Reference Book of the USSR. Series 3, Issue 18. Kazakh SSR. Book 1*. (1989). Leningrad: Hydrometeoizdat. 514 p.
- [23] *Climate Reference Book of Kazakhstan. Long-term data 1971–2000. Air Temperature*. RSE Kazhydromet. (2004). Almaty. 38 p.
- [24] Knight, J., & Harrison, S. (2013). The Impacts of Climate Change on Terrestrial Earth Surface Systems. *Nature Climate Change*, 3, 1-6.
- [25] Cui, J., Deng, O., Zheng, M., Zhang, X., Bian, Z., Pan, N., Tian, H., Xu, J., & Gu, B. (2024). Warming exacerbates global inequality in forest carbon and nitrogen cycles. *Nature Communications*, 15, Article 9185. <https://doi.org/10.1038/s41467-024-53518-5>
- [26] Xiong, J., & Yang, Y. (2024). Climate Change and Hydrological Extremes. *Current Climate Change Reports*, 11, Article 1. <https://doi.org/10.1007/s40641-024-00198-4>
- [27] Cherednichenko, A. V., Cherednichenko, A., & Cherednichenko, V. S. (2015). Climate change in the City of Almaty during the past 120 years. *Quaternary International Journal*.
- [28] Salnikov, V., Talanov, Y., & Polyakova, S. (2023). An assessment of present trends in temperature and precipitation extremes in Kazakhstan. *Climate*, 11(33), 1-19.
- [29] Zheksenbayeva, A.K., Nyssanbayeva, A.S., & Tursunbayeva, M.O. (2019). Dynamics of multi-year climatic changes of precipitation during the vegetation period in the north of Kazakhstan. *News of the NAS RK, Series of Geology and Technical Sciences*, 6(438), 223-234.
- [30] Baisholanov, S., Akshalov, K., Mukanov, Y., Zhumabek, B., & Karakulov, E. (2025). Agro-Climatic Zoning of the Territory of Northern Kazakhstan for Agricultural Crops under Climate Change. *Climate*, 13(3). <https://doi.org/10.3390/cli13010003>

**А. Н. Мунайтпасова^{*1}, С. С. Байшоланов², К. С. Салиева³,
Р. Арыстанова⁴, Н. Н. Карабкина⁵, А. А. Арыстанов⁶**

¹ *География ғылымдарының кандидаты, аға оқытушысы
(Әл-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университеті,
Алматы, Қазақстан; aidamunaitpasova@mail.ru)

² География ғылымдарының кандидаты, доцент
(«Астана» халықаралық университеті, Астана, Қазақстан; saken_baisholan@mail.ru)

³ Агrometeorологиялық болжау департаментінің басшысы
(Қазгидромет РМК, Астана, Қазақстан; kamar.salieva@gmail.com)

⁴ PhD докторанты (Әл-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университеті,
Алматы, Қазақстан; arystanovaranida@gmail.com)

⁵ Жетекші ғылыми қызметкер (Қазақ ұлттық аграрлық зерттеу университетінің
ғылыми-білім беру технологиялық платформасы, Алматы, Қазақстан; nkarabkina@mail.ru)

⁶ «Жас Ғалым» бағдарламасы бойынша докторант (Әл-Фараби атындағы ҚазҰУ,
география және табиғатты пайдалану факультеті; Алматы, Қазақстан; asetarystanov87@gmail.com)

СОЛТҮСТІК ҚАЗАҚСТАН ОБЛЫСЫНДАҒЫ ТЕМПЕРАТУРАЛЫҚ РЕЖИМ ЖӘНЕ ЖЫЛУ РЕСУРСТАРЫ

Аннотация. Мақалада көпжылдық метеорологиялық мәліметтер негізінде Солтүстік Қазақстан облысындағы температуралық режимнің ерекшеліктері мен жылу ресурстары қарастырылды. Солтүстік Қазақстан облысының аумағында күн радиациясына, температуралық режимге, климаттың континенталдылығына, жыл

мезгілдерінің басталу күні мен ұзақтығына, рекреация үшін климаттың қолайлылығына, вегетациялық кезеңнің жылумен қамтамасыз етілуіне, аязға және қолайсыз ыстық күндерге кеңістіктік-уақыттық талдау жүргізілді. Жылу ресурстары негізінде жылумен қамтамасыз етілген ауыл шаруашылығы дақылдары анықталды. Алынған нәтижелер климаттық тәуекелдерді бағалау, ауыл шаруашылығы қызметін жоспарлау және Солтүстік Қазақстан облысының өзгермелі климаты жағдайында бейімделу шараларын әзірлеу үшін практикалық маңызды болып табылады.

Түйін сөздер: ауа температурасы, жылумен қамтамасыз ету, вегетациялық кезең, аяз.

**A. N. Munaitpasova^{*1}, S. S. Baisholanov², K. S. Saliyeva³,
R. Arystanova¹, N. N. Karabkina⁴, A. A. Arystanov¹**

1 *PhD in Geographical Sciences, Senior Lecturer

(Al-Farabi Kazakh National University, Almaty, Kazakhstan; aidamunaitpasova@mail.ru)

2 PhD in Geographical Sciences, Associate Professor

(«Astana» International University, Astana, Kazakhstan; saken_baisholan@mail.ru)

3 Head of Agrometeorological Forecasting Department

(Kazhydromet RSE, Astana, Kazakhstan; kamar.saliyeva@gmail.com)

4 PhD student (Al-Farabi Kazakh National University,

Almaty, Kazakhstan; arystanovaranida@gmail.com)

5 Leading Researcher (Scientific and Educational Technological Platform

of the Kazakh National Agrarian Research University, Almaty, Kazakhstan; nkarabkina@mail.ru)

6 postdoctoral fellow in the program “Zhas Galym” (Al-Farabi Kazakh National University, Faculty of Geography and Nature Management, Almaty, Kazakhstan; asetarystanov87@gmail.com)

TEMPERATURE REGIME AND HEAT RESOURCES IN NORTH-KAZAKHSTAN REGION

Abstract. In the article features of temperature regime and heat resources in the North-Kazakhstan region are considered on the basis of long-term meteorological data. Spatial and temporal analysis of solar radiation, temperature regime, climate continentality, date of onset and duration of seasons of the year, climate favorability for recreation, heat availability of vegetation period, frosts and unfavorably hot days on the territory of North-Kazakhstan region has been carried out. On basis of heat resources the agricultural crops provided with heat are determined. The obtained results are of practical value for assessment of climatic risks, planning of agricultural activity and development of adaptation measures in conditions of changing climate of North-Kazakhstan region.

Keywords: air temperature, heat supply, growing season, frosts.

Рекреационная география и туризм

Рекреациялық география және туризм

Recreational geography and tourism

<https://doi.org/10.55764/2957-9856/2025-4-149-164.52>

UDC 338.48:528.8

IRSTI 34.31.35

A. Sh. Shaken¹, K. T. Kyrgyzbay*², A. N. Abubakir³

¹ PhD, Acting Associate Professor

(Al Farabi Kazakh National University, Almaty, Kazakhstan; shakenaiman1982@gmail.com)

²* PhD, Senior lecturer

(Al Farabi Kazakh National University, Almaty, Kazakhstan; kyrgyzbay.kudaibergen@gmail.com)

³ Master's student (Al Farabi Kazakh National University, Almaty, Kazakhstan; aruzhana379@gmail.com)

COMPLEX MONITORING OF THE ENVIRONMENTAL CONSEQUENCES OF ANTHROPOGENIC PRESSURE AT BURABAY NATIONAL PARK USING REMOTE SENSING DATA

Abstract. Overtourism has become a pressing issue in many protected natural areas, causing significant environmental degradation. This study focuses on the environmental consequences of overtourism in Burabay National Park by utilizing remote sensing data from 2020 to 2024. The research employs a multi-criteria approach using NDVI, NDWI, LST, NDBI, and BSI indices to assess changes in vegetation, water resources, land surface temperature, urbanization, and soil degradation. Satellite images were selected based on minimal cloud cover and peak tourist flow periods to ensure accurate monitoring of ecological conditions. The findings indicate substantial fluctuations in vegetation cover, with a temporary decline in NDVI values in 2021-2022, followed by a notable recovery in 2023-2024. NDWI analysis reveals a decline in water bodies until 2023, with signs of partial recovery in 2024. LST variations confirm the impact of land degradation, showing increased surface temperatures in 2021-2023, which later decreased as vegetation cover improved. The expansion of urbanized areas, reflected in NDBI growth, highlights the increasing anthropogenic impact. BSI trends indicate intensified soil degradation, particularly in 2024. Overlay analysis categorized the national park into three degradation levels, emphasizing areas requiring urgent conservation measures. These results provide valuable insights into sustainable management and mitigation strategies to balance tourism and environmental preservation in Burabay National Park.

Keywords: remote sensing, Landsat 8, ecological degradation, overtourism, monitoring, GIS.

Introduction. Tourism is one of the fastest-growing industries in the world. As the number of tourists increases, their negative impact on the environment is becoming more evident. Some destinations are exceeding their carrying capacity to accommodate visitors, effectively struggling with the phenomenon of overtourism. Overtourism places significant pressure on ecosystems, making it essential to develop new monitoring-based approaches to mitigate its consequences.

Overtourism became one of the main issue that have an impact on tourist destinations worldwide. This termin used to describe overindulgent number of visitors outreach reception capacityof the region causing negative consequences on habitat, local communities and incomparability of tourism experience.

Protected areas around the world work for crucial social purpose by providing area for recreational intentions. Especiallly, reachable places or top landmarks within specific Pas involve tourists causing overtourism. In the last decade large number of tourists in nature destinations caused the serious problem and needed to implement carrying capacity indicators accepted as the maximum number of people who can stay without harming environment. The problem of an increasing number of visitors in the

environmentally valuable areas emerged in the last century and at that time, mainly out of concern for the state of the natural environment, carrying capacity [1].

In national parks especially the ones that have a huge number of visitors and in their nearby areas studies should be managed on the many-sided influences of tourism. This monitoring should contain effects on the environment and landscapes (to notify about resolution of the ecological carrying capacity) and the effect on people (to help specify the psychological and socio-cultural carrying capacity for tourism). It is vital to highlight that mass and immoderate tourism have not only negative impact on environment and landscape, but also on local communities. Moreover, the impacts of tourism come up with problem of littering, mostly with plastic waste and other non-biodegradable materials, the quantity of which has been growing in the last years [2].

It has long been known that the on-the-ground monitoring of PA ecosystems is high-priced, essentially due to the size and logistical limitations of national parks, appointed wilderness, wildlife refuges and other large PAs. Remote sensing monitoring can give information for the systematic, translucent, noteworthy and maintainable decision making in ecological systems.

Remotely sensed data are confirmed as priceless sources of information for natural resource managers. Rapid diversification in the application of remotely sensed data are promoting the collection of multi-decadal historical records, execution of new sensors, and developments in analytical techniques. To study landscape-scale changes in natural resources time series of photos are useful while data from high-resolution sensors can be used to distinguish and measure small changes in topography, map plant species or even individual plants, or quantify flows of nutrients and energy that alter plant growth and affect fire risk [3].

The primary task of the national park is to preserve and enhance the diversity of living organisms and natural landscapes, as well as to create conditions for scientific research and environmental education. Additionally, the park actively develops tourism infrastructure.

The concept of overtourism has attracted increasing academic attention due to its complex social and environmental consequences. According to UNWTO (2018), overtourism can be defined as “the impact of tourism on a destination, or parts thereof, that excessively influences the perceived quality of life of citizens and/or the quality of visitors’ experiences in a negative way.” This definition corresponds with Goodwin’s (2019) interpretation that overtourism occurs when “hosts or guests, locals or visitors, feel that there are too many visitors and that the quality of life in the area or the quality of the experience has deteriorated unacceptably” [4].

A significant body of research highlights the adverse social outcomes of overtourism for local residents. Increasing tourist flows lead to rising housing costs, crowding, commercialization of everyday life, and the displacement of local populations from central urban areas. Such changes often result in social tensions, the erosion of cultural identity, and loss of community cohesion. In destinations such as Venice, Barcelona, and Dubrovnik, residents have expressed discontent through protests and public movements against “tourism-phobia,” emphasizing the imbalance between the needs of locals and those of tourists [5]. Instances of overtourism have also been documented in several protected areas, including Saxon Switzerland National Park in Germany, Low Tatras National Park in Slovakia, the fjord regions of Norway, Iceland, Plitvice Lakes National Park in Croatia, and Stołowe Mountains National Park. Overtourism negatively affects not only residents but also visitors themselves. Excessive crowding in popular destinations and protected areas contributes to feelings of overpopulation, stress, and reduced satisfaction with travel experiences. Empirical studies demonstrate that visitor enjoyment declines when congestion reduces access to attractions and limits opportunities for meaningful engagement with nature and culture. Gretzel (2021) and Clark & Nyaupane (2020) also report that social dissatisfaction has become a defining feature of overtourism in numerous destinations worldwide [6]. The concept of overtourism reflects a threshold beyond which the disadvantages of tourism expansion outweigh its economic and cultural benefits. Overtourism leads to overpopulated areas, visitor misbehavior, local migration, and ecosystem overburdening. Protected areas serve not only as tourist attractions but also as spaces for local recreation, contributing to residents’ quality of life and mental well-being. While technological tools, including remote sensing, provide valuable data for monitoring environmental change, the human dimension remains central to overtourism management. Effective strategies require collaboration between local authorities, researchers, and communities to ensure that monitoring results inform socially sustainable tourism policies [7]. A people-centered approach focusing on equity,

community empowerment, and cultural preservation is essential to mitigate the social impacts of overtourism.

The object of research. The Burabay State Scientific and Industrial Enterprise performs the functions of an environmental and scientific institution, and is also included in the list of specially protected natural territories created to preserve biological and landscape diversity. The purpose of the park is the rational use of unique natural complexes and objects of the state nature reserve fund, which have special ecological, scientific, historical, cultural and recreational value. The main objective of the national park is to preserve and increase the diversity of living organisms and natural landscapes, as well as to create conditions for scientific research and environmental education. In addition, the park is actively developing the tourist infrastructure [8].

The biosphere Reserve is organized on the basis of the Burabay State National Nature Park. In accordance with the Decree of the President of the Republic of Kazakhstan dated February 27, 1997 No. 3369 «On additional measures to strengthen the protection of the Borovskoye mountain forest area», Decree of the Government of the Republic of Kazakhstan dated May 06, 1997. No. 787 Borovskoye Forestry of the Economic Department of the President and the Government of the Republic of Kazakhstan was transformed into the State Institution «Natural recreation Forest Complex «Burabay» of the Economic Department of the President and the Government of the Republic of Kazakhstan, on the basis of which, on the basis of the Decree of the President of the Republic of Kazakhstan dated July 16, 1999 No. 98, the State National Nature Park «Burabay» was established.

The total number of flora species for the territory of the Burabay, according to preliminary data, reaches 840 species of higher plants, while the largest number of species is concentrated in forests. Of these, 91 plant species are rare or relict, in need of special protection, including 11 species found here listed in the Red Book of Plants of Kazakhstan (2014). 37 species of mosses, 11 species of lichens and 17 species of ferns were identified in the flora of lower plants. Lichens are represented by 11 species and are divided into the following groups according to their proximity to the substrate: epigeal, epiphytic, and epilithic. Three species of the genus *Cladonia* are dominant – *C.sylvatica*, *C.alpestris* and *C.rangiferina*. Mosses are found in moist and moist habitats, the dominant species are *Pleurozium schreberi*, *Dicranum scoparium*, *Hylocomium palustre*, *Climacium dendroides*, etc. The flora contains 81 relict species - representatives of the boreal flora of the northern taiga, which are located here on the southern border of their range.

The fauna of vertebrates includes 277 species belonging to 25 orders, including 15 species and subspecies of fish, 1 species of amphibians, 5 species of reptiles, 209 species of birds and 47 species of mammals (about 36% of the total vertebrate fauna of Kazakhstan). Of these, 1 species of mammals and 18 species of birds are listed in the Red Book of Kazakhstan, 2 species of fish, 12 species of birds, 8 species of mammals are included in the IUCN Red List.

The territory of the Burabay National park is administratively located within the Burabay and the Birzhan Sal districts of the Akmola region (figure 1). Both districts are grain-growing regions with great potential for agricultural development. There are 244 agricultural enterprises operating in Burabay district, including 43 LLP companies, 201 peasant farms, as well as 12 large and 60 medium-sized and small industrial enterprises, employing 2,152 people. About 320 agricultural enterprises operate in Birzhan Sal district, the mining industry accounts for 65.2%, the manufacturing industry for 32.1% and other sources for 2.7%.

The Burabay Reserve consists of 10 cluster sites, the reserve also includes forest stakes interspersed with lands of other categories within the transboundary zone. The entire territory of the reserve is divided into 10 forestry districts: Akylbayskoye (10233 ha), Borovskoye (151217 ha), Barmashinskoye (9236 ha), Zolotoborskoye (11651 ha), Mirnoye (18394 ha), Priezernoye (9372 ha), Katarkolskoye (10515 ha), Bulandinskoye (12129 ha), Zhalayyrskoye (17387 ha), Temnoborskoye (15165 ha). The forestry departments combine forestry workshops and sites, which include 5 forest detours. In turn, the forest bypass is the lowest link in the planning structure of the park, its area, in accordance with established standards, averages 1.230 hectares.

There is very good access to the Burabay biosphere Reserve. A section of the Astana-Petropavlovsk expressway and the Almaty-Yekaterinburg railway runs from the southeast to the northwest through the territory of the reserve. The territory is crossed in different directions by asphalt roads connecting the cities. Makinsk, Stepnyak, Shchuchinsk, Stepnogorsk and smaller settlements located in the Birzhan Sal,

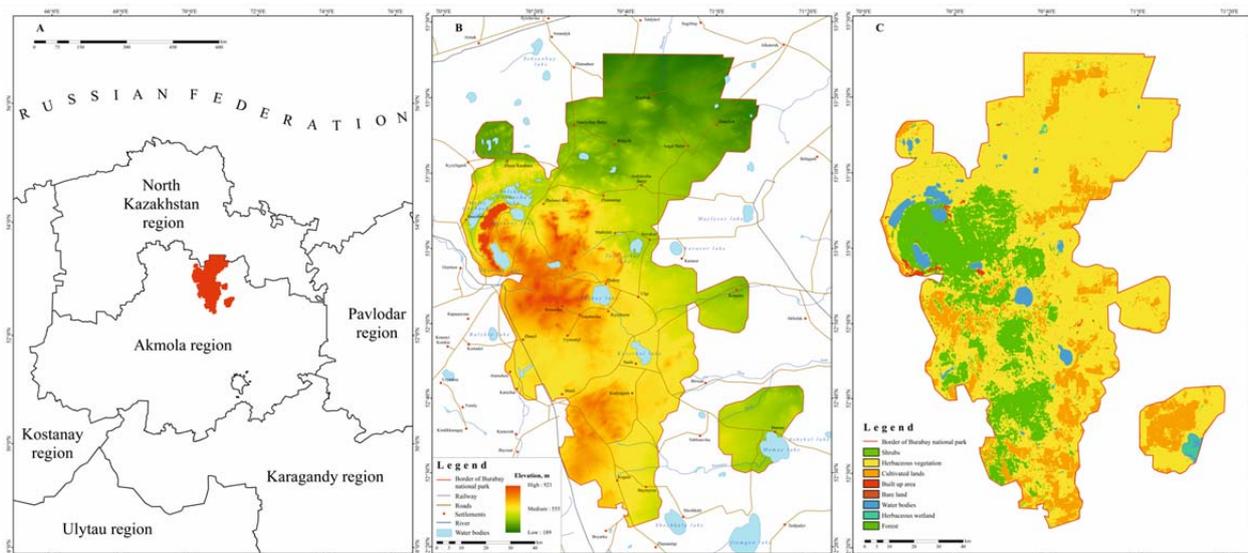


Figure 1 – Study area. (A) Location of Burabay National Park. (B) Distribution of study area at the elevation scale. (C) Map of land use types

Burabaysky and neighboring districts. The road connection is open all year round, except for short periods during winter, when there are snowstorms and especially severe frosts, the Borovoe Resort Railway station is located 25 km from the village. Burabay (central estate of the BR «Burabay»), Makinsk station, 5 km from the estate of the Bulandinsky forestry. In addition, the regional center of Akimola region, the city of Kokshetau, has an airport capable of receiving international flights.

BR «Burabay» is part of the Shortandy-Burabay resort area. The region occupies an extremely convenient geographical location due to the proximity of densely populated industrial regions (including Russia) and the presence of trans-state air, rail and highways. Shchuchinsko-Borovskaya resort area is an ideal place for holding large prestigious and commercial events: congresses, forums, fairs, auctions, which allows for more active attraction of investment funds to development. Currently, from 5 to 10 tourist infrastructure facilities are being commissioned annually in the kurotny zone. Among them are the five-star Rixos hotel, the Kazakhstanskaya Lapland entertainment complex, the Park House Hotel, which has a multifunctional conference hall and rooms that meet high standards, the Terassa Park Pantotherapy Center, etc. To accommodate and serve tourists, there are hotels, hotels, tourist bases of various levels, more than 600 shops, catering establishments and organizations providing household services. A Republican ski base has been built with a ski jumping complex and a biathlon ground, which will become a center for high-level international competitions with the attraction of numerous tourists as spectators. The construction of a modern golf club has been completed. Currently, there are 29 tourist routes in the Burabai Biosphere Reserve: 15 of them are trails, 14 routes. Some of them are on foot (18), some are by bus (8), there are 1 equestrian, 1 bicycle and 1 water routes. The total length of all tourist routes is 503.5 km, while the total length of hiking routes is 246.5 km, bus routes – 226 km, cycling routes – 7 km, equestrian routes – 9 km, and water routes – 15 km.

The number of visitors to the national park is increasing every year. Thus, 526,620 people were registered in 2013, 615,644 in 2014, 631,615 in 2015, 644,541 in 2016, and 673,507 in 2017 [8].

Materials and methods. In this research, we employed a diverse array of metrics, encompassing the Normalized Difference Vegetation Index (NDVI), the Normalized Difference Water Index (NDWI), the Land Surface Temperature (LST), the Normalized Built-Up Difference Index (NDBI) and the Bare Soil Index (BSI) to conduct an in-depth environmental analysis of Burabay National Park [9].

Vegetation indices are a valuable tool for assessing the spatial distribution of vegetation coverage and soil characteristics by analyzing the unique patterns of light reflected by green plant life [10].

The Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) is a quantitative measure used to determine the density of vegetation within a specific area. It can be employed to assess the vitality of plant life and track changes in its growth and uses near-infrared (NIR) and red (R) spectral bands. These two spectral bands are combined to form a single channel that contains normalized vegetation information. Digital numbers

(DN) obtained from each of these channels are then used to calculate NDVI, where each pixel contributes its corresponding DN value to the calculation.

NDVI is calculated using the Landsat Thermal Infrared (TM) sensor, which measures the amount of light that is absorbed by the earth's surface and atmosphere. The NDVI formula is:

$$NDVI = (NIR - Red)/(NIR + Red), \quad (1)$$

where NIR – reflection in the near-infrared range; Red – reflection in the red spectrum [11-13].

The Normalized Difference Water Index (NDWI) was developed to identify water on the surface of wetland areas and quantify its presence. Initially designed for use with data acquired from the Landsat Multispectral Scanner (Landsat MSS), this index has since been adapted successfully for use with other imaging sensors when it is necessary to estimate the extent of water bodies. The NDWI is calculated using the following formula:

$$NDWI = (Green - NIR)/(Green + NIR), \quad (2)$$

where Green – reflection in the red spectrum; NIR – reflection in the near-infrared range [14].

Land Surface Temperature (LST). The temperature of the earth's surface is influenced by various factors, including land use patterns, types of land cover, distribution of vegetation, and hydrological systems. These variations in temperature can have detrimental effects on the health of vegetation, availability of groundwater, and overall resilience of ecosystems. Urbanization and air pollution significantly contribute to fluctuations in the temperature of land surfaces. Additionally, the effects of climate change further exacerbate these fluctuations [14].

LST is calculated following 5 steps:

1. Conversion to Top of Atmosphere (TOA) Radiance:

$$L\lambda = ML * Q_{cal} + AL - O_i, \quad (3)$$

where $L\lambda$ – TOA spectral radiance (Watts/(m² * sr * μ)); ML – Radiance multiplicative Band (3.3420E-04 = 0.0003342); AL – Radiance Add Band (No.); Q_{cal} – Quantized and calibrated standart product pixel value; O_i – correction value for band 10 is 0.29.

2. Conversion to Top of Atmosphere (TOA) Brightness Temperature (BT), Kelvin (K) to Celsius (0C) Degrees:

$$BT = \frac{K2}{\ln\left(\frac{k1}{L\lambda} + 1\right)} - 273.15, \quad (4)$$

where BT – Top of Atmosphere Brightness (0C); $L\lambda$ – TOA spectral radiance (Watts/ (m² * sr * μ)); $k1 = K1$ constant band (No.); $K2 = K2$ constant band (No.). $BT = (1321.0789/\ln(774.8853/TOA+1)) - 273.15$.

3. Proportion of Vegetation (PV):

$$PV = \left(\frac{NDVI - NDVI_{min}}{NDVI_{max} - NDVI_{min}}\right)^2, \quad (5)$$

where PV – Proportion of Vegetation; NDVI – DN values from NDVI Image; $NDVI_{min}$ – Minimum DN values from NDVI Image; $NDVI_{max}$ – Maximum DN values from NDVI Image.

4. Land Surface Emissivity (E):

$$E = 0.004 * PV + 0.986, \quad (6)$$

where E – Land Surface Emissivity; PV – Proportion of Vegetation; 0.986 – corresponds to a correction value of the equation.

5. Land Surface Temperature (LST):

$$LST = BT / \left(1 + \left(\lambda * \frac{BT}{c2}\right) * \ln(E)\right), \quad (7)$$

where BT – Top of Atmosphere Brightness (0C); λ – Wavelength of emitted radiance; E – Land Surface Emissivity; $c2 = h * c / s = 14388 * 10^{-2} = 14388$ mK; h – Planck's Constant = $1.38 * 10^{-23}$ JK; c – velocity of light = $2.998 * 10^8$ m/s [15].

Normalized Difference Built-up Index (NDBI). The regions with plant life demonstrate a significant increase in the albedo between bands 4 and 5. Nonetheless, the vegetation exhibits a marginally higher or lower digital number (DN) value on band 5 in comparison to band 4, resulting in a discernible discrepancy between the two spectral bands. This characteristic allows for the identification of areas containing vegetation, which subsequently facilitates the calculation of the Normalized Difference Vegetation Index (NDBI):

$$NDBI = (SWIR - NIR)/(SWIR + NIR), \quad (8)$$

where SWIR – Short-wave infrared spectrum; NIR – reflection in the near-infrared range.

Bare Soil Index (BSI). The bare ground plays a critical role in the understanding of ecological systems and is an essential element in ecological processes. Its dynamic nature has significant implications for investigations related to soil desiccation, water balance quantification, dust deposition prediction, and urban development assessment. Due to the importance of bare ground, it is essential to improve current forecasting methods and leverage publicly available spatial data to generate dynamic maps of its distribution. This would enable a more precise assessment of its impact on ecological processes and provide valuable information for sustainable land management and is determined by the following formula:

$$BSI = ((Red + SWIR) - (NIR + Blue)) / ((Red + SWIR) + (NIR + Blue)), \quad (9)$$

where Red – reflection in the red spectrum; SWIR – Short-wave infrared spectrum; NIR – reflection in the near-infrared range; Blue – reflection in the blue spectrum [16,17].

Overlay Analysis. Overlay analysis was conducted to identify vulnerable areas of environmental degradation. Ecological Degradation (ED):

$$ED = DN_{NDVI} + DN_{NDWI} + DN_{LST} + DN_{NDBI} + DN_{BSI}, \quad (10)$$

where DN_{NDVI} – pixel value of NDVI nominative classes; DN_{NDWI} – pixel value of NDWI nominative classes; DN_{LST} – pixel value of LST nominative classes; DN_{NDBI} – pixel value of NDBI nominative classes; DN_{BSI} – pixel value of BSI nominative classes.

Datasets. This study utilized data obtained from the Landsat 8 satellite, comprising satellite imagery and related metadata. The Landsat-8 satellite, previously known as the Landsat Data Continuity Mission (LDCM), was successfully launched on 11th February 2013, aboard an Atlas V rocket from Vandenberg Air Force Base in California. The satellite is equipped with two key instruments: the Operational Land Imager (OLI) and Thermal Infrared Sensor (TIRS).

OLI captures images in three distinct spectral bands: visible, near-infrared, and short-wave infrared. TIRS utilizes a novel quantum physics-based approach to measure land surface temperatures. With a spatial resolution of 15m for panchromatic images and 30m for multispectral images, Landsat-8 can cover a swath width of up to 185km.

The Thermal Infrared Sensor (TIRS), developed by NASA's Goddard Space Flight Center, has a remarkable resolution of 100 centimeters. This sensor operates within the range of thermal infrared radiation and captures data in the wavelength range from 10.4 microns to 11.2 micrometers. Its primary purpose is to accurately detect and measure the heat radiation emitted by objects on Earth's surface.

The sensor produces 12-bit data, which is then converted into 16-bit integer values to create Level-1 products. These products can be further refined to provide a maximum resolution of 55,000 different shades of gray. The data can also be adjusted to reflect the radiance or reflectance at the top of the atmosphere, using specific radiometric scaling factors outlined in the metadata file known as the MTL.

TIRS has two distinct spectral bands: Band 10, which spans from 10.6 to 11.19 micrometers with a resolution of 100 centimeters, and Band 11, which ranges from 11.5 to 12.51 micrometers and also has a resolution of exactly 100 centimeters [18].

Results. Environmental monitoring was conducted between 2020 and 2024. Satellite images were selected based on criteria of cloud cover less than 10%, and during peak tourist flow periods. The dates of the images are: 09.11.2020, 08.13.2021, 06.05.2022, 07.10.2023, 07.06.2024.

Vegetation change detection. The Research presents the dynamics of vegetation changes in Burabay National Park for the period from 2020 to 2024 based on the NDVI. NDVI was calculated using (1)

formula. Cartographic data (figure 2 and 3) and a table 1 reflecting quantitative changes in the areas of various vegetation classes were used for the analysis.

Figure 2 illustrates the spatial distribution of NDVI values for each year of the study (2020-2024).

Four classes are used:

1. Lower than 0 (negative values, barren territories) – marked in orange.
2. 0 – 0.1 (unproductive vegetation, degraded lands) – yellow.
3. 0.1 – 0.3 (sparse vegetation, shrubs, grassy vegetation) – light green.
4. More than 0.3 (dense vegetation, forests) – dark green.

There is a positive trend: an increase in areas with high NDVI (dark green areas), which indicates an increase in vegetation density.

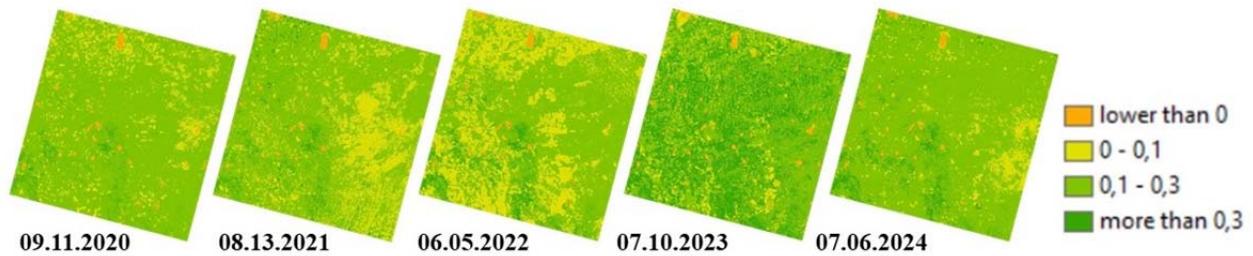


Figure 2 –Vegetation cover status based on satellite images

Between 2020 and 2022, a decline in NDVI was observed, indicating vegetation degradation likely associated with droughts, trampling, and increased tourist visitation. However, 2023–2024 demonstrated recovery dynamics, with an expansion of areas having NDVI > 0.3 (dense vegetation).

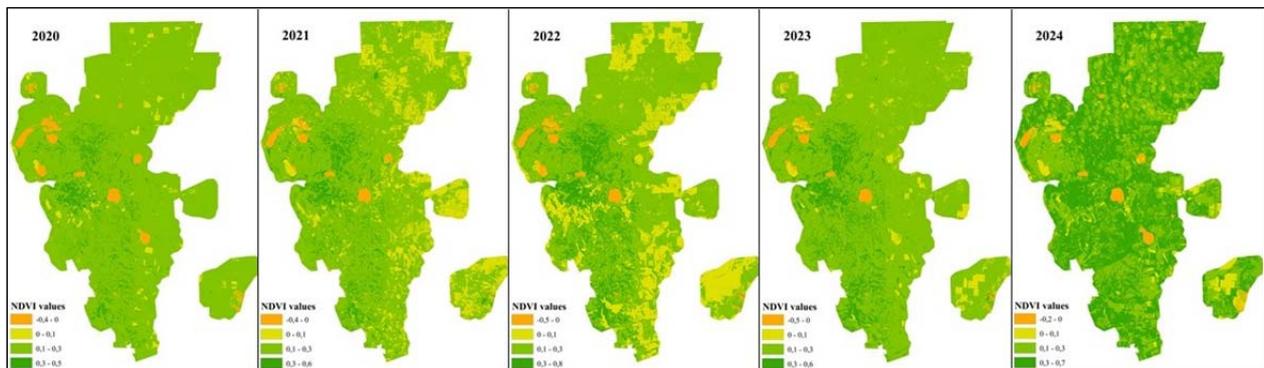


Figure 3 –Monitoring of the vegetation cover in Burabay Park

The table describes the density and health of vegetation, where higher values indicate a better growing season.

Vegetation categories are distributed into barren areas (rocks, sands, snow) with NDVI 0-0.1, sparse vegetation (shrubs, grassy landscapes) with NDVI 0.1–0.3 and temperate vegetation (forests and dense greenery) with NDVI more than 0.3.

Table 1 –Dynamics of changes in the area indicators of vegetation cover

Vegetation cover condition	NDVI values	Area by years, ha					
		2020	2021	2022	2023	2024	Average
Barren areas of rock, sand, or snow	0-0.1	14 363.37	87 275.7	107 683.02	23 277.33	27 358.02	51 991.49
Sparse vegetation (shrubs and grasslands)	0.1-0.3	436 797.63	360 087.03	317 863.08	409 642.29	216 594.09	348 196.82
Moderate vegetation	More than 0.3	31 036.86	38 742.75	59 143.41	53 415	235 911.87	83 649.98

The barren territories significantly increased their area in 2021 and 2022 (87,275.7 and 107,683.02 ha, respectively), but then decreased in 2023 and 2024. Sparse vegetation gradually decreased from 2020 to 2024, which may indicate degradation or a change in the type of vegetation cover.

Temperate vegetation is showing growth, especially in 2024 (235,911.87 ha), which indicates a possible improvement in the ecosystem or restoration of forests.

Average values for the period (2020-2024):

1. Barren territories occupied an average of 51,991.49 hectares.
2. Zones of rare vegetation – 348 196.82 ha.
3. Areas with moderate vegetation – 83,649.98 ha.

The results of the study indicate significant changes in the structure of the vegetation cover of the Burabay National Park. In particular, there is a decrease in areas of sparse vegetation and an increase in areas with moderate vegetation, which may indicate the process of ecosystem restoration. However, significant fluctuations in the area of barren territories require additional analysis of the causes of these changes. The data can be used to assess environmental changes, analyze trends in ecosystem degradation or restoration, and take environmental measures

Monitoring of the condition of water bodies. NDWI was calculated using (2) formula. The maps (figure 4 and 5) confirm a decrease in areas with positive NDWI values, especially in 2022-2023. In 2024, there is a slight increase in water bodies, which may indicate a restoration of the water balance. Thus, the study revealed a tendency to reduce wet areas with possible signs of recovery in 2024 [19].

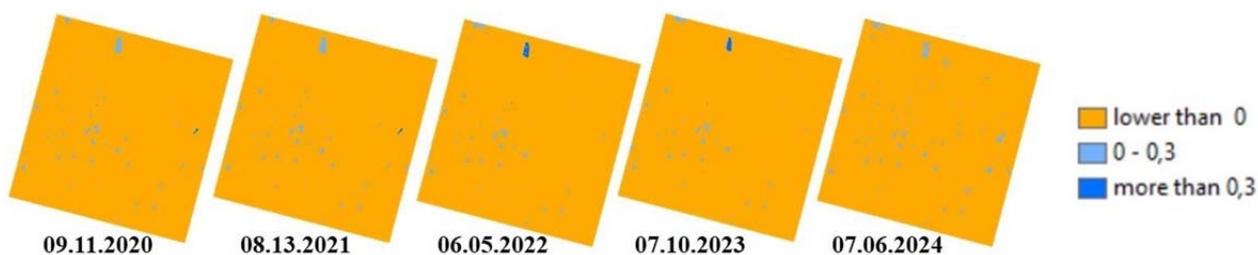


Figure 4 – Results of identification of water bodies from satellite images

A decrease in NDWI indicates a loss of water bodies or a decrease in soil moisture, which may be related to droughts, land-use changes, or environmental degradation.

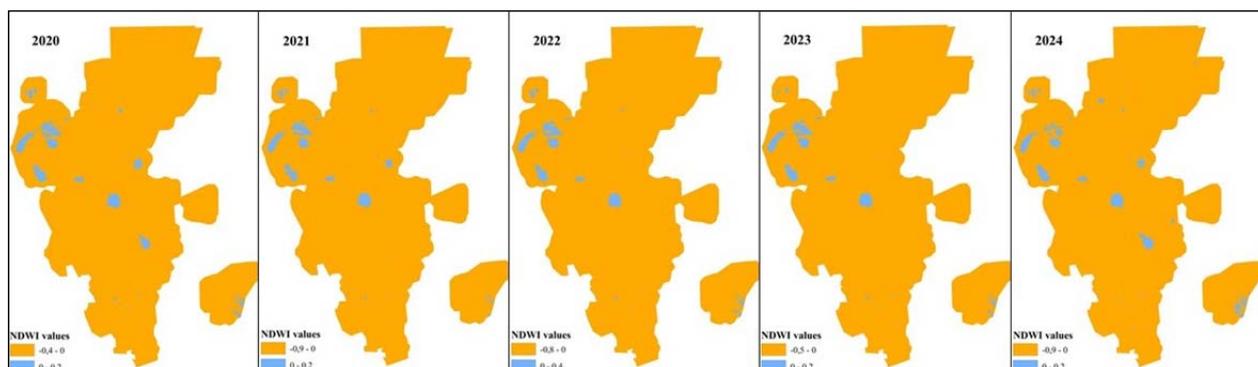


Figure 5 –Monitoring of water resources

In 2020, the area with $NDWI > 0$ was 123.61 km². In 2021 and 2022, it decreased to 98.80 km² and 96.87 km², respectively. The minimum area was recorded in 2023 – 82.89 km². In 2024, there was a partial recovery to 118.95 km². The average value for the entire period is 104.22 km² (table 2).

The recovery in 2024 may be attributed to changes in climatic conditions or water resource management measures. The fluctuations reflect the dual influence of climate variability and anthropogenic pressure near lakeshore tourist infrastructure.

Table 2 –Dynamics of changes in in water bodies

NDWI values	Area by years, km ²					
	2020	2021	2022	2023	2024	Average
More than 0	123.6087	98.7993	96.867	82.8855	118.9503	104,22

Surface temperature analysis. LST was calculated using (3-7) formulas. The spatial distribution of changes shows (figure 6 and 7) an increase in green areas in 2024, especially in the northern part of the territory, which confirms the restoration of vegetation or a decrease in surface temperature.

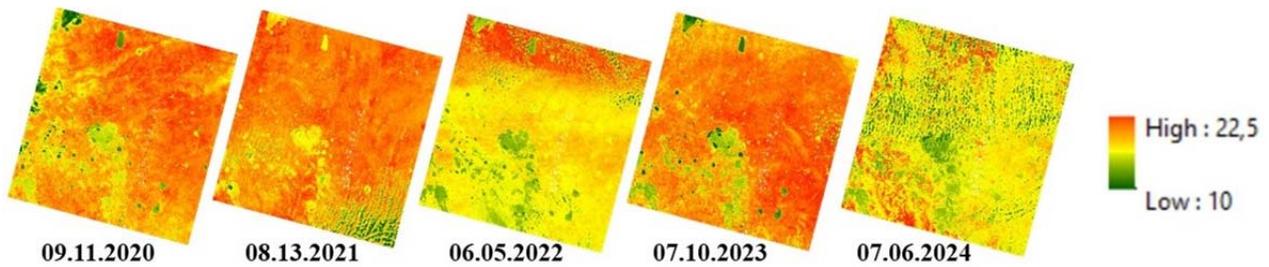


Figure 6 –Results of identification of LST from satellite images

In 2022-2023, an increase in red and orange hues is visible, which corresponds to an increase in LST and, probably, an increase in degradation processes. Based on the data, it can be assumed that the territory experienced a phase of degradation in 2021-2023, but in 2024, restoration processes began, leading to a decrease in surface temperature and an increase in vegetation cover.

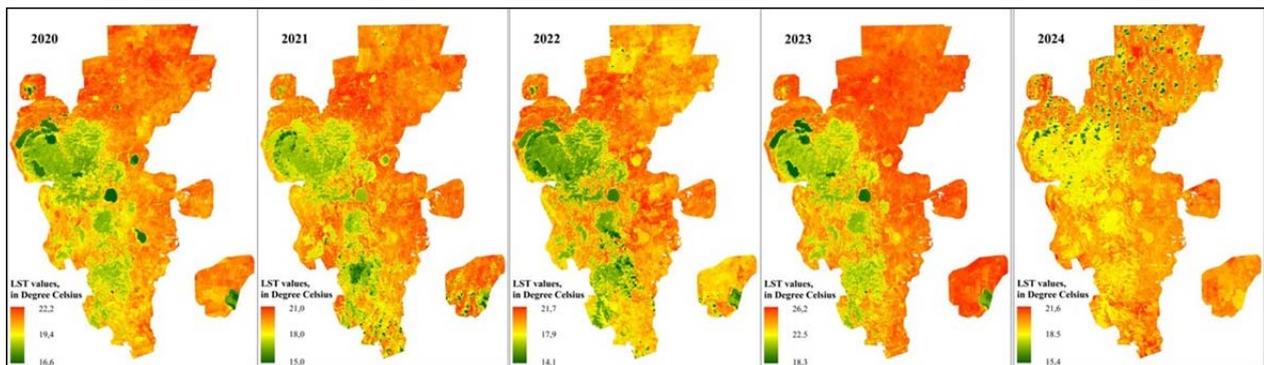


Figure 7 –Monitoring of land surface temperature

In different years, there is a significant variability in the distribution of temperature zones (table 3). In 2020, average temperatures prevailed (369 687.15 ha), while areas with high temperatures (32 097.96 ha) were relatively small. In 2022 and 2023, the high temperature zone increased (285 532.02 ha and 240,077.88 ha, respectively), indicating a possible increase in degradation processes or a decrease in vegetation cover. In 2024, there is again a reduction in high temperature zones (37 722.96 ha) and an increase in the average temperature zone (433 353.69 ha), which may indicate the restoration of vegetation or a change in climatic conditions.

Dynamics of areas of temperature classes

1. Low temperatures: Their area fluctuated significantly, with a sharp decrease in 2021-2022 and a recovery in 2023-2024.
2. Average temperatures: Stability is observed with small changes, but in 2024 they will reach the largest area (433 353.69 hectares).
3. High temperatures: They reached their maximum in 2022 (285 532.02 ha), but then began to decline, especially in 2024 (37 722.96 ha). This may be due to climate change, restoration measures, or natural cycles.

Table 3 –Dynamics of changes land surface temperature

Temperature ranges	Area by years, ha					
	2020	2021	2022	2023	2024	Average
Low	90705.06	8191.71	2294.19	60220.8	21419.19	36566.19
Middle	369687.15	306197.19	204665.58	192192.21	433353.69	301219.16
High	32097.96	178103.97	285532.02	240077.88	37722.96	154706.96

This dynamic indicates that managing visitor density and introducing seasonal restrictions can reduce surface heating effects associated with soil compaction and vegetation loss.

Identification of anthropogenic impact. NDBI was calculated using (8) formula. Based on the maps (figure 8 and 9) of the NDBI index and the table of dynamics of changes, the following conclusions can be drawn:

1. The general trend of anthropogenic impact

In 2020-2023, the average and high degree of anthropogenic impact prevailed, indicating intensive urbanization processes or soil degradation.

2. In 2024, there is a sharp reduction in areas with high and medium levels of NDBI, as well as a significant increase in the area of low levels of anthropogenic impact.

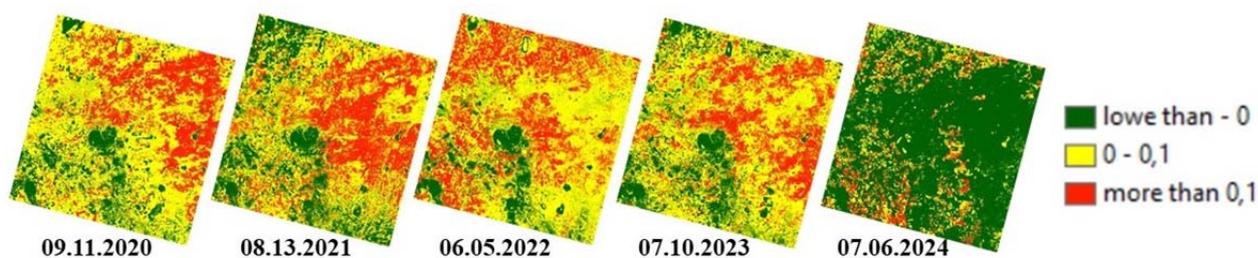


Figure 8 –Results of identification of antropogenic impacts from satellite images

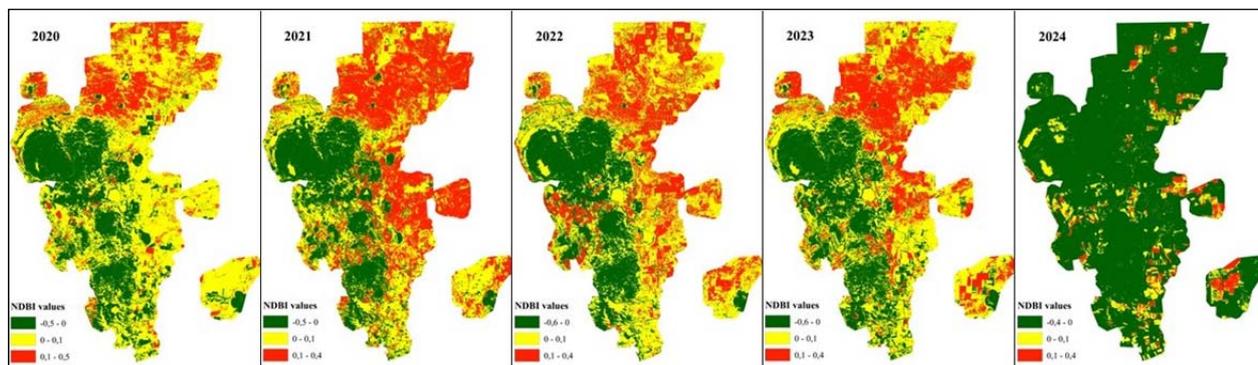


Figure 9 –Monitoring of NDBI values

Dynamics of the areas of anthropogenic impact classes

1. Low level (NDBI < 0). In 2020, it was 79,631.19 ha, then increased to 175,961.79 ha (2021). In 2022-2023, its area remained relatively stable (~135,000 ha). In 2024, there was a sharp reduction to 22,670.28 hectares, which may indicate degradation or urbanization.

2. Average level (0 – 0.1). The maximum was recorded in 2020 (261,990.09 ha). In 2021-2023, this indicator was kept within 172 000 – 213 000 ha. In 2024, there will be a sharp decrease to 46,042.92 hectares, which also confirms the increase in urbanized areas.

3. High level (> 0.1). In 2020-2023, this indicator ranged from 145 000 – 153 000 ha.

In 2024, its area increased almost 3 times to 424,461.33 hectares, indicating a significant increase in urbanized areas.

Table 4 –Dynamics of changes antropogenic impacts

Level of anthropogenic impact	NDBI values	Area by years, ha					
		2020	2021	2022	2023	2024	Average
Low	Lower than 0	79631.19	175961.79	135263.25	135845.73	22670.28	109874.45
Middle	0-0.1	261990.09	172865.97	213215.13	204367.86	46042.92	179696.39
High	More than 0.1	152296.56	145022.76	145414.71	153470.7	424461.33	204133.21

In 2020-2023, yellow and red zones prevailed, indicating a significant anthropogenic impact. In 2024, the dark green color dominates the maps, reflecting the growth of anthropogenic zones (an increase in urbanized or disturbed areas).

The data indicate a significant expansion of urbanized areas and anthropogenic influence in 2024. This may be due to active construction, an increase in the area of paved areas, a reduction in natural ecosystems, or changes in the methodology of data analysis.

This trend highlights the need for spatial regulation and strict land-use zoning, especially in core conservation zones. The integration of NDBI monitoring into local planning processes can help limit further urban sprawl and guide sustainable infrastructure development.

Soil quality analysis. BSI was calculated using (9) formula. The maps (figure 10 and 11) show the change in the values of the Bare Soil Index (BSI) from 2020 to 2024. The color scale reflects different levels of BSI: from low (light shades) to high values (dark shades).

1. In 2020, low and medium BSI values prevail, indicating relatively stable soil coverage.
2. In 2021, there is a significant increase in the area with high BDI values, which indicates an increase in areas with bare soil.
3. In 2022, the trend of increasing BSI values continues, which may be due to deforestation or changes in land use.
4. In 2023, the situation will relatively stabilize, but the area of sites with high BSI remains significant.
5. In 2024, there is a serious increase in zones with high BDI values, which indicates intensive degradation of vegetation cover and an increase in the area of bare soil.



Figure 10 –Results of identification of bare soil areas from satellite images

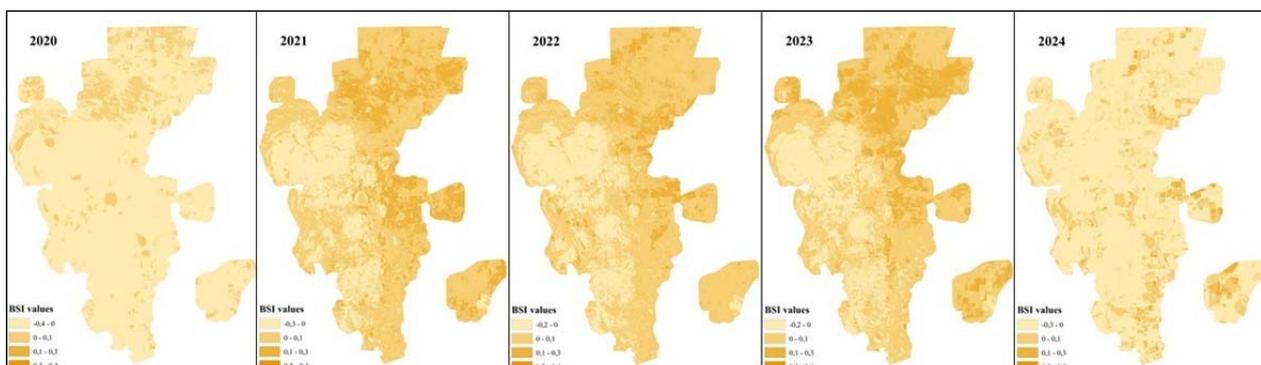


Figure 11 –Monitoring of bare soil areas

Data on the dynamics of the area of plots with different levels of BSI (low, medium, high) confirm visual observations (table 5).

Low BSI values: In 2020-2023, they range from 93 000 to 94 000 hectares, but in 2024 there is a sharp decrease to 12 331.98 hectares. This may indicate a significant decrease in areas with relatively stable soil cover.

Average BSI values: The dynamics shows a sharp increase from 70,334.82 hectares in 2020 to 314 514.36 hectares in 2022, followed by a slight decrease, but in 2024 the area falls again to 88 574.4 hectares.

High BSI values: In 2020, the area of high values was the maximum (323 581.85 ha), but then decreased to 120 669.84 ha in 2021. However, by 2024, there is again a sharp jump to 392 939.28 hectares, which confirms a serious deterioration in the vegetation cover.

Table 5 –Dynamics of changes bare soil areas

Bare soil values	Area by years, ha					
	2020	2021	2022	2023	2024	Average
Low	93000.17	93652.47	53661.15	94549.68	12331.98	69439.09
Average	70334.82	279488.07	314514.36	270280.44	88574.4	204638.42
High	323581.85	120669.84	125725.77	129087.72	392939.28	218400.89

An increase in BSI values indicates an increase in the area of degraded lands and bare soil, which may be the result of anthropogenic activities (deforestation, agriculture, construction) or climatic factors. In 2024, maximum soil degradation is recorded, which can be seen both on maps and in tabular data: the area of plots with high BSI values has increased almost 3 times compared to 2023.

A sharp decrease in low BSI values and an increase in high values indicates a deterioration in the environmental situation in the study area. For further analysis, it is worth investigating possible causes of the deterioration, such as changes in precipitation, surface temperature, the impact of human activity, and possible measures to restore soil cover.

Overlay analysis and conducting an assessment zoning. The overlay analysis was conducted using a formula (10) that integrates multiple environmental indicators:

1. NDVI (Normalized Difference Vegetation Index) – represents vegetation health;
2. NDWI (Normalized Difference Water Index) – indicates water presence;
3. LST (Land Surface Temperature) – measures surface heat levels
4. NDBI (Normalized Difference Built-up Index) – detects urbanization and built-up areas;
5. BSI (Bare Soil Index) – assesses soil exposure and land degradation;

By combining these indices, a comprehensive assessment of environmental conditions was performed. The resulting maps (figure 12) depict the spatial distribution of degraded zones based on varying levels of environmental stress.

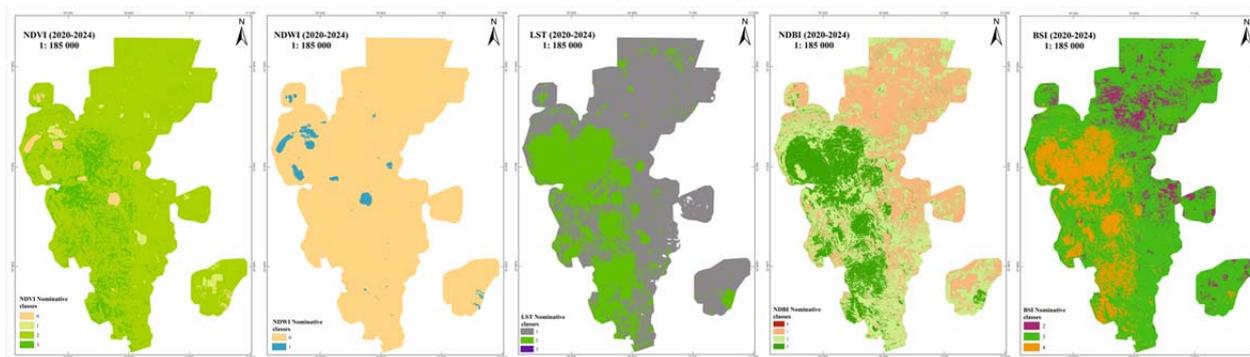


Figure 12 –Comprehensive analysis and Overlay NDVI, NDWI, LST, NDBI and BSI data

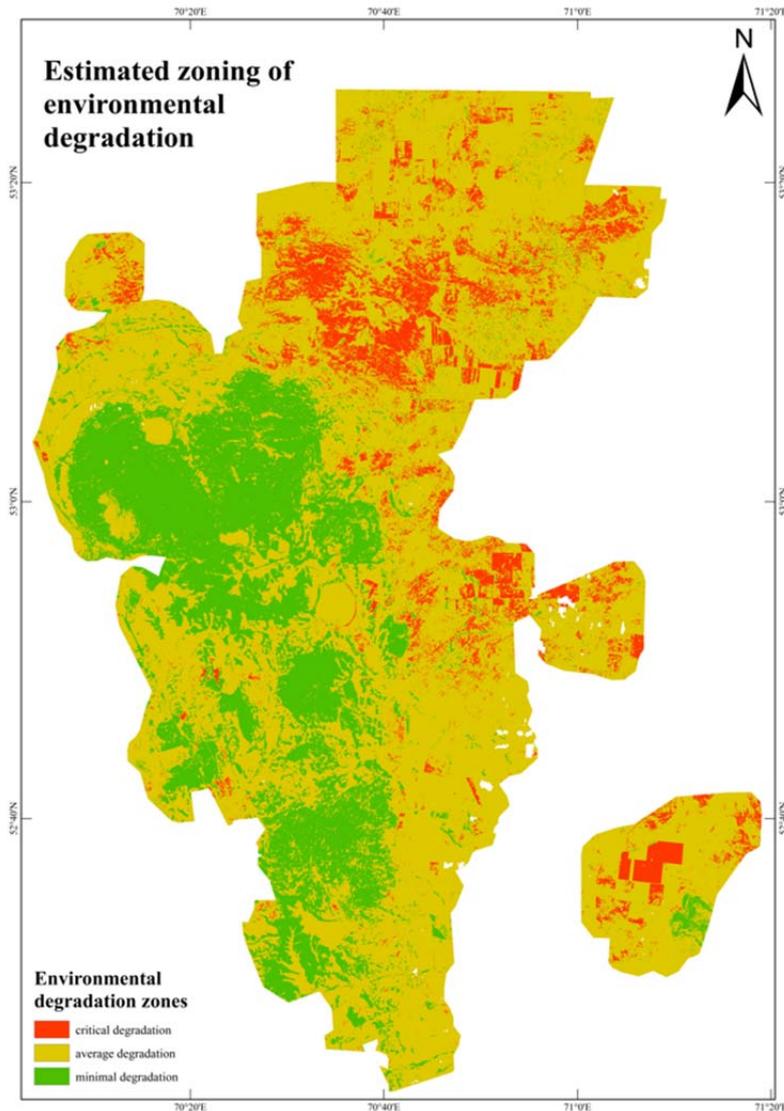


Figure 13 – Estimated zoning of environmental degradation

Figure 13 classifies the study area into three degradation levels:

1. Highly degraded areas (46 296.72 ha): These regions show severe environmental stress, likely due to excessive land use, deforestation, high surface temperatures, and loss of vegetation. The combination of high BSI and NDBI with low NDVI and NDWI suggests significant ecological damage.

2. Moderately degraded areas (334 418.67 ha): These areas exhibit noticeable but not extreme degradation. They may still support some vegetation but are experiencing increasing land degradation pressures.

3. Slightly degraded areas (111 599.19 ha): These zones maintain relatively good environmental conditions, with stable vegetation cover and lower urban or soil exposure impacts.

The majority of the area falls under medium degradation, indicating widespread but not critical land stress. Highly degraded areas require urgent intervention to prevent further environmental deterioration. Slightly degraded zones could serve as ecological buffers and conservation areas to mitigate further degradation. This analysis highlights priority areas for environmental restoration, conservation efforts, and sustainable land management strategies to reduce degradation trends.

The results of remote sensing monitoring for the period 2020–2024 in Burabay National Park reveal dynamic environmental changes that directly correlate with anthropogenic pressure and tourist activity. Indicators such as NDVI, NDWI, LST, NDBI, and BSI show both degradation and recovery trends, which can serve as a foundation for evidence-based management of tourism flows.

Discussion. Remote sensing monitoring from 2020 to 2024 revealed dynamic environmental changes in Burabay National Park closely linked to anthropogenic pressure and tourism intensity. The combined analysis of NDVI, NDWI, LST, NDBI, and BSI indices demonstrates both degradation and recovery phases, confirming that ecological processes in the park are directly influenced by fluctuations in visitor activity.

Environmental Stress and Tourism Pressure. The NDVI and BSI indices show a notable decline in vegetation cover and soil quality in 2021–2022, coinciding with periods of peak tourist activity. The increase in barren soil areas and higher LST values indicate thermal and physical stress on ecosystems caused by trampling, unregulated recreation, and infrastructure expansion. These findings are consistent with patterns observed in other protected areas of Kazakhstan, such as Katon-Karagay National Park, where uncontrolled tourism contributed to vegetation loss and soil erosion [19].

Management Measures Based on Zoning and Carrying Capacity. Environmental fluctuations recorded between 2020 and 2024 highlight the necessity of establishing a visitor management framework based on ecological zoning and carrying capacity assessment. Evidence from Altynemel National Park suggests that a multi-zone approach – combining restricted, controlled, and buffer zones – helps maintain ecological integrity while ensuring sustainable tourism revenues [20].

Based on spatial analysis of Burabay data:

- Highly degraded areas (46,296.72 ha): should be designated as restricted-access with seasonal closures and rehabilitation programs.
- Moderately degraded areas (334,418.67 ha): suitable for controlled ecotourism with regulated trails, eco-friendly infrastructure, and waste management.
- Slightly degraded areas (111,599.19 ha): appropriate for educational and low-impact tourism serving as ecological buffers.

This framework is consistent with UNWTO (2023) recommendations on adaptive visitor management in protected areas [21].

Integration of Remote Sensing into Decision-Making. Remote sensing data provide a reliable scientific basis for monitoring ecological carrying capacity, identifying illegal land use, and forecasting degradation risks. Integrating NDVI–NDBI–BSI datasets enables managers to:

- Adjust visitor limits according to vegetation health and land degradation indicators;
- Prioritize reforestation in zones with NDVI decline;
- Use NDWI and LST indices to detect drought and overheating zones.

Such approaches reflect international best practices in GIS- and RS-based environmental governance [19, 20].

Soil Degradation and Climate Adaptation. The growth of BSI values in 2024 indicates intensified soil degradation due to recreational overuse and infrastructure expansion. To counter these effects, combined measures – revegetation with native species, creation of green corridors, and restrictions on motorized tourism – are recommended [21]. These strategies not only prevent further degradation but also strengthen the park’s resilience to climate variability.

Conclusion. The environmental monitoring of Burabay National Park from 2020 to 2024 has revealed significant fluctuations in vegetation cover, water resources, land surface temperature, anthropogenic impact, and soil quality. A decline in vegetation density and water resources was observed from 2021 to 2023, coinciding with increased surface temperatures and urban expansion, indicating ecosystem stress due to overtourism. However, 2024 marked a partial environmental recovery, with higher NDVI values, reduced LST, and an increase in water bodies. Despite these improvements, the increase in anthropogenic influence and soil degradation in 2024 raises concerns about sustainable land management. The overlay analysis classified the park into different degradation zones, emphasizing the need for immediate conservation efforts in highly degraded areas. These findings underscore the necessity for implementing long-term environmental protection measures, stricter regulations on tourism activities, and ecological restoration projects to ensure the sustainable development of Burabay National Park.

The study’s methodology demonstrates the effectiveness of remote sensing in monitoring environmental changes, providing a valuable tool for policymakers and conservationists in managing protected areas impacted by overtourism. The study demonstrates the high potential of remote sensing and

GIS integration in supporting evidence-based management of protected areas. The proposed framework of adaptive management – combining zoning, visitor quotas, and restoration measures – aligns with UNWTO guidelines and global best practices.

This research provides one of the first comprehensive RS-based assessments of Burabay’s environmental dynamics and offers practical recommendations for balancing ecological protection and tourism development. The results can serve as a model for other national parks in Kazakhstan and Central Asia facing similar challenges of overtourism and environmental stress.

REFERENCES

- [1] Eagles, P. F. J., McCool, S. F., Haynes, C. D. Sustainable Tourism in Protected Areas: Guidelines for Planning and Management. – Best Practice Protected Area Guidelines Series. No. 8. – Gland : IUCN, The World Conservation Union, 2002. – 183 p.
- [2] Manning, R. E., Anderson, L. E., Pettengill, P. Managing Outdoor Recreation: Case Studies in the National Parks. – Wallingford: CABI, 2017. – 340 p.
- [3] Gross, J. E., Goetz, S. J., Cihlar, J. Application of Remote Sensing to Parks and Protected Area Monitoring: Introduction to the Special Issue // Remote Sensing of Environment. – 2009. – Vol. 113. – P. 1343-1345.
- [4] Goodwin, H. Overtourism: Causes, Symptoms and Treatment. – April 2019. – P. 110-114.
- [5] Eagles, P. F. J., McCool, S. F., Haynes, C. D. Sustainable Tourism in Protected Areas: Guidelines for Planning and Management. – Best Practice Protected Area Guidelines Series. No. 8. – Gland: IUCN, The World Conservation Union, 2002. – 183 p.
- [6] Gretzel, U. Technological Solutions to Overtourism: Potential and Limits // In: Mandić, A., Petrić, L. (eds.) Mediterranean Protected Areas in the Era of Overtourism: Challenges and Solutions. – Cham: Springer Nature, 2021. – P. 221-240.
- [7] Manning, R. et al. Defining, Measuring, Monitoring, and Managing the Sustainability of Parks for Outdoor Recreation // Journal of Park and Recreation Administration. – 2011. – Vol. 29, No. 3.
- [8] Burabay Biosphere Reserve // Kazakhstan National Committee of the UNESCO Program «Man and the Biosphere» (MAB). <https://www.kazmab.kz/index.php/biosfernye-rezervaty1/natsionalnaya-set/burabaj/opisanie> (accessed: 12.02.2025).
- [9] Gandhi, M., Parthiban, S., Thummalu, A., Christy. NDVI: Vegetation Change Detection Using Remote Sensing and GIS – A Case Study of Vellore District // Procedia Computer Science. – 2015. – Vol. 57. – P. 1199-1210. – ISSN 1877-0509.
- [10] Chen, X., Wang, Y., Chen, Y., Fu, S., Zhou, N. NDVI-Based Assessment of Land Degradation Trends in Balochistan, Pakistan, and Analysis of the Drivers // Remote Sensing. – 2023. – Vol. 15, No. 9. – P. 2388.
- [11] Özyavuz, M., Bilgili, C., Salıcı, A. Determination of Vegetation Changes with NDVI Method // Journal of Environmental Protection and Ecology. – 2015. – Vol. 16. – P. 264-273.
- [12] Robinson, N. P., Allred, B. W., Jones, M. O., Moreno, A., Kimball, J. S., Naugle, D. E., Erickson, T. A., Richardson, A. D. A Dynamic Landsat Derived Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) Product for the Conterminous United States // Remote Sensing. – 2017. – Vol. 9, No. 8. – P. 863.
- [13] McFeeters, S. K. Using the Normalized Difference Water Index (NDWI) within a Geographic Information System to Detect Swimming Pools for Mosquito Abatement: A Practical Approach // Remote Sensing. – 2013. – Vol. 5, No. 7. – P. 3544-3561.
- [14] Moharir, K., Pande, C., Gautam, V., Dash, S., Mishra, A., Yadav, K., Darwish, H., Pramanik, M., Elshahi, M. Estimation of Land Surface Temperature and LULC Changes Impact on Groundwater Resources in the Semi-Arid Region of Madhya Pradesh, India // Advances in Space Research. – 2024. – Vol. 75. – DOI: 10.1016/j.asr.2024.09.025.
- [15] Abir, F. A., Ahmmed, S., Sarker, S. H., Fahim, A. U. Thermal and Ecological Assessment Based on Land Surface Temperature and Quantifying Multivariate Controlling Factors in Bogura, Bangladesh // Heliyon. – 2021. – Vol. 7, Issue 9. – e08012. – ISSN 2405-8440.
- [16] Salas, E. A. L., Kumaran, S. S. Hyperspectral Bare Soil Index (HBSI): Mapping Soil Using an Ensemble of Spectral Indices in Machine Learning Environment // Land. – 2023. – Vol. 12, No. 7. – P. 1375.
- [17] Nguyen, T. C., Chidhaisong, A., Kieu, D. P., Huo, L.-Z. A Modified Bare Soil Index to Identify Bare Land Features during Agricultural Fallow-Period in Southeast Asia Using Landsat 8 // Land. – 2021. – Vol. 10. – DOI: 10.3390/land10030231.
- [18] Understanding NDWI – Exploring the Range and Values for Effective Water Resource Management. Farmonaut. <https://farmonaut.com/remote-sensing/understanding-ndwi-exploring-the-range-and-values-for-effective-water-resource-management/> (accessed: 25.04.2025).
- [19] MDPI. Sustainable Tourism Development in National Parks: Balancing Conservation and Visitor Management // Sustainability. – 2023. – Vol. 15, No. 22. – P. 15989.
- [20] MDPI. Sustainable Development of Ecotourism in “Altynemel” National Park, Kazakhstan: Assessment through the Perception of Residents // Sustainability. – 2023. – Vol. 15, No. 11. – P. 8496.
- [21] UNWTO. Overtourism? Understanding and Managing Urban Tourism Growth beyond Perceptions. – Madrid : World Tourism Organization, 2018. – 120 p.

А. Ш. Шәкен¹, Қ. Т. Қырғызбай*², А. Н. Әбубәкір³

¹ PhD, доцент міндетін атқарушы (Әл-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университеті, Алматы, Қазақстан; shakenaiman1982@gmail.com)

²* PhD, аға оқытушы (Әл-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университеті, Алматы, Қазақстан; kyrgyzbay.kudaibergen@gmail.com)

³ Магистрант (Әл-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университеті, Алматы, Қазақстан; aruzhana379@gmail.com)

ҚАШЫҚТЫҚТАН ЗОНДТАУ ДЕРЕКТЕРІН ҚОЛДАНА ОТЫРЫП БУРАБАЙ МҰТП АНТРОПОГЕНДІК ЖҮКТЕМЕСІНІҢ ЭКОЛОГИЯЛЫҚ САЛДАРЫН КЕШЕНДІ БАҚЫЛАУ

Аннотация. Овертуризм көптеген ерекше қорғалатын табиғи аумақтарда өзекті мәселеге айналып, қоршаған ортаның айтарлықтай нашарлауына әкелуде. Берілген зерттеу 2020-2024 жылдар аралығындағы қашықтықтан зондтау деректерін пайдалана отырып, Бурабай Мемлекеттік Ұлттық табиғи паркіндегі овертуризмнің экологиялық салдарын талдауға арналған. Зерттеуде өсімдік жамылғысы, су ресурстары, жер бетінің температурасы, урбанизация және топырақтың деградациясының өзгеруін бағалау үшін NDVI, NDWI, LST, NDBI және BSI индекстерін пайдаланатын кешенді талдау қолданылады. Ғарыштық түсірістер экологиялық жағдайды дәл бақылауды қамтамасыз ету үшін ең аз бұлттылық және жоғары туристік ағын кезеңдерін ескере отырып таңдалды. Нәтижелер 2021-2022 жылдары NDVI мәндерінің уақытша төмендеуімен өсімдік жамылғысының айтарлықтай ауытқуын көрсетіп, 2023-2024 жылдары айтарлықтай қалпына келгендігін тіркейді. NDWI талдауы 2024 жылы ішінара қалпына келу белгілерімен су объектілерінің 2023 жылға дейін қысқарғанын көрсетеді. LST тербелістері жердің деградациясының әсерін дәлелдейді, берілген өлшемшарттар 2021-2023 жылдардағы жер бетіндегі температураның жоғарылауын көрсетеді. NDBI көрсеткішінің өсуі урбанизацияланған аумақтарды және антропогендік әсердің артқандығын айқындайды. BSI тенденциялары топырақтың деградациясының жоғарылауын көрсетеді. Талдау нәтижесінде Мемлекеттік Ұлттық табиғи паркінің аумағы жоғары, орта және аз деградация деңгейі бойынша 3-ке бөлініп, қорғаудың шұғыл шараларын қажет ететіндігін дәлелдеді. Нәтижелер Бурабай Ұлттық паркіндегі туризм мен қоршаған ортаны сақтауды теңестіретін тұрақты басқару және азайту стратегиялары туралы құнды ақпарат береді.

Түйін сөздер: қашықтықтан зондтау, Landsat 8, қоршаған ортаның деградациясы, овертуризм, мониторинг, ГАЖ.

А. Ш. Шәкен¹, Қ. Т. Қырғызбай*², А. Н. Әбубәкір³

КОМПЛЕКСНЫЙ МОНИТОРИНГ ЭКОЛОГИЧЕСКИХ ПОСЛЕДСТВИЙ ОВЕРТУРИЗМА В ГНПП «БУРАБАЙ» С ПРИМЕНЕНИЕМ ДАННЫХ ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ

¹ PhD, исполняющий обязанности доцента
(Казахский национальный университет им. аль-Фараби, Алматы, Казахстан; shakenaiman1982@gmail.com)

²* PhD, старший преподаватель (Казахский национальный университет им. аль-Фараби, Алматы, Казахстан; kyrgyzbay.kudaibergen@gmail.com)

³ Магистрант (Казахский национальный университет им. аль-Фараби, Алматы, Казахстан; aruzhana379@gmail.com)

Аннотация. Овертуризм становится актуальной проблемой во многих охраняемых природных территориях, вызывая значительное ухудшение состояния окружающей среды. Данное исследование посвящено экологическим последствиям чрезмерного туризма в национальном парке «Бурабай» с использованием данных дистанционного зондирования с 2020 по 2024 год. В исследовании применяется многокритериальный подход с использованием индексов NDVI, NDWI, LST, NDBI и BSI для оценки изменений в растительности, водных ресурсах, температуре поверхности земли, урбанизации и деградации почв. Спутниковые снимки были отобраны с учетом минимальной облачности и периодов пикового туристического потока, чтобы обеспечить точный мониторинг экологической обстановки. Полученные данные свидетельствуют о существенных колебаниях растительного покрова с временным снижением значений NDVI в 2021-2022 годах, за которым последовало заметное восстановление в 2023-2024 годах. Анализ NDWI показывает сокращение водных объектов до 2023 года с признаками частичного восстановления в 2024 году. Колебания LST подтверждают влияние деградации земель, показывая повышение температуры поверхности в 2021-2023 годах, которая затем снизилась по мере улучшения растительного покрова. Расширение урбанизированных территорий, отраженное в росте NDBI, свидетельствует об усилении антропогенного воздействия. Тенденции BSI указывают на усиление деградации почв, особенно в 2024 году. В результате анализа национальный парк был разделен на три уровня деградации, выделив области, требующие срочных природоохранных мер. Результаты исследования дают ценную информацию об устойчивом управлении и стратегиях смягчения последствий, позволяющих сбалансировать туризм и сохранить окружающую среду в национальном парке Бурабай.

Ключевые слова: дистанционное зондирование, Landsat 8, деградация окружающей среды, овертуризм, мониторинг, ГИС.

Экономическая география
Экономикалық география
Econometical geography

<https://doi.org/10.55764/2957-9856/2025-4-165-179.53>

FTAMP 05.11.27
ӨОК 314.7

Р. Ж. Келинбаева¹, Б. К. Сарсенова*²

¹ PhD, жетекші ғылыми қызметкер

(Р. Б. Сүлейменов атындағы Шығыстану институты, Алматы, Қазақстан; zhar80@mail.ru)

²* Докторант (Әл-Фараби атындағы ҚазҰУ, Алматы, Қазақстан; bayansulusarsenova@gmail.com)

ОРТАЛЫҚ АЗИЯ ЕЛДЕРІ ХАЛҚЫНЫҢ
ОРНЫҚТЫ ДАМУ КОНТЕКСТІНДЕГІ КӨШІ-ҚОНЫ

Аннотация. Мақала демографиялық өзгерістер мен өңірдің әлеуметтік-экономикалық трансформациясы тұрғысынан Орталық Азия елдеріндегі көші-қон үдерістерінің үрдістерін кешенді талдауға арналған. Орталық Азияның жекелеген елдерінің және әлемдік деректер банктерінің (Дүниежүзілік банк, ХҚҰ, БҰҰ) ресми статистикалық деректері негізінде 2010-2023 жылдар кезеңіндегі Қазақстан, Қырғызстан, Өзбекстан, Тәжікстан және Түрікменстандағы ішкі және сыртқы көші-қонның негізгі үрдістері анықталды. Көші-қонның ұлттық экономикалар тұрақтылығына, инфрақұрылымның дамуына, еңбек нарығына және халықтың әлеуметтік ұтқырлығына (мобильдігіне) әсерін бағалауға ерекше назар аударылады. Жоғары білікті кадрлардың сытылуы, бірқатар мемлекеттердің еңбек мигранттарының ақша аударымдарына тәуелділігінің артуы және алыс шетелдермен жаңа көші-қон байланыстарының қалыптасуы сияқты құбылыстар бөлек қарастырылады. Мақалада қарастырылған көші-қон үдерістері мен БҰҰ-ның Тұрақты даму мақсаттарын (ТДМ 8, ТДМ 10 және ТДМ 11) іске асырудағы өзара байланысқа ерекше назар аударылған. Жүргізілген талдау өңірдің ұзақ мерзімді даму тұрақтылығы үшін жаңа тәуекелдердің көзі болуымен қатар ішкі әлеуметтік-экономикалық сын-қатерлерге бейімделу факторы ретіндегі көші-қонның қосарлы рөл атқаратыны жөнінде қорытынды жасауға мүмкіндік береді.

Түйін сөздер: халықтың көші-қоны, Орталық Азия, орнықты даму, ТДМ, әлеуметтік-экономикалық даму.

Кіріспе. Тарихи тұрғыдан Орталық Азия Еуразияда маңызды геосаяси және геостратегиялық позицияны иеленді, Батыс пен Шығыс арасындағы көпір қызметін атқарды. Орталық Азияның бірегейлігі оның географиялық орналасуына және табиғи ресурстардың болуына байланысты. Бұл ерекшеліктер Орталық Азияның көші-қон үдерістеріндегі ерекше рөлін анықтады, ол өңір елдерінің әлеуметтік құрылымын, демографиялық серпінін және саяси өзгерістерін қалыптастырудың негізгі факторларының бірі болып табылады. Бүгінде Орталық Азия осы өңірдің іргетасын құрайтын Қазақстан, Қырғызстан, Тәжікстан, Түрікменстан және Өзбекстан сияқты бес мемлекетпен танылады.

Кеңестік кезеңде Орталық Азия елдерінде ең маңызды көші-қон өзгерістері болды. Индустрияландыру, ұжымдастыру, тың жерлерді игеру аймақтың саяси жүйесінде, этносаралық байланыстарында, демографиялық құрылымы мен әлеуметтік-экономикалық үдерістерінде көрініс тапты.

Орталық Азиядағы халықтың көші-қоны БҰҰ 2015 жылы бекіткен Орнықты даму мақсаттарына (ТДМ) [1, 2] қол жеткізуге тікелей әсер ететін маңызды фактор болып табылады. Кеңес

Одағы ыдырағаннан кейін көші-қон ағындары жаңа сипатқа ие болды: жақсы өмір сүру жағдайларын іздеудегі ішкі қозғалыстар, шетелге, әсіресе Тәжікстаннан, Қырғызстаннан және Өзбекстаннан жаппай еңбек көші-қоны белең алды. Мигранттардың ақша аударымдары бүгінде осы елдердің ЖІӨ-нің едәуір бөлігін құрайды, бұл көптеген отбасылардың өмір сүру деңгейін жақсартуға (ТДМ 8) және кедейлікпен күресуге (ТДМ 1) ықпал етеді. Оған қоса, сыртқы табысқа жоғары тәуелділік экономиканы сыртқы күйзелістерге осал етеді. Көші-қон сонымен қатар аймақ елдерінде де, олардың арасында да әлеуметтік теңсіздіктің төмендеуіне әсер етеді (ТДМ 10). Алайда, мигранттар көбінесе кемсітушілікке ұшырайды, қабылдаушы елдерде білім беру, денсаулық сақтау және әлеуметтік қорғауға қол жетімділігі шектеулі. Бұл мигранттардың құқықтары мен әлеуметтік интеграцияны қамтамасыз ету үшін шаралар қабылдауды талап етеді. Көші-қон әсерінен Орталық Азияның ірі қалаларының дамуы қалалық ортаның орнықты даму міндеттерін шешумен байланысты (ТДМ 11). Урбандалу инфрақұрылымға, жұмыс орындарына және қолжетімді баспанаға сұранысты арттырады, сонымен бірге экологиялық тұрақтылыққа қауіп төндіреді. Сонымен қатар, климаттың өзгеруі және экологиялық жағдайдың нашарлауы аймақ ішіндегі көші-қонның жанама себептеріне айналады, бұл көші-қон мен климаттың өзгеруіне қарсы іс-қимыл арасындағы байланысты ескеру қажеттілігін көрсетеді (ТДМ 13).

Бүгінде Орталық Азия елдері адам құқықтарын сақтауға, адами капиталды дамытуға (ТДМ 16) және орнықты даму қағидаттарын ілгерілетуге бағытталған неғұрлым кешенді көші-қон саясатын қалыптастыру жөнінде күш салуда. Көші-қон мәселелерін ТДМ-на қол жеткізудің ұлттық стратегияларына интеграциялау маңызды міндет болып табылады, бұл неғұрлым орнықты, инклюзивті және әділ қоғамдар құруға мүмкіндік береді.

Жаһандану және өңірлік динамиканың тұрақсыз жағдайында көші-қон үрдістерін талдау ерекше өзектілікке ие болып отыр. Бұл Орталық Азия елдерінің әлеуметтік және экономикалық дамуы жолында кездесетін мүмкіндіктер мен қауіптерді айқындауға мүмкіндік береді.

Зерттеу материалдары мен әдістері. Зерттеу жүргізу үшін сандық және сапалық талдау әдістері пайдаланылды, бұл орнықты даму мақсаттары контекстінде Орталық Азия елдеріндегі көші-қон үдерістерін кешенді тәсілдермен зерделеуді қамтамасыз етті.

Сандық тәсіл көші-қон ағындарының ауқымы мен бағыттарын, мигранттардың жынысы, жасы, тағайындалған елдері бойынша құрылымын және халықаралық жеке ақша аударымдарының динамикасын көрсететін статистикалық мәліметтерді жинау мен өндеуді қамтыды. Деректердің негізгі көздері – Қазақстан, Қырғызстан, Өзбекстан, Тәжікстан және Түрікменстан Ұлттық статистикалық агенттіктерінің ресми есептері мен дерекқорлары [3, 4, 5, 6, 7], сондай-ақ халықаралық ұйымдардың ашық ресурстары (БҰҰ көші-қон қызметі, Дүниежүзілік банк, ХЕҰ және т.б.) [8]. Бұл зерттеу ресми деректерге негізделген, бірақ аймақтағы көші-қон ағындарының статистикасында, әсіресе мигранттарды бейресми жұмыспен қамту бөлігінде айтарлықтай олқылықтар бар екенін ескеру маңызды.

Сапалық талдау аясында өңір елдеріндегі көші-қон үдерістерін реттейтін бағдарламалық және стратегиялық құжаттарға контент-талдау жүргізілді. Оларға көші-қон саясатының ұлттық тұжырымдамалары, жұмыспен қамту жөніндегі мемлекеттік бағдарламалар, сондай-ақ Тұрақты даму мақсаттарын іске асыру жөніндегі құжаттар кірді. Зерттеуде көші-қонды басқару тәсілдеріндегі ұқсастықтар мен айырмашылықтарды, мемлекеттік саясаттың басым бағыттары мен оның тиімділігін анықтауға ерекше назар аударылды. Әсіресе, заңсыз және уақытша еңбек көші-қоны бойынша ресми ақпараттың шектеулі жағдайында қосымша индикатор ретінде халықаралық ақша аударымдары бойынша деректер пайдаланылды. Бұл деректер мигранттардың экономикалық белсенділігін ғана емес, сонымен қатар сыртқы еңбек көші-қонының ауқымын да көрсетеді. Аталған көрсеткіштер еңбек мигранттарының санын, қаражат алушы және жіберуші елдердің құрылымын жанама түрде бағалауға, сондай-ақ жылдар бойынша үрдістерді айқындауға мүмкіндік береді.

Көші-қон үдерістерін кеңістіктік визуализациялау және олардың географиялық таралуын талдау үшін ArcGIS және QGIS платформаларын қолдана отырып, геоақпараттық әдістер қолданылды. Құрастырылған тақырыптық карталар өңірлік айырмашылықтарды, көші-қон ағындарының бағыттарын, сондай-ақ аумақтардың әлеуметтік-экономикалық даму деңгейі мен көші-қон ауқымы арасындағы өзара байланысты көрсетуге мүмкіндік берді. Зерттеудің әдіснамалық негізі демография, социология, экономика, география және саясаттану элементтерін

қамтитын пәнаралық әдіснамалық тәсілге сүйенеді. Әдеби шолу, статистикалық талдау және геоақпараттық модельдеуді ұштастыра отырып қолдану Орталық Азия елдеріндегі көші-қонның сипаты, динамикасы мен салдары жөнінде кешенді және көпқырлы түсінік алуға мүмкіндік берді.

Әдебиетке шолу. Орталық Азиядағы көші-қон үдерістері ғылыми зерттеулердің өзекті бағыты болып қала береді, өйткені олар өңірдегі демографиялық дамуға, әлеуметтік-экономикалық жағдайға және мемлекеттік саясатқа айтарлықтай әсер етеді. Халықтың қозғалысының қай түрін алсақ та: еңбек, мәжбүрлі немесе этникалық көші-қон болсын – еңбек нарығына, әлеуметтік тұрақтылыққа және интеграциялық үдерістерге тікелей әсер етеді. Көші-қонның классикалық теорияларының қалыптасуы XIX ғасырдың аяғы мен XX ғасырдың басында басталды. Бұл теориялар халықтың қоныс аудару себептері мен тетіктерін түсіндіреді.

Көші-қонның алғашқы теоретиктерінің бірі – британдық демограф Эрнст Равенштейн өзінің "Көші-қон заңдары" (The Laws of Migration) атты еңбегінде [9] көші-қон үдерістерінің негізгі заңдылықтарын тұжырымдады. Ол, көші-қон, әдетте, кезең-кезеңімен жүретінін анықтады: алдымен қоныс аудару жақын қалаларға, содан кейін алыс аймақтарға ("сатылы көші-қон" принципі) өтеді. Равенштейннің пайымдауынша, көші-қонның негізгі ынталандырушысы – экономикалық факторлар: адамдар өмір сүру мен жұмыс істеуге қолайлы аймақтарды іздейді. Сондай-ақ ол әйелдердің көбіне ел ішінде қоныс аударатынын, ал ерлердің – шетелге шығатынын атап көрсетті. Американдық әлеуметтанушы Эверетт Ли Равенштейннің көзқарасын push және pull көші-қон факторларын бөліп көрсету арқылы толықтырды [10]. Ол төмен жалақыны, саяси тұрақсыздықты, экологиялық проблемаларды және болашақтың жоқтығын push факторларына (итермелеуші) жатқызды. Pull факторларына (тартушы) жоғары табыс деңгейі, тұрақтылық, әлеуметтік игіліктерге қол жетімділік және мансаптық өсу мүмкіндіктері кіреді. Экономистер Харрис пен Тодаро көші-қонды экономикалық рационалдық тұрғысынан түсіндіретін [11] үлгісін ұсынды. Олардың теориясы бойынша, әлеуетті мигранттар кететін және келетін өңірлердегі табыс айырмашылығына қарай шешім қабылдайды, тіпті уақытша жұмыссыздық жағдайында да көшуді жөн көреді. Көші-қонның заманауи тұжырымдамалары жаһанданудың, цифрлық технологиялардың және трансұлттық байланыстардың әсерін ескереді. Мысалы, Глик Шиллер, Баш және Блан-Сзантон трансұлттық көші-қон теориясын жасады [12]. Бұл тұжырымдамаға сәйкес, мигранттар өзінің отанымен байланысты үзбейді, екі қоғамда қатар өмір сүреді. Кастлз бен Миллер көші-қонның «тізбекті» сипатын түсіндіретін теория ұсынды: алғаш қоныс аударған адамдар кейінгілердің көшіп келуіне және бейімделуіне жәрдемдеседі [13].

Орталық Азия үшін қайтымды көші-қон тұжырымдамасының маңызы ерекше [14]. Ол аймақ елдері мен Ресей арасындағы қайталанатын көші-қон ағындарын түсіндіреді. Бұл үдеріс маусымдық және уақытша еңбек сапарларымен байланысты, ол көптеген отбасылар үшін экономикалық стратегияның негізгі элементіне айналған. Көші-қон үдерістерін түсіндірудің тағы бір тәсілі – Еңбек нарығының жаңа экономикасы теориясы (О. Старк [15]). Бұл теория бойынша, көші-қон туралы шешім жеке тұлға деңгейінде емес, отбасы не шаруашылық деңгейінде қабылданады, бұл қоныс аударуды анағұрлым стратегиялы етеді.

Қазіргі академиялық зерттеулерде зияткерлік көші-қон жаһандық көші-қон үдерістерінің орталық бағыттарының бірі ретінде қарастырылады. Классикалық тәсіл аясында, 1962 жылы Британдық Корольдік қоғамының баяндамасында негізделген «brain drain» (ақыл-ойдың сытылуы) ұғымы – ғалымдар мен білікті мамандардың шетелге жұмыс істеу үшін кетуі ретінде түсіндіріледі [16]. Кең мағынада бұл құбылыс ғылыми-техникалық қызметкерлердің ғана емес, сонымен қатар шетелде білім алып, сол жақта қалатын студенттер мен креативті индустрия өкілдерінің трансшекаралық көші-қонын да қамтиды. [17]. Ғылыми әдебиеттерде зияткерлік көші – қонды түсіндірудің екі негізгі тәсілі бар: "ақыл-ойдың сытылуына" бағытталған классикалық және қазіргі заманғы – "білім мен тәжірибе алмасу" (brain exchange). Біріншісі көші-қонды донор ел үшін шығын ретінде қабылдауды қамтиды (нөлдік ойын), ал екіншісі өзара тиімділікке және барлық тараптардың дамуына мүмкіндік ретінде қарастырылады.

COVID-19 пандемиясы көші-қондық өзгерістердің катализаторына айналып, білім беру, денсаулық сақтау және экономика салаларындағы цифрлық технологиялардың маңызды рөлін айқындады. Бұл үдерістер дамушы елдерден дарынды мамандардың кетуін үдетіп, технологиялық және инновациялық артта қалу қаупін күшейтті.

Дамыған мемлекеттер, әдетте, зияткерлік көші-қонның циркуляциялық моделіне көбірек тартылса, ал әлеуметтік-экономикалық және саяси тұрғыдан осал кіші мемлекеттер адам капиталының тұрақты жоғалуына тап болып отыр. Бұл олардың тұрақты даму әлеуетін әлсіретуде. Мұндай үрдіс Орталық Азия елдерінде де айқын байқалады – олар жоғары білім беру әлеуетіне ие болғанымен, жас мамандар мен ғалымдарды елде ұстап қалуға жағдай жасау жолында қиындықтарға тап болуда.

Тұрақты даму мақсаттарын (әсіресе, ТДМ 4 – Сапалы білім, ТДМ 8 – Дәйекті экономикалық өсім және лайықты еңбек, ТДМ 10 – Теңсіздікті азайту) жүзеге асыру аясында зияткерлік мигранттардың елге қайтуын ынталандыру, халықаралық ғылыми ынтымақтастықты нығайту және білім трансферінің тиімді тетіктерін қалыптастыру өңір үшін аса маңызды міндетке айналып отыр.

Соңғы онжылдықтарда зерттеушілер трансұлттық көші-қон ағындарына [18], көші-қонның аймақ елдерінің экономикалық дамуына әсеріне [19] және көші-қонды реттеу бойынша мемлекеттік стратегияларға [20] ерекше назар аударып келеді. Бұл тұрғыда Н. Т. Агафонов, А. А. Анохин, Д. И. Богорад, В. Г. Давидович, О. А. Константинов, С. Б. Лавров, Г. М. Лаппо, В. В. Покшишевский, Ж. А. Зайончковская, В. И. Переведенцев, Л. Л. Рыбаковский сияқты ғалымдардың еңбектері айтарлықтай үлес қосты. Олардың еңбектері кең ауқымды көші-қон үдерістерін, оның ішінде урбанистік және экономикалық аспектілерді қамтиды.

Қазақстандағы көші-қонды зерттеу Е. Ю. Садовская, А. Т. Забирова, Т. В. Климованың еңбектеріне негізделген, ал әлеуметтік-демографиялық аспектілер С. К. Өтешов, М. Тәтімәнов және басқа да ғалымдардың еңбектерінде қарастырылған. Орталық Азияның көші-қонын зерттеудің заманауи тәсілдері классикалық теорияларды, заманауи зерттеулер мен аймақтық ерекшеліктерді біріктіретін кешенді талдауды қажет етеді. Аймақтағы көші-қон тек экономикалық құбылыс емес, сонымен бірге, бұл оны ғылыми зерттеудің маңызды объектісіне айналдырған өмір сүрудің әлеуметтік стратегиясы болып табылады.

Нәтижелер. Соңғы онжылдықтарда Орталық Азия елдеріндегі халық саны сапалық және сандық тұрғыдан айтарлықтай өзгерістерге ұшырады. 2025 жылғы 1 қаңтардағы жағдай бойынша Орталық Азия елдерінің халқы шамамен 83 млн адамды құрады, оның ішінде Өзбекстанда – 37,7 млн адам, Қазақстанда – 20,3 млн адам, Тәжікстанда – 10,5 млн адам, Қырғызстанда – 7,3 млн адам, Түрікменстанда – 7,1 млн адам. Орталық Азия өңірі елдерінің әлеуметтік-экономикалық және демографиялық келбетін қалыптастыруда көші-қон үдерістері маңызды рөл атқарады. Соңғы онжылдықтар ішінде бұл аймақ бірқатар ірі трансформацияларды бастан кешірді. Атап айтқанда, Кеңес Одағының ыдырауы, нарықтық экономикаға көшу, урбандалу, сондай-ақ еңбек нарығының құрылымдық өзгерістері. Көші-қон (ішкі және сыртқы көші-қонды қатар алғанда) халықтың жаңа жағдайларға бейімделуінің негізгі нысандарының біріне және сонымен бірге ұлттық экономикалардың тұрақтылығына, инфрақұрылымның дамуына және әлеуметтік құрылымның өзгеруіне әсер ететін факторға айналды.

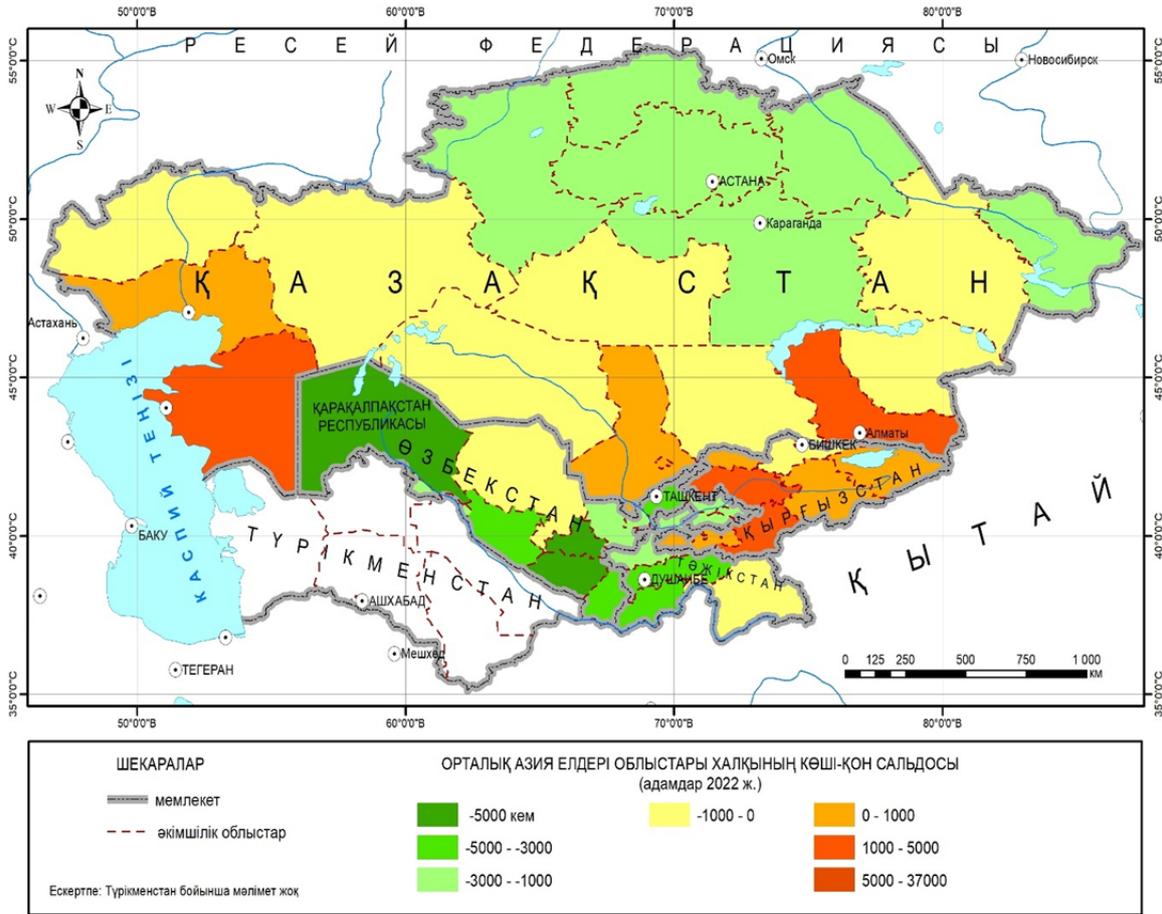
2010–2021 жылдар аралығындағы қазіргі Қазақстандағы көші-қон үдерістерінің ерекшеліктері бар. 2000 жылдардың соңынан бастап сыртқы көші-қон сальдосының азаюы тұрақты үрдіске айналды. 1990-жылдардағы дағдарыстан кейін алғаш рет 2012 жылы Қазақстанда көші-қон сальдосы теріс көрсеткішке ие болды (–1,4 мың адам). Халықтың ең көп кету үрдісі республиканың солтүстік және шығыс өңірлеріне тән. Бұл аймақтардан қоныс аударушылардың басым бөлігі славян тектес азаматтар, олардың шамамен 90%-ы Ресей Федерациясын қоныс аудару бағыты ретінде таңдайды (1-сурет). Оңтүстік өңірлерден қоныс аударушылар көбінесе Өзбекстан бағытында шоғырланған.

Ел үшін өзекті мәселелердің бірі – жоғары білікті мамандардың сыртқа кетуі (brain drain). Осыған байланысты соңғы жылдардағы көші-қон саясаты бизнес-иммиграция, сондай-ақ еңбек және этникалық мигранттар арасынан білікті кадрларды тартуға бағытталған.

Осы шаралардың нәтижесінде, 2022–2023 жылдары көші-қон сальдосының оң көрсеткішке ие болуы байқалды (2-сурет).

Қазақстандықтар үшін алыс шетелдер арасында ең танымал эмиграциялық бағыт – Германия.

Қырғызстан халық санына қатысты сыртқы көші-қонның ең жоғары деңгейімен сипатталады. 2000 жылдардың ортасынан бастап елдегі әлеуметтік-экономикалық жағдайдың нашарлауына байланысты көші-қон ағындарының күшеюі байқалды: жұмыс орындарының жетіспеушілігі,

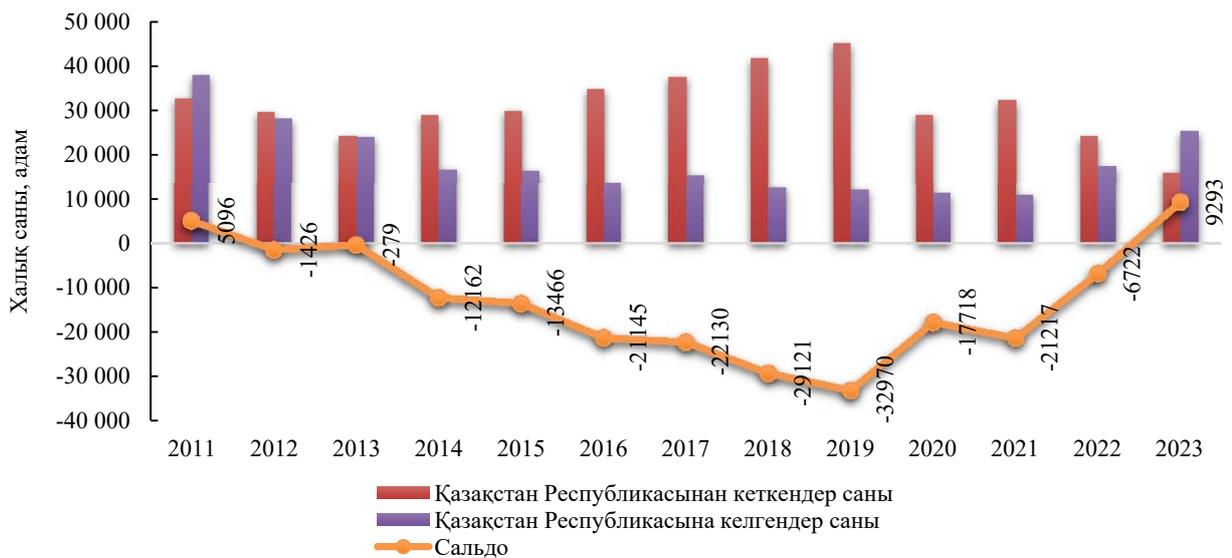


1-сурет – Орталық Азия елдері облыстары халқының көші-қон салдосы (адам 2022 ж.).

Ескерту: авторлар ArcGIS бағдарламасы көмегімен құрастырған карта

Figure 1 – Migration balance of the population of the regions of Central Asian countries (person 2022).

Note: map compiled by the authors using the ArcGIS program



2-сурет – 2010 жылдан 2023 жылға дейінгі кезеңдегі Қазақстан Республикасындағы көші-қон үдерістерінің серпіні. ҚР статистика агенттігінің ресми деректері <https://stat.gov.kz/ru/industries/social-statistics/demography/>

Figure 2 – Dynamics of migration processes in the Republic of Kazakhstan for the period from 2010 to 2023. Official data of the state agency of the Republic of Kazakhstan <https://stat.gov.kz/ru/industries/social-statistics/demography/>



3-сурет – 2011-2023 жылдар аралығындағы Қыргызстандағы көші-қон үдерістерінің серпіні.
 ҚР Ұлттық статистика комитетінің ресми деректері <https://www.stat.gov.kg/ru/statistics/naselenie/>

Figure 3 – Dynamics of migration processes in Kyrgyzstan from 2011 to 2023.

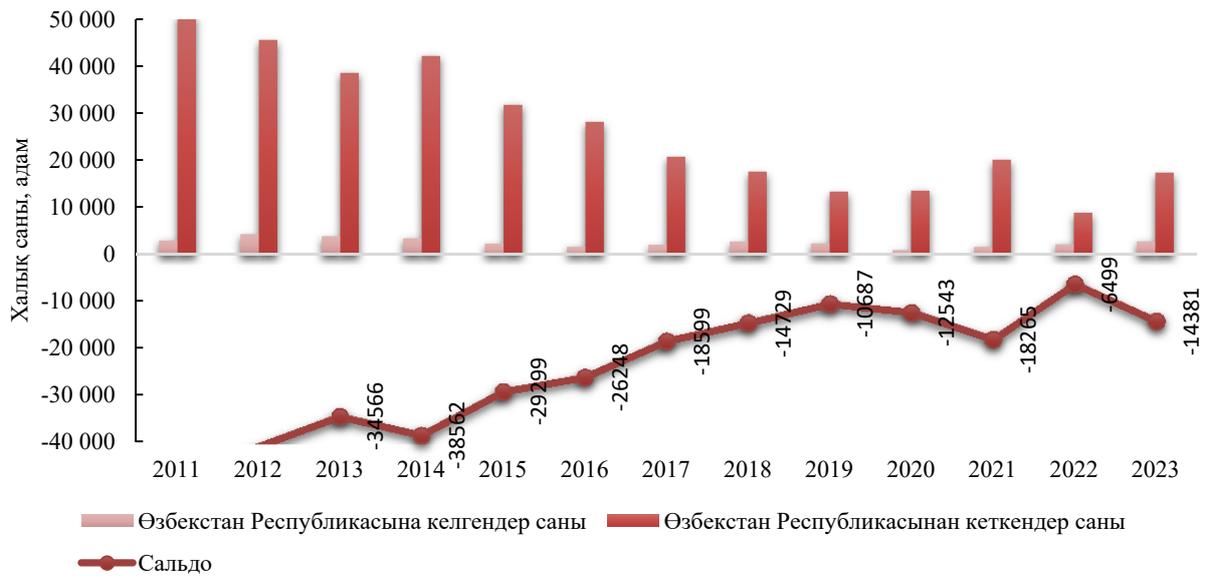
Official data of the National Statistics Committee of the Republic of Kazakhstan <https://www.stat.gov.kg/ru/statistics/naselenie/>

жұмыспен қамтылған азаматтар арасында күнкөріс деңгейінің төмендігі, сондай-ақ халықты әлеуметтік қолдау шараларының болмауы. 2022 жылы көші-қон балансының +5 917 адамға жетіп, оң сипат алуы – елдегі көші-қон көрінісіндегі маңызды өзгеріс болып табылады (1 және 3-сурет).

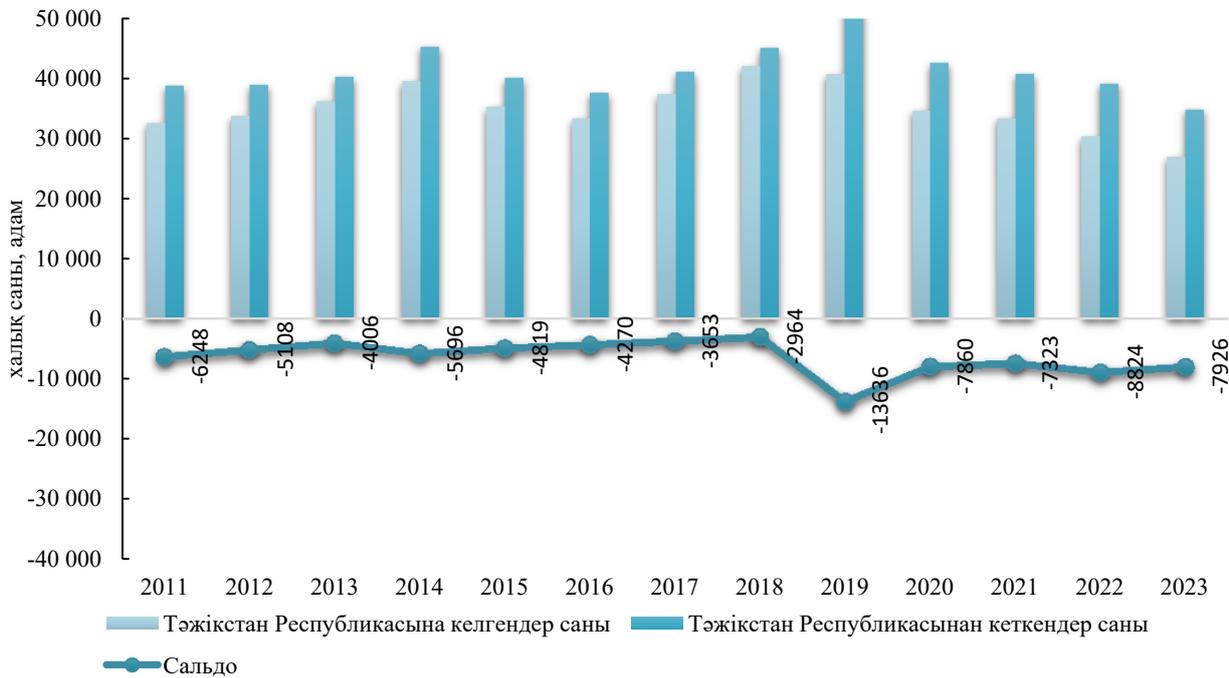
Қыргызстанның көші-қон саласындағы мемлекеттік саясаты негізінен көші-қонының динамикасын қолдауға бағытталған, бұл ішкі еңбек нарығын тұрақтандыруды көздейді. Алайда, зияткерлік эмиграцияның "жасаруы" ерекше алаңдаушылық туғызуда. Бұл елде білім беру, ғылым және өнеркәсіп салаларында білікті мамандардың жетіспеушілігіне әкеп соғуда. Эмигранттардың басым бөлігі Ресейге (89%) қоныс аударады (1-сурет). Ұлттық құрамына келсек, Ресейге кететіндердің ішінде қырғыздар, өзбектер және орыстар бар. Ал Қазақстанға қоныс аударатындардың ішінде қырғыздар басым. Өзбекстанға көшетіндердің көпшілігін этникалық өзбектер құрайды – олар жалпы мигранттар санының үштен екісінен астамын құрайды.

Соңғы елу жылда *Өзбекстан* халқы үш есеге жуық өсіп, 2023 жылы 35 миллионнан асты. Халықтың едәуір бөлігі – жастар (60%-ға дейін), бұл елде жыл сайын 500–600 мың адамға артып отыратын еңбек ресурстарының тұрақты өсуіне себеп болуда. Осылайша еңбек әлеуетінің 40%-дан астамы Өзбекстанға тиесілі, бұл оны Орталық Азиядағы жетекші елдердің біріне айналдырады. 4-суреттен байқағанымыздай, қазіргі заманғы маңызды үрдіс – сыртқы көші-қонның жалпы көлемінің қысқаруы, яғни елге келу мен елден кету ағындарының азаюы. Бұл ретте эмиграциялық ағынның азаюы ерекше байқалады. Көші-қон ағынының төмендеуіне ықпал еткен жағымды үрдістер – елде жүргізіліп жатқан экономикалық реформалар мен әлеуметтік-экономикалық жағдайдың жақсаруы. Жұмыс орындарының көбеюі, табыс деңгейінің өсуі мен өмір сүру жағдайының жақсаруы алдағы уақытта сыртқы еңбек көші-қоны көлемін азайтуға мүмкіндік береді. Сонымен қатар, Ресей Өзбекстаннан шыққан мигранттар үшін негізгі бағыт ретінде қалуда. Қазақстан да Өзбекстан үшін маңызды көші-қон серіктесі саналады. Соңғы жылдары Оңтүстік Корея және Түркиямен де еңбек нарығына бағытталған орталықтандырылған бағдарламалар арқылы ынтымақтастық артып келеді.

Тәжікстанда халық санының жедел өсу қарқыны (2000–2024 жылдар аралығында халық саны 40%-ға артты) және еңбекке қабілетті жастағы тұрғындар үлесінің ұлғаюы (2020 жылы – 59,8%) бұл елді демографиялық тұрғыдан ең белсенді мемлекеттердің біріне айналдырды. Алайда, ел әлі де экономикалық тұрғыдан ең осал мемлекеттердің қатарына кіреді. 2000 жылдан 2023 жылға дейінгі кезеңде Тәжікстан жаппай көші-қон ағынынан бастап, көші-қондық сальдоның нөлдік деңгейіне дейінгі жолдан өтті, бұл соңғы жылдары елдегі әлеуметтік-экономикалық жағдайдың белгілі бір тұрақтануын көрсетеді (5-сурет).



4-сурет – 2010-2023 жылдар аралығындағы Өзбекстандағы көші-қон үдерістерінің серпіні. Статистика бойынша ӨРҮК ресми деректері <https://www.stat.uz/ru/ofitsialnaya-statistika/demography>
 Figure 4 – Dynamics of migration processes in Uzbekistan in the period from 2010 to 2023. Official data of the NSC of RU on statistics <https://www.stat.uz/ru/ofitsialnaya-statistika/demography>



5-сурет – Тәжікстан Республикасындағы көші-қон үдерістерінің серпіні 2010-2023 жж. ТР Статистикасы бойынша ресми ақпарат агенттігінің деректері <https://www.stat.tj/ru/vypushen-statisticheskij-sbornik-demograficheskij-ezhegodnik-respubliki-tadzhikistan-2024/>
 Figure 5 – Dynamics of migration processes in the Republic of Tajikistan in 2010-2023. Data from the official news agency on Statistics of TR <https://www.stat.tj/ru/vypushen-statisticheskij-sbornik-demograficheskij-ezhegodnik-respubliki-tadzhikistan-2024/>

ЖІӨ жылына 7% деңгейінде тұрақты өсіп келе жатқанына қарамастан, жұмыс орындарының өсу қарқыны айтарлықтай төмен – небәрі 1,1%, бұл әсіресе жастар үшін жеткілікті жалақысы жоғары бос жұмыс орындарымен қамтамасыз етуге мүмкіндік бермейді.

Азаматтық соғыс аяқталғаннан кейін Тәжікстаннан шығатын көші-қон ағындарының географиясы кеңейіп, оған Қазақстан, Қытай, БАӘ, Ауғанстан, АҚШ және Оңтүстік Корея елдері қосылды [21].

Осылайша, Орталық Азия елдерінде халық санының табиғи өсу қарқыны жоғары болып, еңбекке жарамды азаматтардың саны артқанымен, жұмыссыздық деңгейінің жоғарылығы мен еңбекақының төмендігі салдарынан сыртқы көші-қонда негізінен жұмыс күшінің еңбек көші-қоны басым [22].

Аталған үдерістер БҰҰ-ның Тұрақты даму мақсаттарының 8-мақсатымен тығыз байланысты, ол тұрақты экономикалық өсуді ынталандыруға, толық және өнімді жұмыспен қамтуды қамтамасыз етуге, сондай-ақ лайықты еңбек жағдайларын қалыптастыруға бағытталған.

Географиялық ерекшеліктеріне байланысты Тәжікстан Орталық Азия елдерінің ішінде климаттың өзгеруіне ең осал мемлекет болып саналады. Елдің климаттық өзгерістер салдарымен күресу бейімділігі төмен және табиғи апаттар қаупіне ұшырағыштығы жоғары. Ел аумағының басым бөлігі құрғақ және шөлейтті аймақтарға жатады. Климаттық қауіптер ауыл шаруашылығының дамуына айтарлықтай кері әсерін тигізіп, топырақтың құнарлылығын төмендетеді, жер деградациясын тудырады және табиғи апаттардың жиілеуіне алып келеді. Тәжікстанда жыл сайын 500-ге жуық табиғи апат тіркеліп, олардың салдарынан экономикаға келетін шығын көлемі 20-дан 100 миллион АҚШ долларына дейін жетеді. Мұздықтардың еруі, негізгі өзен ағысының ауытқуы және оның электр энергиясын өндіруге, ауыл шаруашылығының өнімділігіне әсері елдің экономикалық дамуына тікелей ықпал етеді. 2023 жылы елдің ЖІӨ 8,3%-ға өсіп, 11 855 млн АҚШ долларына жеткенімен, жан басына шаққандағы ЖІӨ небәрі 1 141 долларды құрап, бұл көрсеткіш өңірдегі ең төменгілердің бірі болып қалуда.

Тәжікстанның экономикасы жеткілікті түрде әртараптандырылмаған және сыртқы қарыз дағдарысы қаупі жоғары болғандықтан, ел еңбек мигранттарының ақша аударымдарына қатты тәуелді. Сонымен қатар, көші-қон 1990-жылдары басталған деиндустриализация және деурбандалу үдерістерімен тығыз байланысты. Қазіргі таңда еңбек мигранттарының ақша аударымдары елдің жалпы ішкі өнімінің шамамен 40%-ын құрайды – бұл әлем бойынша салыстырмалы түрде ең жоғары көрсеткіштердің бірі (6-сурет).



6-сурет – 2023 жылғы еңбек мигранттарының ақша аударымдарының ЖІӨ-дегі үлесі (%).

Ескерту: авторлар https://www.migrationdataportal.org/international-data?i=stock_abs_origin&t=2024&cm49=398 дереккөз негізінде құрастырған

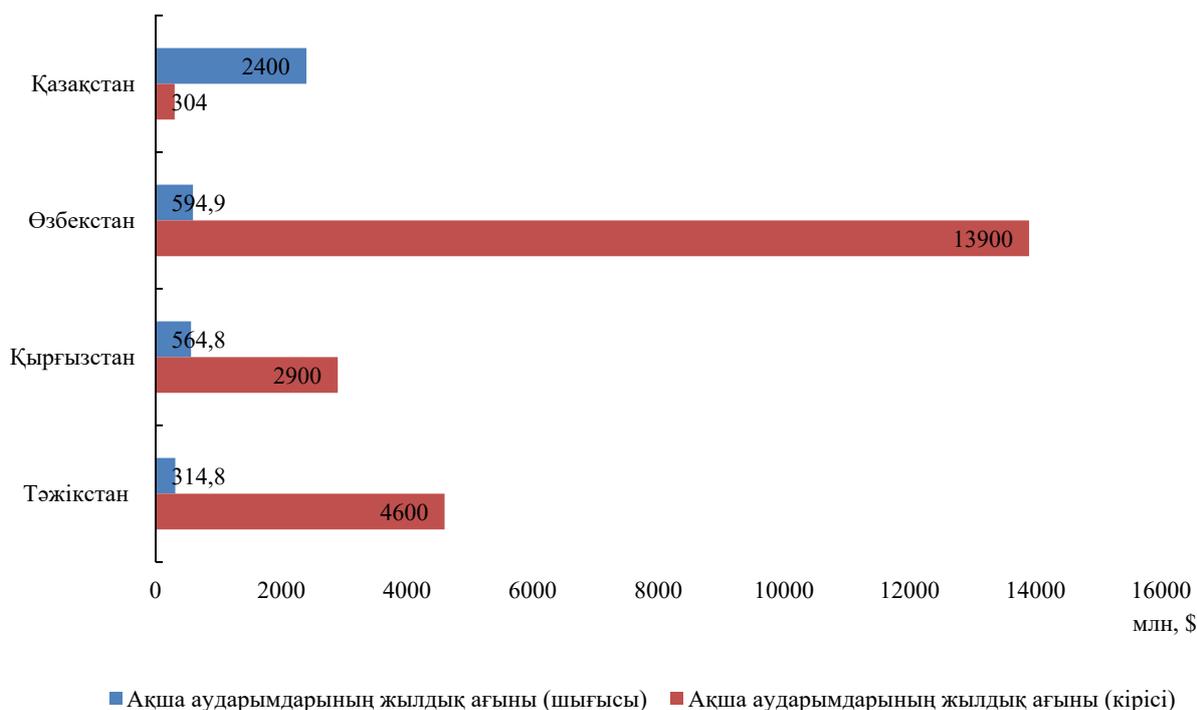
Figure 6 – Share of migrant money transfers in GDP in 2023 (%).

Note: authors compiled on the basis of a source

https://www.migrationdataportal.org/international-data?i=stock_abs_origin&t=2024&cm49=398

Сондай-ақ, Қырғызстандағы аударымдардың үлесі жоғары, 2023 жылы елдің ЖІӨ-нің 22,3%-ын құрады. Қырғызстанға ақша аударымдарының негізгі көзі Ресей болып табылады, ол жалпы ағынның 93% құрайды. Бұл қырғыз еңбек мигранттарының едәуір бөлігі Ресей Федерациясында жұмыс істейтіндігімен түсіндіріледі.

2000 жылдардың басынан бастап еңбек мигранттары елдердің сыртқы кірістерінің негізгі көзіне айналды, бұл Орталық Азия елдері мен Ресей арасындағы тұрақты көші-қон байланыстарының қалыптасуына әкелді. Еңбекке қабілетті халықтың елеулі бөлігі елден тыс табыс тауып, демографиялық өсім экономикалық дамудың ажырамас факторы болып отыр. Ақша аударымдары кедейліктің деңгейін төмендетуде, әлеуметтік қабаттасудың (социальное расслоение) өршуін азайтқанда, ішкі тұтынуды ынталандыруда және валюталық тұрақтылықты қамтамасыз етуде маңызды рөл атқарады, бұл ішкі және елдер арасындағы теңсіздікті азайтуды мақсат еткен ТДМ 10 міндеттерімен тікелей байланысты. Шетелде алынған тәжірибе мигранттардың біліктілігін арттыруға ықпал етіп, олардың елге қайтуы экономикаға оң әсер етуі мүмкін. Дегенмен, сыртқы еңбек нарықтарына тәуелділіктің жоғары болуы ұлттық экономиканың осалдық деңгейін күшейтіп, сыртқы экономикаға тәуелділікті қалыптастырады және ішкі өндірісті дамытудың алдын алады. Осы тұрғыдан еңбек көші-қоны ішкі әлеуметтік-экономикалық диспропорцияларға бейімделу механизмі ретінде де, ТДМ 8 аясында белгіленген стратегиялық міндеттердің жүзеге асуына шектеу келтіретін фактор ретінде де қызмет етеді.



7-сурет 2023 жылғы Орталық Азия елдеріне және елдерінен келетін ақша аударымдарының көлемі (Түрікменстан бойынша деректер жоқ) (АҚШ долларымен).

Ескерту: авторлар https://www.migrationdataportal.org/international-data?i=stock_abs_origin&t=2024&cm49=398 дереккөз негізінде құрастырған

Figure 7 – The volume of money transfers to and from Central Asian countries in 2023 (no data for Turkmenistan) (in US dollars).

Note: authors compiled on the basis of a source

https://www.migrationdataportal.org/international-data?i=stock_abs_origin&t=2024&cm49=398

7-суретте көрсетілгендей, 2023 жылы ақша аударымдарының түсуі бойынша көшбасшылар қатарында Өзбекстан (13,9 млрд. АҚШ долл.), Тәжікстан (4,6 млрд. АҚШ долл.) және Қырғызстан (2,9 млрд. АҚШ долл.) болды. Қазақстан 2023 жылы ақша аударымдарының түсімі бойынша ең төменгі орынды иеленді (304 млн. АҚШ долл.). Ал ақша аударымдарының кетуі жағынан жағдай

мүлде басқаша: мұнда Қазақстан көшбасшы болып, кету көлемі 2,4 млрд АҚШ долларын құрады. Қазақстан тәуелсіздік жылдары негізінен көмірсутектер экспортына негізделген экономикалық даму моделін қалыптастырды және аймақтағы экономикалық даму деңгейі бойынша алдыңғы қатарда тұр. 2023 жылы елдің жалпы ішкі өнімі (ЖІӨ) 263,372 млн АҚШ долларын құрады, бұл өткен жылмен салыстырғанда 5,1%-ға артық. ЖІӨ бір тұрғынға шаққанда 13,261 АҚШ долларын құрады. Бұл көрсеткіштер Қазақстанды Орталық Азияның көші-қон жүйесіндегі донор ел ретінде сипаттайды.

Кесте деректеріне сәйкес, барлық ұсынылған елдерде Түркияға қоныс аударушылар санының айтарлықтай өсуі байқалады. Өзбекстаннан шыққан мигранттардың саны 2010 жылы 575 адамнан 2019 жылы 25 064 адамға дейін артқан. АҚШ-та тәжік мигранттарының саны 2010 жылы 210 болса, 2019 жылы 1069 адамға жеткен. Германияға көші-қон көрсеткіші 2010 жылы 235 адамнан 2019 жылы 1180 адамға көбейген (кесте). Бұл жағдай босқын мәртебесін алу немесе отбасын қайта біріктіру мүмкіндіктерімен байланысты болуы мүмкін. Сонымен қатар, Жапония мен Польшаға көші-қон Өзбекстан азаматтарының Еуропа мен Азияға еңбек көші-қонына деген қызығушылығының артуын көрсетеді.

Орта Азиядан басқа елдерге көші-қон
Migration from Central Asia to other countries

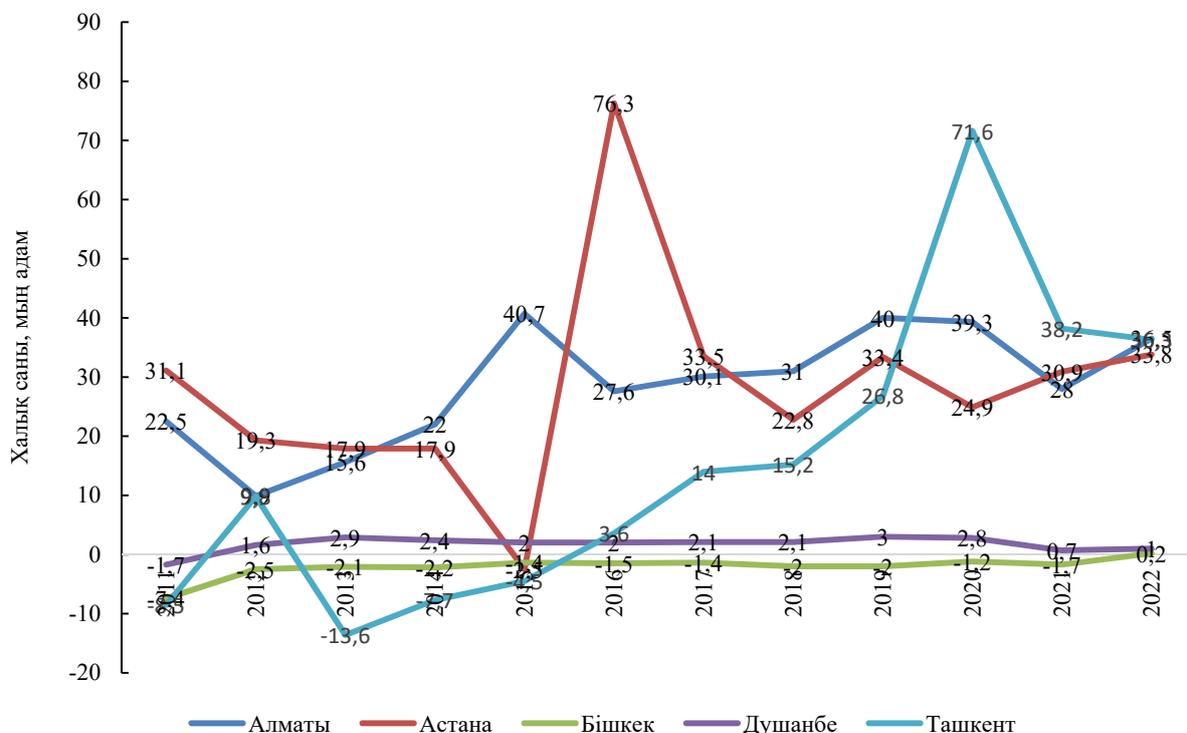
Мемлекет	Көші-қон ағындары
Қазақстан	Туркия: 1365 (2010 г.), 9950 (2019 г.), Корея: 755 (2010 г.), 12469 (2019 г.)
Қырғызстан	Туркия: 1046 (2010 г.), 9950 (2019 г.), Корея: 1262 (2019 г.)
Тәжікстан	Туркия: 83 (2010 г.), 2350 (2019 г.), АҚШ: 210 (2010 г.) 1069 (2019 г.) Германия: 235 (2010 г.), 1180 (2019 г.)
Өзбекстан	Туркия: 575 (2010 г.), 25064 (2019 г.), Корея: 8567 (2010 г.) 25961 (2019 г.) Япония: 425 (2010 г.), 927 (2019 г.) Польша: 161 (2010 г.) 1118 (2019 г.)
<p><i>Дереккөз:</i> ЭЫДҰ (Экономикалық ынтымақтастық және даму ұйымы) көші-қон дерекқоры https://www.oecd.org/en/data/datasets/database-on-immigrants-in-oecd-and-non-oecd-countries.html. <i>Source:</i> OECD (Organization for Economic Cooperation and development) migration database https://www.oecd.org/en/data/datasets/database-on-immigrants-in-oecd-and-non-oecd-countries.html.</p>	

Орталық Азия елдерінің көші-қон үдерістеріне негізінен еңбекке жарамды жасөспірімдер қатысады және бұл үдеріс білікті кадрлардың ағымына алып келеді. Бір жағынан, зияткерлік көші-қон кадрлардың жоғалуына және аймақ елдерінің ғылыми-білім беру әлеуетінің төмендеуіне әсер етуі мүмкін. Екінші жағынан, тиімді «ақыл-ойдың айналымы» саясаты, халықаралық академиялық ынтымақтастық және мамандардың елге оралуына қолайлы жағдай жасау арқылы бұл үдеріс білім деңгейін арттыруға, экономиканы модернизациялауға және инновацияларды енгізуге маңызды құралға айнала алады, бұл өз кезегінде тұрақты даму мақсаттарына қол жеткізуге ықпал етеді.

Бірегей Түрікменстанды геосаяси және ақпараттық тұрғыдан оқшауланған елдердің бірі ретінде атап өту керек, бұл ондағы көші-қон үдерістері туралы салалық статистиканың жетіспеушілігін түсіндіреді. Демографиялық деректер негізінен көршілес елдердің статистикалық мәліметтерінен алынады, ол толық және нақты жағдайды көрсете алмайды. Жалпы, Түрікменстан халқының демографиялық сипаттамасы бойынша дереккөздер, ең алдымен, ұлттық статистика органдары ұсынатын ақпараттың сенімсіздігіне немесе мүлдем болмауына байланысты өте қайшылықты сипатқа ие. Түрікменстанның көші-қон моделі шектеуші сипатта болуымен қатар, мемлекет халықтың сыртқы көші-қонын барынша бақылауда ұстайды. Алайда, Түрікменстан авторларының қатысуымен жарияланған басылымдарда мұндай шектеулердің болуы туралы пікірлер жоққа шығарылады. Бүгінгі таңда Түрікменстанның мемлекеттік органдары өз азаматтарының шетелге шығуын, соның ішінде білім беру сапарларын да жасанды түрде шектейді.

Көптеген посткеңестік елдердегідей, Орталық Азияда да ауылдық жерлерден қалаларға көшу үдерісі қарқынды жалғасуда. Ауыл тұрғындары еңбекке орналасу, білім алу және медициналық қызметтерге қолжетімділікті жақсарту мақсатында Алматы (2023 жылы 2,195 млн адам), Ташкент (2023 жылы 2,956 млн адам), Бішкек (2024 жылы 1,2 млн адам) және Ашхабад (1 млн адам) сияқты ірі қалаларға қоныс аударуда. Аталған үрдіс бір жағынан қалалық кеңістікті жаңғыртуға серпін

берсе, екінші жағынан қалалық инфрақұрылым мен экологиялық жүйеге түсетін салмақты күшейтеді. Халықтың урбандалған орталықтарға шоғырлануы ауыл аймақтарындағы демографиялық және еңбек ресурстарының сарқылуына себеп болып, мигранттардың заңсыз тұруы мен бейресми жұмыспен қамтылу жағдайында қалаларды жоспарлау үдерісін одан әрі күрделендіреді. Аталған сұрақтар БҰҰ-ның Тұрақты даму мақсаттарының 11-мақсатын («Тұрақты қалалар мен елді мекендер») жүзеге асыру аясында өзекті болып табылады.



8-сурет – ОА негізгі қалалары бойынша көші-қон сальдосы (Астана, Алматы, Ташкент, Бішкек, Душанбе).
ОА елдерінің Статистика агенттігінің ресми деректері.

Figure 8 – Migration balance for the main cities of Central Asia (Astana, Almaty, Tashkent, Bishkek, Dushanbe).
Official data of the statistics agency of the countries of CA.

<https://stat.gov.kz/ru/industries/social-statistics/demography/>; <https://www.stat.gov.kg/ru/statistics/naselenie/>;
<https://www.stat.uz/ru/ofitsialnaya-statistika/demography/>;

<https://www.stat.tj/ru/vypushen-statisticheskij-sbornik-demograficheskij-ezhegodnik-respubliki-tadzhikistan-2024/>

Мәселен, 8-суреттің деректері бойынша Алматы жоғары өмір сүру, жұмыспен қамту және дамыған инфрақұрылымның арқасында халықты тартудың орталығы болып қала береді. Халықтың ерекше жоғары ағыны 2015 жылы (+41 мың), 2019 жылы (+40 мың) және 2022 жылы (+37 мың) байқалды. Астанада 2016 жылы көші-қон үдерісінің күрт өсуі байқалды, бұл әлеуметтік-экономикалық даму бойынша мемлекеттік бағдарламалардың іске асырылуы және құрылыс саласының қарқынды өсуімен байланысты болды. Ташкенттің көші-қон динамикасы 2013–2016 жылдардағы теріс көрсеткіштен тұрақты оң сальдоға өтуін көрсетеді. Оң баланс экономикадағы либерализациямен, жұмыспен қамтудың өсуімен және астанадағы жағдайдың жақсаруымен байланысты. 2020 жылы ішкі көші-қонның (медициналық қызметтер, баспана, жұмыс іздеу) нәтижесінде ең жоғары көрсеткіш – +71,6 мың адам тіркелді. Оң көші-қон динамикасы астананың экономикалық орталық ретіндегі рөлінің күшеюін білдіреді. Душанбе 2012 жылдан бері тұрақты оң баланс пен тұрақты оң көші-қон динамикасын көрсетеді, бұл жалпы Тәжікстандағы урбандалу жағдайында қаланың тартымдылығының артуын білдіруі мүмкін. Қалалар арасында тек Бішкек қаласында көші-қон сальдосы дерлік барлық жылдарда теріс болып отыр. Қала ұзақ уақыт бойы көші-қон тұрғысынан халықты жоғалтты, бұл негізінен экономикалық қиындықтар, төмен жұмыспен қамту немесе халықтың эмиграциясымен байланысты.

Талқылау. Тұрақты даму мақсаттарының 17-ші мақсаты – «Тұрақты дамудың мүддесіндегі еріптестік» аясында көші-қонды реттеу және мигранттардың лайықты еңбек жағдайларын қамта-

массыз ету саласындағы мемлекетаралық ынтымақтастықтың маңызы артады. Осы мақсатқа жету үшін Орталық Азия елдеріне көші-қон заңнамасын үйлестіру, еңбек мигранттарының әлеуметтік қорғалу стандарттарын біріздендіру және өңірлік әрі халықаралық бастамалар шеңберіндегі диалогты жандандыру қажет.

Бүгінгі күнге дейін көші-қон саласында көптеген халықаралық құқықтық құжаттар ратификацияланды. Олардың қатарында Орталық Азияның барлық елдерінің еңбек мигранттарының және олардың отбасыларының құқықтарын қорғау жөніндегі БҰҰ Конвенциясына қосылуы, Тәуелсіз Мемлекеттер Достастығы (ТМД) қатысушы мемлекеттерінің еңбек мигранттарының және олардың отбасыларының құқықтық мәртебесі туралы Конвенциясы, ТМД елдері арасындағы еңбек көші-қоны саласындағы ынтымақтастық туралы Келісім, Қазақстан мен Қырғызстан үшін ЕАЭО аясындағы Келісімдер, Алматы үдерісі – Орталық Азиядағы көші-қон және босқындарды қорғау мәселелері бойынша өңірлік диалог (UNHCR және ИОМ қолдауымен), Еңбек көші-қоны жөніндегі Орталық Азия бастамасы (ILO, IOM) – көші-қонды басқару, мигранттардың осалдықтарын төмендету және статистиканы жақсарту жобалары, екі мемлекет арасындағы еңбек көші-қоны туралы келісімдер және басқа да құжаттар бар.

Көптеген мемлекетаралық келісімдердің болуына қарамастан, олардың іске асырылуында бірқатар проблемалар бар, мұнда Түрікменстан көбінесе ерекшеленіп, көптеген келісімдерге қатыспайды. Сонымен қатар, өңірлік құқықтық механизмнің болмауы, мигранттардың құқықтарының жеткіліксіз сақталуы, рәсімдеудің күрделілігі және басқа да кедергілер байқалады. Аймақ мемлекеттері арасындағы тиімді үйлестіру мигранттардың осалдық деңгейін төмендетуге, олардың құқықтық қорғалуын арттыруға және әлеуметтік тұрақтылықты нығайтуға ықпал етеді.

Қорытынды. Орталық Азия жоғары көші-қон мобильділігіне ие өңір болып қала береді. Экономикалық даму, тарихи, саяси және экологиялық факторлар Орталық Азиядағы көші-қон үдерістеріне айтарлықтай ықпал етуді жалғастырып, ішкі және сыртқы мигрант ағындарын қалыптастырады. Орталық Азия елдерінің сыртқы көші-қонында ең маңызды бағыттардың бірі – еңбек көші-қоны, оған еңбекке қабілетті халықтың едәуір бөлігі қатысады, ал ақша аударымдары еңбек мигранттарының отбасыларына маңызды экономикалық қолдау болып табылады.

Мемлекетаралық көші-қонда негізгі еңбек күші донорлары ретінде Қырғызстан, Тәжікстан және Өзбекстан алға шығады, ал Қазақстан өңірдің негізгі экономикалық орталығы және еңбек мигранттары үшін тартымды ел болып отыр. Өзбекстан, Қырғызстан және Тәжікстан азаматтары үшін басты тартымдылық орталығы – Ресей Федерациясы. Әсіресе жастар арасында көші-қонның баламалы бағыттары ретінде Оңтүстік Корея, Түркия, БАӘ, Еуропа елдері және АҚШ танымал. Зияткерлік көші-қон – қазіргі Орталық Азиядағы көші-қон үдерістерінің маңызды бағыттарының бірі. Тұрақты даму мақсаттарының контекстінде білікті мамандардың өңірден тысқа ағымы тұрақты даму үшін әрі сын-қатер, әрі әлеует болып табылады.

Орталық Азиядағы көші-қон бағыттары өңірішілік қозғалыстарды, яғни ауылдық аймақтардан қалаларға көшіп-қонуын қамтиды. Урбандалу үдерістері мен өмір сүру деңгейін жоғарылатуға ұмтылыс ірі мегаполистерге – Алматы, Астана, Ташкент, Бішкек, Душанбе және т.б. – жаппай қоныс аударуға әкеледі.

Сыртқы көші-қон еңбек күші донорлары елдерінің ЖІӨ-іне айтарлықтай үлес қосса, ішкі көші-қон қалалардың дамуын ынталандырады, бұл өз кезегінде жаңа сын-қатерлер мен мүмкіндіктерді тудырады. Көші-қон саясаты мен интеграциялық үдерістерді оңтайландыру өңір елдеріне көші-қон әлеуетін тұрақты даму үшін тиімді пайдалануға мүмкіндік береді.

Талдау көрсеткендей, Орталық Азиядағы көші-қон Тұрақты даму мақсаттарына (ТДМ) қол жеткізуге үлес қосады, алайда реттеудің неғұрлым тиімді тетіктерін талап етеді. Көші-қон саясатын жетілдірудің маңызды бағыттары келесі пункттерді қамтиды:

1. Еңбек мигранттарын әлеуметтік қорғауды қамтамасыз ету (ТДМ 8 – лайықты жұмыс және экономикалық өсу, ТДМ 10 – теңсіздікті азайту).
2. Мигранттарды құқықтық қорғау және еңбек жағдайларын жақсарту арқылы мемлекеттік қолдауды күшейту (ТДМ 16 – Бейбітшілік, сот төрелігі және тиімді институттар).
3. Ішкі көші – қонның өсуіне бейімделу және еңбекке қабілетті халықтың көші-қон ағынының қарқынын төмендету үшін инфрақұрылымды, ұлттық өндірісті және қалалық ортаны дамыту (ТДМ 11 – Тұрақты қалалар мен елді мекендер).

4. Көші-қон ағындарын бақылаудың және мемлекетаралық қауіпсіздікті нығайтудың келісілген тетіктері үшін өңірдегі халықаралық ынтымақтастықты кеңейту.

Қаржыландыру. Бұл ғылыми-зерттеу «Қазақстан-Орталық Азия» форматындағы ынтымақтастықтың аймақтық векторы» ЖТН АР19680321 атты Қазақстан Республикасы Ғылым және жоғары білім министрлігінің гранттық қаржыландыру жобасы аясында дайындалды.

ӘДЕБИЕТ

- [1] World Bank SDG Atlas, [Электрон. ресурс]. – 2024. – URL: <https://datatopics.worldbank.org/sdgatlas?lang=en>
- [2] Цели устойчивого развития: Официальный сайт ООН [Электрон. ресурс]. – 2025. – URL: <https://unstats.un.org/sdgs/report/2024/The-Sustainable-Development-Goals-Report-2024.pdf>
- [3] Агентство по статистике при Президенте Республики Таджикистан [Электрон. ресурс]. – 2025. – URL: <https://www.stat.tj>
- [4] Национальный статистический комитет Кыргызской Республики [Электрон. ресурс]. – 2025. – URL: <https://www.stat.gov.kg>
- [5] Национальный комитет по статистике Республики Узбекистан [Электрон. ресурс]. – 2025. – URL: <https://www.stat.uz>
- [6] Государственный комитет Туркменистана по статистике [Электрон. ресурс]. – 2025. – URL: <https://www.stat.gov.tm>
- [7] Бюро национальной статистики Агентства по стратегическому планированию и реформам Республики Казахстан [Электрон. ресурс]. – 2025. – URL: <https://stat.gov.kz>
- [8] Международная организация по миграции [Электрон. ресурс]. – 2025. – URL: <https://kazakhstan.iom.int/ru/dannye-i-resursy>
- [9] Ravenstein E.G. The Laws of Migration // Journal of the Statistical Society of London, 1885, June. – Vol. 48, No. 210.
- [10] Everett S. Lee A Theory of Migration // Demography. – 1966. – Vol. 3, No. 1.
- [11] John R. Harris and Michael P. Todaro. Migration, Unemployment and Development: A Two-Sector Analysis. – 1970. – Vol. 60, No. 1. – P. 126-142.
- [12] Glick Schiller, Basch & Blanc-Szanton. Towards a Transnational Perspective on Migration: Race, Class, Ethnicity, and Nationalism Reconsidered // Article in Annals of the New York Academy of Sciences. – 1992 January.
- [13] Castles, S. and Miller, M.J. – The age of migration. International population movements in the modern world. MacMillan Press LTD – London, 1998.
- [14] Hein de Haas. A theory of migration: the aspirations-capabilities framework. – 2021.
- [15] Oded Stark and David E. Bloom. The New Economics of Labor Migration // Papers and Proceedings of the Ninety-Seventh Annual Meeting of the American Economic Association (May, 1985). – 1985. – Vol. 75, No. 2. – P. 173-178.
- [16] Balmer B., Godwin M., Gregory J. The Royal Society and the “brain drain”: natural scientists meet social science // Notes and Records of The Royal Society. – 2009. – № 63(4). – P. 339-353.
- [17] Li W., Lo L., Lu Y., et al. Intellectual migration: considering China // Journal of Ethnic and Migration Studies. – 2020. – № 47(12). – P. 2833-2853. DOI: 10.1080/1369183X.2020.1739393
- [18] Садовская Е.Ю. Некоторые политические аспекты эмиграции русскоязычного населения из Казахстана // Современные этнополитические процессы и миграционная ситуация в Центральной Азии / Под ред. Г. Витковской. – М.: Центр Карнеги, 1998. – Pomfret, 2019.
- [19] Richard Pomfret. – 2019 (Jan 15). – The Central Asian Economies in the Twenty-First Century: Paving a New Silk Road.
- [20] Marlene Laruelle. – Central Peripheries: Nationhood in Central Asia. – 2021. – P. 1-14.
- [21] Дадабаева З. А. Независимое развитие Республики Таджикистан в период с 1991 по 2021 год // Геоэкономика энергетики. – 2022. – № 1(17). – С. 61-79.
- [22] Nyussupova, G., Aidarkhanova, G., Kenespayeva, L., Kelinbayeva, R., International Journal of Geoinformatics. – 2022. – No. 18 (1 Special Issue). – P. 15-25. Analysis of Human Capital in the Republic of Kazakhstan through GIS: Regional Aspect.

REFERENCES

- [1] World Bank SDG Atlas, [Electronic. resource]. 2024. – URL: <https://datatopics.worldbank.org/sdgatlas?lang=en>
- [2] Sustainable Development Goals: The official website of the United Nations [Electron. resource]. 2025. – URL: <https://unstats.un.org/sdgs/report/2024/The-Sustainable-Development-Goals-Report-2024.pdf>
- [3] Agency for Statistics under the President of the Republic of Tajikistan [Electronic. resource]. 2025. – URL: <https://www.stat.tj>
- [4] National Statistical Committee of the Kyrgyz Republic [Electronic. resource]. 2025. – URL: <https://www.stat.gov.kg>
- [5] National Committee on Statistics of the Republic of Uzbekistan [Electronic. resource]. 2025. – URL: <https://www.stat.uz>
- [6] The State Committee of Turkmenistan on Statistics [Electronic. resource]. 2025. – URL: <https://www.stat.gov.tm>

- [7] Bureau of National Statistics of the Agency for Strategic Planning and Reforms of the Republic of Kazakhstan [Electronic resource]. 2025. – URL: <https://stat.gov.kz>
- [8] International Organization for Migration [Electron. resource]. 2025. – URL: <https://kazakhstan.iom.int/ru/dannye-i-resursy>
- [9] Ravenstein E.G. The Laws of Migration // Journal of the Statistical Society of London, 1885. June. Vol. 48, No. 210.
- [10] Everett S. Lee A Theory of Migration // Demography. 1966. Vol. 3, No. 1.
- [11] John R. Harris and Michael P. Todaro. Migration, Unemployment and Development: A Two-Sector Analysis. 1970. Vol. 60, No. 1. P. 126-142.
- [12] Glick Schiller, Basch & Blanc-Szanton. Towards a Transnational Perspective on Migration: Race, Class, Ethnicity, and Nationalism Reconsidered. Article in Annals of the New York Academy of Sciences. 1992, January.
- [13] Castles, S. and Miller, M.J. The age of migration. International population movements in the modern world. MacMillan Press LTD. London, 1998.
- [14] Hein de Haas. A theory of migration: the aspirations-capabilities framework. 2021.
- [15] Oded Stark and David E. Bloom. The New Economics of Labor Migration // Papers and Proceedings of the Ninety-Seventh Annual Meeting of the American Economic Association (May, 1985), 1985. Vol. 75, No. 2. P. 173-178.
- [16] Balmer B., Godwin M., Gregory J. The Royal Society and the “brain drain”: natural scientists meet social science // Notes and Records of The Royal Society. 2009. No. 63(4). P. 339-353.
- [17] Li W., Lo L., Lu Y., et al. Intellectual migration: considering China // Journal of Ethnic and Migration Studies. 2020. No. 47(12). P. 2833-2853. DOI: 10.1080/1369183X.2020.1739393
- [18] Sadovskaya E.Y. Some political aspects of the emigration of the Russian-speaking population from Kazakhstan // Modern ethnopolitical processes and the migration situation in Central Asia / Edited by G. Vitkovskaya. Moscow: Carnegie Center, 1998. Pomfret, 2019.
- [19] Richard Pomfret. 2019 (Jan 15). The Central Asian Economies in the Twenty-First Century: Paving a New Silk Road.
- [20] Marlene Laruelle. Central Peripheries: Nationhood in Central Asia. 2021. P. 1-14.
- [21] Dadabayeva Z.A. Independent development of the Republic of Tajikistan in the period from 1991 to 2021 // Geoeconomics of energy. 2022. No. 1(17). P. 61-79.
- [22] Nyussupova, G., Aidarkhanova, G., Kenespayeva, L., Kelinbayeva, R. // International Journal of Geoinformatics. 2022. No. 18 (1 Special Issue), P. 15-25. Analysis of Human Capital in the Republic of Kazakhstan through GIS: Regional Aspect.

Р. Ж. Келинбаева¹, Б. К. Сарсенова^{*2}

¹ Phd, ведущий научный сотрудник (Институт востоковедения им. Р. Б. Сулейменова, Алматы, Казахстан; zhar80@mail.ru)

^{2*} Докторант (Казахский национальный университет им. аль-Фараби, Алматы, Казахстан; bayansulusarsenova@gmail.com)

МИГРАЦИЯ НАСЕЛЕНИЯ ЦЕНТРАЛЬНОЙ АЗИИ В КОНТЕКСТЕ УСТОЙЧИВОГО РАЗВИТИЯ

Аннотация. Дан комплексный анализ тенденций миграционных процессов в странах Центральной Азии в контексте демографических изменений и социально-экономической трансформации региона. На основе официальных статистических данных отдельных стран Центральной Азии и мировых банков данных (Всемирный банк, МОТ, ООН) выявлены основные тенденции внутренней и внешней миграции в Казахстане, Кыргызстане, Узбекистане, Таджикистане и Туркменистане за период 2010-2023 гг. Особое внимание уделено оценке влияния миграции на устойчивость национальных экономик, развитие инфраструктуры, рынка труда и социальную мобильность населения. Отдельно рассмотрены такие явления, как отток высококвалифицированных кадров, усиление зависимости ряда стран от денежных переводов трудовых мигрантов, формирование новых миграционных связей с дальним зарубежьем. Особое внимание уделено взаимосвязи рассматриваемых в статье миграционных процессов с реализацией Целей устойчивого развития ООН (ЦУР 8, 10 и 11). Проведенный анализ позволяет сделать вывод о том, что миграция играет двойную роль: как источник новых рисков для долгосрочной стабильности развития региона, так и фактор адаптации к внутренним социально-экономическим вызовам.

Ключевые слова: миграция населения, Центральная Азия, устойчивое развитие, ТМР, социально-экономическое развитие.

R. Zh. Kelinbayeva¹, B. K. Sarsenova*²

¹ PhD, Leading Researcher

(R. B. Suleimenov Institute of Oriental Studies, Almaty, Kazakhstan; zhar80@mail.ru)

² *PhD student

(Al-Farabi Kazakh National University, Almaty, Kazakhstan; bayansulusarsenova@gmail.com)

MIGRATION IN CENTRAL ASIA IN THE CONTEXT OF SUSTAINABLE DEVELOPMENT

Abstract. This article provides a comprehensive analysis of migration trends in the countries of Central Asia in the context of demographic change and socio-economic transformation of the region. Based on official statistical data from individual Central Asian countries and global databases (the World Bank, the International Labour Organization, and the United Nations), the main trends of internal and international migration in Kazakhstan, Kyrgyzstan, Uzbekistan, Tajikistan, and Turkmenistan for the period 2010–2023 are identified. Attention is paid to assessing the impact of migration on the sustainability of national economies, infrastructure development, labor markets, and social mobility of the population. The study also examines such phenomena as the outflow of highly skilled professionals, the increasing dependence of several countries on remittances from labor migrants, and the emergence of new migration linkages with non-regional and distant countries. Special emphasis is placed on the relationship between migration processes and the implementation of the United Nations Sustainable Development Goals (SDGs 8, 10, and 11). The article also emphasizes the relationship between the migration processes under consideration and the implementation of the United Nations Sustainable Development Goals (SDGs 8, 10, and 11). The analysis leads to the conclusion that migration plays a dual role: acting both as a source of new risks to long-term regional development and as a mechanism for adaptation to internal socio-economic challenges.

Keywords: population migration, Central Asia, sustainable development, SDGs, socio-economic development.

МАЗМҰНЫ – СОДЕРЖАНИЕ – CONTENTS

Гидрология и водное хозяйство
Гидрология және су шаруашылығы
Hydrology and water management

- Ботантаева Б. С., Ваганова А. Р., Калиева К. Е.* Оценка и совершенствование защиты территорий от затопления бассейна реки Нуры..... 3
(*Botantaeva B. S., Vaganova A. R., Kalieva K. Y.* Assessment and improvement of flood protection for the Nura River basin territories)

Гидрохимия и качество воды
Гидрохимия және судың сапасы
Hydrochemistry and water quality

- Болатова А. Б., Курбанова Л. С., Тусупова Б. Х., Мусина У. Ш., Бижанова Г. З., Қырғызбай Қ. Т., Нурмакова С.М.* Ертіс өзені су сапасының қазіргі жағдайын геоэкологиялық бағалау..... 16
(*Bolatova A., Kurbanova L., Tussupova B., Musina U., Bizhanova G., Kyrgyzbay K., Nurmakova S.* Geoeological assessment of the current state of the Irtysh river water quality)
- Самарханов Т. Н., Мырзагалиева А. Б., Задағали А. М., Медеубаева Б. З.* Морфометрические и гидрохимические особенности Сибирских озер..... 30
(*Samarkhanov T. N., Myrzagaliyeva A. B., Zadagali A. M., Medeubayeva B. Z.* Morphometric and hydrochemical features of the Sibe lakes)

Гляциология и геокриология
Гляциология және геокриология
Glaciology and geocryology

- Давлатова М. Ш., Наврузшоев Х. Д., Саидзода Х., Давлятова А. Х.* Дистанционный мониторинг пульсирующих ледников бассейна реки Ванч..... 44
(*Davlatova M. Sh., Navruzshoev H. D., Saidzoda Kh., Davlyatova A. Kh.* Remote monitoring of surging glaciers in the Vanj River basin)
- Мусина А. К., Абдуллаева Ә. С., Тұрсынғали М. Н., Наконова Қ. М., Қайрат С. Е.* Іле алатауының солтүстік беткейінің орталық және шығыс бөлігіндегі мұздықтық-мореналық көлдердің кеңістіктік-уақыттық үлестірілуін талдау.....57
(*Mussina A. K., Abdullaeva A. S., Tursyngali M. N., Nakonova K. M., Kairat S. E.* Analysis of the spatial-temporal distribution of glacialic-moraine lakes in the central and eastern part of the northern slope of Ile Alatau)

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

- Ахмеденов К. М., Рамазанов С. К., Тургумбаев А. А., Искалиев Д. Ж.* Изменение кормовых ресурсов Западно-Казахстанского региона в контексте устойчивого развития..... 75
(*Akhmedenov K. M., Ramazanov S. K., Turgumbayev A. A., Iskaliev D. Zh.* Changes in forage resources of the West Kazakhstan region in the context of sustainable development)
- Бексеитова Р. Т., Әлімбаев М. М., Сарыбаев Е. С., Турапова Р.О.* Алматы таулы-тауалды зонасы мен Іле-Алатау ұлттық паркінің ландшафттарының геодинамикасы және трансформациясы..... 90
(*Bexeitova R., Alimbay M., Sarybaev E., Turapova R.* Geodynamics and transformation of landscapes of the Almaty foothill-mountain zone and the Ile-Alatau national park)
- Садырова Г. А., Оразбекова К. С., Кусаев Ш. П.* Influence of vertical zonation of the Uzynkar ridge on soil formation in the steppe low-mountain and foothill zones in the territory of the Uyghur district..... 107
(*Садырова Г. А., Оразбекова К. С., Кусаев Ш. П.* Ұйғыр ауданы аумағындағы далалық алаң тау және тау етектері аймақтарындағы ұзынқара жотасының тік аймақтығының топырағын қалпына келуіне әсері)

Климатология и метеорология
Климатология және метеорология
Climatology and meteorology

- Zheksenbaeva A. K., Munaitpassova A. N., Orakova G. O., Tursynbek A.* Spatial distribution of dust storms in the Southern region of Kazakhstan in the context of modern climate change..... 116
 (Жексенбаева А. К., Мунайтпасова А. Н., Оракова Г. О., Тұрсынбек А. Климаттың заманауи өзгеруі жағдайында қазақстанның оңтүстік аймағындағы шаңды дауылдардың кеңістіктік таралуы)
- Мунайтпасова А. Н., Байшоланов С. С., Салиева К. С., Арыстанова Р., Карабкина Н. Н., Арыстанов А. А.* Температурный режим и ресурсы тепла в Северо-Казакстанской области.....130
 (Munaitpassova A. N., Baisholanov S. S., Saliyeva K. S., Arystanova R., Karabkina N. N., Arystanov A. A. Temperature regime and heat resources in North-Kazakhstan region)

Рекреационная география и туризм
Рекреациялық география және туризм
Recreational geography and tourism

- Shaken A. Sh., Kyrgyzbay K. T., Abubakir A. N.* Complex monitoring of the environmental consequences of anthropogenic pressure at Burabay national park using remote sensing data.....149
 (Шәкен А. Ш., Қырғызбай Қ. Т., Әбубәкір А. Н. Қашықтықтан зондтау деректерін қолдана отырып Бурабай МҰТП антропогендік жүктемесінің экологиялық салдарын кешенді бақылау)

Экономическая география
Экономикалық география
Economical geography

- Келинбаева Р. Ж., Сарсенова Б. К.* Орталық Азия елдері халқының орнықты даму контекстіндегі көші-қоны.....165
 (Kelinbaeva R. Zh., Sarsenova B. K. Migration of the population of Central Asia in the context of sustainable development)

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 подрисовочных подписях. В подрисовочной подписи необходимо четко отделить (новая строка) собственно название рисунка от объяснений к нему (экспликация). Подрисовочные 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 жөндеуге жіберіледі, содан кейін ол қайта рецензияланады. Редакция этика ережелерін бұзған жағдайда мақаланы жариялаудан бас тартуға құқылы. Егер ақпаратты плагиат деп санауға жеткілікті негіз болса, жауапты редактор жариялауға жол бермеуі керек.

Авторлар редакцияға ұсынылған материалдардың жаңа, бұрын жарияланбаған және түпнұсқа екендігіне кепілдік береді. Авторлар ғылыми нәтижелердің сенімділігі мен маңыздылығына, сондай-ақ ғылыми этика қағидаттарын сақтауға, атап айтқанда, ғылыми этиканы бұзу фактілеріне жол бермеуге (ғылыми деректерді тұжырымдау, зерттеу деректерін бұрмалауға әкелетін бұрмалау, плагиат және жалған тең авторлық, қайталау, басқа адамдардың нәтижелерін иемдену және т. б.) жауапты болады.

Мақаланы редакцияға жіберу авторлардың мақаланы (түпнұсқада немесе басқа тілдерге немесе басқа тілдерге аударылған) басқа журналға (журналдарға) бермегенін және бұл материал бұрын жарияланбағанын білдіреді. Әйтпесе, мақала авторларға авторлық құқықты бұзғаны үшін мақаланы қабылдамау туралы ұсыныспен дереу қайтарылады. Басқа автор жұмысының 10 пайызынан астамын оның авторлығын және дереккөзге сілтемесіз сөзбе-сөз көшіруге жол берілмейді. Алынған көріністер немесе мәлімдемелер автор мен бастапқы көзді міндетті түрде көрсете отырып жасалуы керек. Шамадан тыс көшіру, сондай-ақ кез-келген нысандағы плагиат, оның ішінде рәсімделмеген дәйексөздер, өзгерту немесе басқа адамдардың зерттеулерінің нәтижелеріне құқықтар иемдену этикалық емес және қолайсыз. Зерттеу барысына қандай да бір түрде әсер еткен барлық адамдардың үлесін мойындау қажет, атап айтқанда, мақалада зерттеу жүргізу кезінде маңызды болған жұмыстарға сілтемелер ұсынылуы керек. Қосалқы авторлардың арасында зерттеу-ге қатыспаған адамдарды көрсету болмайды.

Егер жұмыста қате табылса, редакторға тез арада хабарлау керек және бірге түзету туралы шешім қабылдау керек.

Қолжазбаны жариялаудан бас тарту туралы шешім рецензенттердің ұсынымдарына сәйкес редакциялық алқа отырысында қабылданады. Редакциялық алқаның шешімімен жариялауға ұсынылмаған мақала қайта қарауға қабылданбайды. Жариялаудан бас тарту туралы хабарлама авторға электрондық пошта арқылы жіберіледі.

Редакциялық алқа мақаланы жариялауға жіберу туралы шешім қабылдағаннан кейін редакция бұл туралы авторға хабарлайды және жариялау мерзімін көрсетеді.

Этика научных публикаций

Редакционная коллегия журнала «География и водные ресурсы» придерживается принятых международным сообществом принципов публикационной этики, а также учитывает ценный опыт авторитетных международных журналов и издательств.

Во избежание недобросовестной практики в публикационной деятельности (плагиат, изложение недостоверных сведений и др.) и в целях обеспечения высокого качества научных публикаций, признания общественностью полученных автором научных результатов каждый член редакционного совета, автор, рецензент, а также учреждения, участвующие в издательском процессе, обязаны соблюдать этические стандарты, нормы и правила и принимать все меры для предотвращения их нарушений. Соблюдение правил этики научных публикаций всеми участниками этого процесса способствует обеспечению прав авторов на интеллектуальную собственность, повышению качества издания и исключению возможности неправомерного использования авторских материалов в интересах отдельных лиц.

Все научные статьи, поступающие в редакцию, подлежат обязательному двойному слепому рецензированию. Редакция Журнала (ответственный секретарь Журнала) устанавливает соответствие статьи профилю Журнала, требованиям к оформлению и направляет ее на первое рассмотрение, определяет научную ценность рукописи и назначает двух независимых рецензентов – специалистов, имеющих наиболее близкие к теме статьи научные специализации. Рецензирование статей осуществляется членами редакционной коллегии, а также приглашенными рецензентами из других стран. Решение о выборе того или иного рецензента для проведения экспертизы статьи принимает главный редактор. Срок рецензирования составляет 2-4 недели, но по просьбе рецензента он может быть продлен.

Редакция и рецензент гарантируют сохранение конфиденциальности не опубликованных материалов. Решение о публикации принимается редакционной коллегией Журнала после рецензирования. В случае необходимости рукопись направляется авторам на доработку по замечаниям рецензентов и редакторов, затем она повторно рецензируется. Редакция оставляет за собой право отклонить публикацию статьи в случае нарушения правил этики. Ответственный редактор не должен допускать к публикации информацию, если имеется достаточно оснований полагать, что она является плагиатом.

Авторы гарантируют, что представленные в редакцию материалы являются новыми, ранее не опубликованными и оригинальными. Они несут ответственность за достоверность и значимость научных результатов, а также соблюдение принципов научной этики, в частности недопущение фактов нарушения научной этики (фабрикация научных данных, фальсификация, ведущая к искажению исследовательских данных, плагиат и ложное соавторство, дублирование, присвоение чужих результатов и др.).

Направляя статью в редакцию, авторы подтверждают, что данная статья не была ранее опубликована и не передавалась в другой журнал(ы) как в оригинале, так и в переводе на другие языки или с других языков. В противном случае статья немедленно возвращается авторам с рекомендацией отклонить статью за нарушение авторских прав. Не допускается дословное цитирование работы другого автора без указания его авторства и ссылок на источник. Заимствованные фрагменты или утверждения должны быть оформлены с обязательным указанием автора и первоисточника. Чрезмерные заимствования, а также плагиат в любых формах, включая неоформленные цитаты, перефразирование, перевод или присвоение прав на результаты чужих исследований, неэтичны и неприемлемы. Необходимо признавать вклад всех лиц, так или иначе повлиявших на ход исследования. В частности, в статье должны быть представлены ссылки на работы, которые имели значение при проведении исследования. Среди соавторов недопустимо указывать лиц, не участвовавших в исследовании. Если обнаружена ошибка в работе после подачи статьи, необходимо срочно уведомить редактора и вместе принять решение об исправлении.

Решение об отказе в публикации рукописи принимается редакционной коллегией в соответствии с рекомендациями рецензентов. Статья, не рекомендованная решением редакционной коллегии к публикации, к повторному рассмотрению не принимается. Сообщение об отказе в публикации направляется автору по электронной почте.

После принятия редколлегией Журнала решения о допуске статьи к публикации редакция информирует об этом автора и указывает сроки публикации.

Ethics of scientific publications

In order to avoid unfair practices in publishing activities (plagiarism, presentation of false information, etc.) and in order to ensure the high quality of scientific publications, public recognition of the scientific results obtained by the author, each member of the editorial board, author, reviewer, as well as institutions involved in the publishing process, must comply with ethical standards, rules and regulations and take all measures to prevent their violations. Compliance with the rules of ethics of scientific publications by all participants in this process contributes to ensuring the rights of authors to intellectual property, improving the quality of the publication, and excluding the possibility of illegal use of copyright materials in the interests of individuals.

All scientific articles submitted to the editorial office are subject to mandatory double-blind review. The editorial board of the Journal (Responsible secretary) establishes the correspondence of the article to the profile of the Journal, the requirements for registration and sends it for the first consideration, determines the scientific value of the manuscript and appoints two independent reviewers - specialists who have scientific specializations closest to the topic of the article. Reviewing of articles is carried out by members of the editorial board, as well as invited reviewers from other countries. The decision on choosing a reviewer for the examination of the article is made by the editor-in-chief. The review period is 2-4 weeks, but it can be extended at the request of the reviewer.

The editorial board and the reviewer guarantee the confidentiality of unpublished materials. The decision on publication is made by the editorial board of the Journal after reviewing. The manuscript is sent to the authors for revision based on the comments of reviewers and editors if necessary. After which, it is re-reviewed. The editors reserve the right to reject the publication of an article in case of a violation of the rules of ethics. The executive editor should not allow information to be published if there are sufficient grounds to believe that it is plagiarism.

The authors guarantee that the submitted materials to the editorial office are new, previously unpublished, and original. Authors are responsible for the reliability and significance of scientific results, as well as adherence to the principles of scientific ethics, in particular, the prevention of violations of scientific ethics (fabrication of scientific data, falsification leading to distortion of research data, plagiarism, and false co-authorship, duplication, appropriation of other people's results, etc.).

The submission of an article to the Editorial Board means that the authors did not transmit the article (in original or translation into other languages or from other languages) to another journal (s), and this material has not been previously published. Otherwise, the article is immediately returned to the authors with a recommendation to reject the article for copyright infringement. Verbatim quoting of the work of another author is not allowed without indicating his authorship and references to the source. Borrowed fragments or statements must be made with the obligatory indication of the author and the source. Excessive borrowing as well as plagiarism in any form, including unofficial quotations, paraphrasing, or appropriation of rights to the results of other people's research, is unethical and unacceptable. It is necessary to recognize the contribution of all persons, who in one way or another influenced the course of the research. In particular, the article, should contain references to works that were of importance in the conduct of the research. Among the co-authors, it is inadmissible to indicate persons who did not participate in the study.

If an error is found in work, it is necessary to notify the editor and together make a decision on the correction.

The decision to refuse publication of the manuscript is made at a meeting of the editorial board by the recommendations of the reviewers. An article not recommended for publication by the decision of the editorial board is not accepted for reconsideration. The refusal to publish is sent to the author by e-mail.

After the editorial board of the Journal decides on the admission of the article for publication, the editorial board informs the author about it and indicates the terms of publication.

Журналдың жауапты хатшысы –
PhD, аға ғылыми қызметкер
Ж. К. Наурызбаева

Ответственный секретарь журнала –
PhD, старший научный сотрудник
Ж. К. Наурызбаева

Responsible Secretary of the Journal –
PhD, Senior Researcher
Zh. K. Naurozbayeva

Редакторы *Т. Н. Кривобокова*
Компьютерлік беттеген
Д. Н. Қалқабекова

Редактор *Т. Н. Кривобокова*
Верстка на компьютере
Д. Н. Калкабековой

Editor *T. N. Krivobokova*
Makeup on the computer of
D. N. Kalkabekova

Басуға 19.12.2025 қол қойылды.
Пішіні 60x88¹/₈. Офсеттік басылым.
Баспа – ризограф. 11,75 п.л.
Таралымы 300 дана.

Подписано в печать 19.12.2025.
Формат 60x88¹/₈. Бумага офсетная.
Печать – ризограф. 11,75 п.л.
Тираж 300.

Passed for printing on 19.12.2025.
Format 60x88¹/₈. Offset paper.
Printing – risograph. 11,75 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