

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**

2

**СӘУІР – МАУСЫМ 2025 ж.
АПРЕЛЬ – ИЮНЬ 2025 г.
APRIL – JUNE 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. Қ. 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. Тұрсунова**; география ғылымының кандидаты **М. М. Молдахметов**; география ғылымының кандидаты **Л. К. Махмудова**; география ғылымының кандидаты **А. С. Нысанбаева**

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

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

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

E-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/10.55764/2957-9856/2025-2-3-12.15>

МРНТИ 87.19.35

УДК 628.1:628.3

Т. В. Драбкова^{*1}, Н. М. Абдутаалипова², Ф. Н. Рахматуллаев³, У. Н. Рахматов⁴

^{1*} Ассистент кафедры «экология и ООС» (Ташкентский государственный технический университет, Ташкент, Узбекистан; tatyana111183@mail.ru)

² Д. т. н., доцент кафедры «экология и ООС» (Ташкентский государственный технический университет, Ташкент, Узбекистан; nelly_dolls@mail.ru)

³ К. т. н., доцент, заведующий кафедрой «экология и ООС» (Ташкентский государственный технический университет, Ташкент, Узбекистан; f.rakhmatullaev7@mail.ru)

⁴ К. г.-м. н., доцент кафедры «экология и ООС» (Ташкентский государственный технический университет, Ташкент, Узбекистан; rakhmatov_1007@mail.ru)

МОНИТОРИНГ ВОДНЫХ РЕСУРСОВ УЗБЕКИСТАНА И ПЕРСПЕКТИВЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ИОНООБМЕННЫХ УСТАНОВОК ДЛЯ ОЧИСТКИ СТОЧНЫХ ВОД

Аннотация. Проведен мониторинг водных ресурсов Узбекистана, рассматриваемых как источники сбросов сточных вод промышленных предприятий. Результаты показывают, что концентрации ряда вредных веществ – азот аммонийный (NH_4^+), азот нитритный (NO_2^-), фосфаты (PO_4^{3-}), железо (Fe) и жесткость воды в реках и каналах превышают допустимые нормы, что указывает на значимые экологические проблемы. Для их решения авторы предлагают внедрение на промышленных предприятиях систем ионной очистки как эффективного метода для снижения загрязнения сточных вод, поступающих в водоемы. Рассмотрена работа экспериментальной установки, предназначенной для обработки сточных вод с различным составом. Полученные результаты подтверждают целесообразность и эффективность этой технологии для очистки сточных вод и подчеркивают важность внедрения современных решений для смягчения экологических последствий и защиты здоровья населения.

Ключевые слова: мониторинг, загрязняющие вещества, сточные воды, ионообменная установка, сорбция.

Введение. Вода является жизненно важным ресурсом для любого региона, и Республика Узбекистан придает большое значение охране своих водных ресурсов [1]. В стране активно развиваются различные отрасли промышленности, которые требуют значительных объемов воды, однако с ростом промышленной деятельности возникает и проблема очистки сточных вод [2]. Увеличение промышленной нагрузки на водные экосистемы значительно ухудшает качество водных ресурсов, что подчеркивает необходимость проведения детального анализа состояния водоемов и разработки эффективных мер по их защите. В связи с этим важно проводить сезонные мониторинги состояния водных ресурсов и разработать эффективные меры по их защите [3, 4]. По мнению авторов, одним из таких шагов может стать внедрение системы очистки сточных вод ионообменным методом [4-9], что позволит не только сократить загрязнение, но и обеспечить повторное использование воды в производственных процессах.

В этом исследовании был проведен мониторинг загрязнения поверхностных вод рек и каналов, водоемов Бостанлыкского района, города Чирчика, Кибрайского района, а также Зангиотинского и Янгиюльского районов. Особое внимание уделялось концентрации таких загрязняющих веществ, как азот аммонийный (NH_4^+), азот нитритный (NO_2^-), фосфаты (PO_4^{3-}), железо (Fe) и жесткость воды. Эти показатели являются важными индикаторами экологического состояния водных ресурсов и могут указывать на наличие различных источников загрязнения. Анализ собранных данных позволяет не только выявить источники загрязнения, но и разработать рекомендации по улучшению состояния водных ресурсов.

Одним из перспективных решений проблемы очистки сточных вод является использование ионообменного оборудования. Оно позволяет эффективно удалять из воды ионы загрязняющих веществ, что способствует улучшению качества воды и снижению негативного воздействия на экосистемы. Ионообменные технологии могут быть интегрированы в существующие системы оборотного водоснабжения, что позволит не только очистить сточные воды, но и повторно использовать их в промышленных процессах или для орошения сельскохозяйственных угодий. Это не только поможет снизить нагрузку на природные водоемы, но и обеспечит более рациональное использование водных ресурсов.

Таким образом, комплексный подход к анализу состояния рек и каналов Бостандыкского района, городов Чирчика и Янгиюля, а также внедрение современных технологий очистки сточных вод может стать основой для разработки эффективной стратегии управления водными ресурсами в Республике Узбекистан.

Одним из ярких примеров успешного внедрения предложенных технологий очистки сточных вод является предприятие «Махам Чирчик» [10], которое активно использует импортное ионообменное оборудование. Это предприятие достигло хороших результатов в области очистки производственных вод, что позволяет значительно уменьшить негативное воздействие на окружающую среду. Однако многие малые и средние предприятия в Узбекистане все еще не имеют собственных очистных сооружений, что создает серьезные экологические проблемы. В связи с этим становится актуальной задача внедрения ионообменного оборудования на таких предприятиях. Цель создания отечественных установок для очистки сточных вод заключается в том, чтобы обеспечить доступ к эффективным технологиям для малых и средних предприятий, которые сталкиваются с проблемами загрязнения, но не располагают ресурсами для строительства крупных очистных сооружений или закупки дорогостоящего импортного оборудования. Внедрение таких установок позволит значительно улучшить качество сточных вод, а также снизить нагрузку на природные водоемы. Это не только будет способствовать охране окружающей среды, но и поможет малым и средним предприятиям соответствовать современным экологическим требованиям и стандартам. Таким образом, развитие очистных технологий в малом и среднем бизнесе станет важным шагом к устойчивому управлению водными ресурсами в Узбекистане и сохранению экологического баланса в регионе.



Рисунок 1 – Река Чирчик (город Чирчик)
Figure 1 – Chirchik River (Chirchik city)



Рисунок 2 – Канал Бозсу (город Чирчик)
Figure 2 – Bozsu Channel (Chirchik city)

Материалы и методы исследования. В ходе эксперимента для оценки качества были взяты пробы поверхностных вод рек и каналов Бостанлыкского района, города Чирчика, Кибрайского района, а также Зангиотинского и Янгиюльского районов. Пробы воды были взяты в соответствии с ГОСТ 31861-2012 «Вода. Общие требования к отбору проб».

Измерены концентрации NH_4^+ , NO_2^- , PO_4^{3-} , железа и жесткости воды. Результаты анализа проб воды, собранных в 23 точках водных объектов, включающие входные и выходные участки рек и каналов, представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Мониторинг химического состава рек и каналов в весенний период

Table 1 – In spring period monitoring of chemical composition of rivers and channels

№ пробы	Объект	Концентрация, мг /дм ³						
		t, °C	pH	NH_4^+	NO_2^-	PO_4^{3-}	Fe _{общ}	Жест-кость
1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	Чарвакское водохранилище (вход), Бостанлыкский р-н	11,3	8,5	–	–	–	0,06	2,4
	Превышение ПДК						1,2	
2	Чарвакское водохранилище (выход), Бостанлыкский р-н	11,3	8,4	–	–	–	0,066	2,4
	Превышение ПДК						1,3	
3	Река Бельдерсай (вход), Бостанлыкский р-н	11,6	8,3	–	0,007	0,012	0,124	2,5
	Превышение ПДК						2,5	
4	Река Бельдерсай соедин. с рекой Аксакатасай (выход), Бостанлыкский р-н	11,6	8,2	–	0,012	0,021	0,137	2,9
	Превышение ПДК						2,7	
5	Река Угам (вход), Бостанлыкский р-н	11,6	8,3	–	–	–	–	2,2
	Превышение ПДК			–				
6	Река Угам соедин. с рекой Чирчик (выход), Бостанлыкский р-н	11,3	8,1	–	–	–	0,079	2,5
	Превышение ПДК						1,6	
7	Река Чирчик (вход) Чарвак плотина, Бостанлыкский р-н	11,6	8,3	–	–	–	0,081	2,5
	Превышение ПДК						1,6	
8	Юмалакская протока, г. Чирчик	14,3	7,6	1,3	0,068	0,02	0,503	2,5
	Превышение ПДК			2,6	3,4		10,06	
9	Река Чирчик, плотина после сбросных вод протоки Юмалак 500 м (выход), г. Чирчик	12,6	7,7	0,31	0,031	0,01	0,615	2,9
	Превышение ПДК				1,5		12,3	
10	Река Чирчик (вход), Янгиюльский р-н	11,6	7,8	0,59	0,187	0,143	0,207	6,7
	Превышение ПДК			1,2	9,3		4,1	
11	Река Чирчик граница с Чиназ (выход), Янгиюльский р-н	11,3	7,7	0,34	0,02	0,15	0,154	6,7
	Превышение ПДК						3,1	
12	Канал Бозсу Газалкент гидроузел (вход), Бостанлыкский р-н	11,6	8,3	–	0,007	–	0,162	2,6
	Превышение ПДК						3,2	
13	ЗАХ канал ГЭС №10 (вход), г. Чирчик	12,0	8,4	–	–	–	0,039	2,4
	Превышение ПДК							
14	Зах канал (выход), г. Чирчик	11,6	8,2	–	0,015	–	0,224	2,6
	Превышение ПДК						4,5	
15	Канал Кара-су, начало плотины на реке Чирчик, левобережная сторона	12,0	7,7	0,03	0,014	0,009	0,598	3,0
	Превышение ПДК						12,0	

Окончание таблицы 1								
1	2	3	4	5	6	7	8	9
16	Канал Кара-су (выход)	11,6	7,6	0,35	0,027	0,026	0,306	3,1
	Превышение ПДК				1,35		6,1	
17	Канал Бозсу (выход), Кибрайский р-н	11,6	8,3	–	0,007	–	0,167	2,6
	Превышение ПДК						3,3	
18	Канал Бозсу (вход), Зангиотинский р-н	11,6	7,3	1,8	0,143	0,66	0,247	4,3
	Превышение ПДК			3,6	7,1	2,2	4,9	
19	Канал Бозсу (выход), Чиназский р-н	11,6	7,5	0,38	0,035	0,25	0,253	5,4
	Превышение ПДК				1,7		5,1	
20	Канал Салар (вход), Янгиюльский р-н	11,3	7,7	8,5	0,109	0,357	0,148	6,8
	Превышение ПДК			17	5,45	1,2	3	
21	Канал Салар, очистные сооружения ниже 500 м на мосту (выход), Янгиюльский р-н	11,3	7,7	4,9	0,092	0,454	0,211	7,4
	Превышение ПДК			9,8	4,6	1,5	4,2	1,06
22	Канал Каракульдук (вход), Янгиюльский р-н	11,3	7,6	7,5	0,112	0,48	0,147	7,0
	Превышение ПДК			15	5,6	1,6	2,9	
23	Каракульдук (выход), Янгиюльский р-н, канал	11,6	7,6	2,7	0,068	0,34	0,132	6,4
	Превышение ПДК			5,4	3,4	1,1	2,6	
	ПДК нормы мг/дм ³	–	6,5-8,5	0,5	0,02	0,3	0,05	7,0

Проводился анализ содержания различных веществ в воде с использованием стандартизованных методов, описанных в соответствующих ГОСТах. Концентрация ионов аммония (NH_4^+) определялась фотометрическим методом от 0,20 до 2,0 мг/дм³. Методика основана на образовании окрашенного соединения с реактивом Несслера, придающим раствору желто-коричневый цвет. Предельно допустимая концентрация (ПДК) для NH_4^+ в водоемах составляет 0,5 мг/дм³. Анализ проводился в соответствии с ГОСТ 33045–2014.

Содержание нитрит-ионов (NO_2^-) измерялось фотометрическим методом от 0,02 до 0,60 мг/дм³. Метод основан на измерении оптической плотности при длине волны 540 нм, где нитриты образуют окрашенное в розовый цвет соединение с реактивом Грисса. ПДК для NO_2^- в воде составляет 0,02 мг/дм³ согласно ГОСТ 33045–2014.

Фосфат-ионы (PO_4^{3-}) определялись фотоколориметрическим методом от 0,01 до 0,80 мг/дм³. Методика основана на образовании фосфорно-молибденовой гетерополиокислоты ($\text{H}_2\text{P}(\text{MoO}_7)_6$) при взаимодействии фосфатов с молибдатом аммония в кислой среде, которая под действием восстановителя хлорида олова ($\text{SnCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) образует окрашенное в синий цвет комплексное соединение, известное как молибденовая синь. ПДК для PO_4^{3-} составляет 0,3 мг/дм³ согласно ГОСТ 18309–2014.

Концентрация ионов железа (Fe) в воде измерялась фотометрическим методом от 0,005 до 2,0 мг/дм³. Метод основан на образовании красного комплексного соединения при взаимодействии трехвалентного железа с роданидом в сильноокислой среде. ПДК для Fe составляет 0,05 мг/дм³ согласно ГОСТ 10555-2016.

Все фотометрические и фотоколориметрические измерения выполнялись на фотометре фотоэлектрическом КФК-3-01–“ЗОМЗ”.

Общая жесткость воды определялась комплексонометрическим методом от 5,0 до 20,0 ммоль/дм³. Методика основана на образовании стабильного окрашенного комплексного соединения с этилендиаминтетраацетатом натрия (трилоном Б) в присутствии индикатора хромогена черного в щелочной среде. ПДК для общей жесткости воды составляет 7,0 ммоль/дм³.

Результаты анализов отбора проб были сопоставлены с предельно допустимыми концентрациями (ПДК) в природных и сточных водах для каждого из исследуемых загрязняющих веществ.

Исследования позволили получить комплексные данные о качестве воды в водоемах, что является важным шагом для дальнейшего анализа и оценки состояния водных экосистем. В ходе экспериментов проанализированы 23 пробы сточных вод из рек и каналов республики, в разных точках объектов температура воды колебалась от 11,3 до 14,3 °С, а pH среды – от 7,6 до 8,5.

Описание экспериментальной ионообменной установки для очистки сточных вод. Новая ионообменная установка “ИОУ-4Ф” (ионообменная установка – 4 фильтра, неофициальное название), предназначена для эффективной очистки сточных вод. Состоит из четырех ионообменных фильтров, каждый из которых имеет объем 1,5 л и высоту 160 мм псевдоожиженного слоя ионитов в каждом фильтре. Дренажная система фильтра работает в противоточном режиме, то есть раствор в фильтр подается сверху вниз и, проходя снизу вверх через слой ионитов, выводится через верхний патрубок. Такая технология препятствует загипсовыванию ионитов, способствуя их взрыхлению. Также технология включает возможность использования катионитов КУ-2-8 и анионитов АВ-17-8 одновременно, при этом для каждого вида сорбентов предусмотрена отдельная система регенерации. Исходный раствор подается с помощью насоса. Мощность оборудования составляет 90 дм³/ч (2160 дм³/сут). Установка оборудована коллекторами для ввода исходного раствора, вывода очищенной воды и отбора проб, а также запорной арматурой для перекрытия потока при необходимости. Кроме того, установка включает резервуары для регенерации и промывки ионитов, а также запорные арматуры, которые регулируют подачу регенерирующих и промывных растворов. Процесс очистки включает этапы фильтрации, взрыхления, регенерации и промывки ионообменных смол.

Конструкция оборудования изготовлена преимущественно из пластика, что обеспечивает высокую коррозионную стойкость. Это особенно важно при работе с агрессивными химическими веществами, так как пластиковые материалы не разрушаются под воздействием кислот и щелочей. Установка также может функционировать от 0 до 60 °С, что делает её универсальной для различных условий эксплуатации. Кроме того, она эффективно работает при pH от 2 до 12, что позволяет использовать её для очистки растворов с различными химическими свойствами.

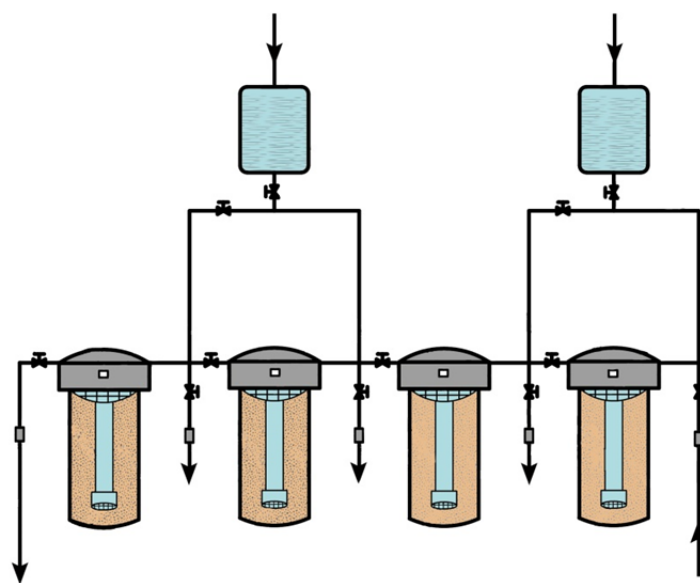


Рисунок 3 – Схема ионообменной установки для очистки сточных вод

Figure 3 – Scheme of ion exchange system for wastewater treatment

Представленное оборудование отличается простой конструкцией и механическим управлением, что является преимуществом, поскольку не требует дополнительной подготовки операторов. Технология очистки создана для работы в различных эксплуатационных условиях, что делает её универсальным решением для удаления загрязняющих веществ, таких, как ионы железа и различных солей. В процессе водоподготовки, особенно при умягчении воды катионитом КУ-2-8, оборудование позволяет эффективно повторно использовать ресурсы в рамках оборотного водо-

снабжения, что способствует экономии природных водных ресурсов. Также предусмотрен индивидуальный выбор катионитов, анионитов и амфолитов (различных марок) в зависимости от состава очищаемых сточных вод, это расширяет возможности применения системы и позволяет адаптировать её под конкретные условия эксплуатации.

Для эксперимента по очистке сточной воды на ионообменной установке взята проба воды в Юмалакской протоке (см. таблицу 1, проба 8) г. Чирчика в количестве 30 л. Для эксперимента задействованы все четыре фильтра: из них два были заполнены катионитом КУ-2-8, а два других – анионитом АВ-17-8. Сточная вода очищалась в динамических условиях, при подключении установки через трубопровод к баку с исходной водой, далее через коллектор вода попадала поочередно в каждый фильтр и выводилась по коллектору в ёмкость. Скорость подачи исходного раствора 1,5 л/мин. Время прохождения раствора через установку ≈ 20 мин с учетом незначительной потери давления. Температура исследуемой сточной воды 14 °C, а pH среды 7,6. Сорбенты готовили в соответствии с ГОСТ 10896-78. Загрязняющие вещества после очистки определяли аналогичными методами, как и при установлении в поверхностных водах рек и каналах.

Эффективность очистки рассчитывали по соответствующей формуле:

$$\mathcal{E}_{\text{оч}} = \frac{C_{\text{вх}} - C_{\text{вых}}}{C_{\text{вх}}} \cdot 100.$$

Результаты очистки исследуемой воды на экспериментальной установке представлены в таблице 2.

Таблица 2 – Результаты очистки сточных вод на экспериментальной ионообменной установке с использованием катионита КУ-2-8 и анионита АВ-17-8

Table 2 – Results of wastewater treatment at the experimental ion-exchange system, using cationite KU-2-8 and anionite AB-17-8

Загрязняющие вещества	До очистки, мг/дм ³	После очистки, мг/дм ³	Эффективность, %
NH ₄ ⁺	1,3	0,05	96,2
NO ₂ ⁻	0,068	0,002	97,1
PO ₄ ³⁻	0,02	0,005	75
Fe _{общ}	0,503	0,01	98
Жесткость	2,5	0,5	80

Результаты и их обсуждение. Представлены данные мониторинга химического состава рек и каналов в весенний период (2024 г.), которые отражают текущее состояние водных ресурсов в Узбекистане. Таблица 1 содержит информацию о концентрациях различных химических веществ, таких, как азот аммонийный (NH₄⁺), азот нитритный (NO₂⁻), фосфаты (PO₄³⁻), общее железо (Fe_{общ}) и жесткость воды в разных точках мониторинга. Из таблицы 1, видно, что на большинстве объектов наблюдается превышение ПДК по анализируемым показателям. Например, река Чирчик и каналы в районе Чирчика демонстрируют высокие уровни загрязнения, что требует особого внимания экологических служб и органов управления водными ресурсами.

Загрязнение водных ресурсов Узбекистана (см. таблицу 1), показывает, что в большинстве объектов наблюдается превышение концентраций загрязняющих веществ. Состояние реки Чирчик и канала Бозсу также вызывает серьезные опасения, так как в них фиксируются высокие уровни загрязняющих веществ, включая железо и жесткость воды. Например, в выходных точках рек концентрация железа превышает 0,6 мг/дм³, что значительно выше установленной нормы. Также концентрации аммония (NH₄⁺), нитритов (NO₂⁻), фосфатов (PO₄³⁻), железа (Fe_{общ}) и жесткости воды превышают допустимые нормы. Наибольшее превышение наблюдается в канале Салар, где концентрация аммония достигает 8,5 мг/дм³, что в 17 раз выше ПДК.

Таким образом, результаты мониторинга не только подтверждают наличие серьезных экологических проблем, но и служат основой для разработки рекомендаций по улучшению состояния водных ресурсов в регионе.

В таблице 2 показана эффективность очистки сточных вод с использованием ионообменной технологии.

Очистка сточных вод на установке с использованием катионита КУ-2-8 и анионита АВ-17-8 свидетельствует о высокой эффективности этой технологии. Уровень аммония (NH_4^+) снизился с 1,3 до 0,05 мг/дм³, что соответствует эффективности очистки 96,2%. Аналогичным образом концентрация нитритов (NO_2^-) уменьшилась с 0,068 до 0,002 мг/дм³, демонстрируя эффективность на уровне 97,1%. Удаление общего железа ($\text{Fe}_{\text{общ}}$) также оказалось весьма успешным: его содержание снизилось с 0,503 до 0,01 мг/дм³, что соответствует 98% эффективности. Хотя эффективность удаления фосфатов (PO_4^{3-}) составила 75%, с начального уровня 0,02 до 0,005 мг/дм³, она все равно достаточно высока для защиты экосистем с учетом того, что по этому веществу не было обнаружено превышения.

Кроме того, жесткость воды была уменьшена с 2,5 до 0,5 мг/дм³, что соответствует эффективности 80%. Полученные данные подтверждают целесообразность применения ионообменной технологии для очистки сточных вод.

Ионообменная технология очистки сточных вод, использующая катиониты КУ-2-8 и аниониты АВ-17-8, представляет собой один из наиболее эффективных методов удаления загрязняющих веществ. В сравнении с другими методами очистки, такими, как биологическая очистка, коагуляция и флотация и др., ионообменная технология обладает рядом значительных преимуществ [11, 12].

Во-первых, система очистки на новой ионообменной установке обеспечивает высокую степень удаления специфических загрязняющих веществ. Как показали наши результаты, эффективность удаления аммония составила 96,2%, а нитритов – 97,1%. Эти показатели значительно превышают эффективность традиционных биологических методов, которые больше направлены на удаление органических загрязнителей, часто требуют длительных сроков обработки и могут быть менее эффективными при изменении условий окружающей среды, таких, как температура и pH. Однако биореакторы могут быть более выгодными при обработке больших объемов сточных вод с низким содержанием загрязняющих веществ.

Во-вторых, ионообменные системы позволяют достигать низких концентраций загрязняющих веществ в воде. Например, уровень общего железа был снижен до 0,01 мг/л, что является критически важным для соблюдения экологических норм и стандартов качества воды. В отличие от коагуляции, которая может привести к образованию осадков и требует дополнительной обработки для удаления остатков коагулянтов, ионообмен не создает дополнительных отходов и позволяет получать чистую воду непосредственно из установки.

Кроме того, ионообменные технологии могут быть адаптированы для работы в различных условиях и с различными типами сточных вод. Это делает их универсальными и подходящими для широкого спектра применений – от очистки промышленных сточных вод до обработки сточных вод в населенных пунктах. В отличие от методов флотации, которые требуют наличия определенных химических реагентов и могут быть чувствительны к составу сточных вод, ионообменные системы могут быть настроены на конкретные загрязняющие вещества.

Использование ионообменного метода при очистке питьевой воды может быть эффективно дополнено УФ-обеззараживанием, поскольку УФ-излучение эффективно уничтожает патогены, но не удаляет химические загрязнители, такие, как аммоний, нитриты и фосфаты. Ионообменная технология, в свою очередь, способна удалять как химические, так и некоторые биологические загрязнители, что позволяет достичь более комплексной очистки воды.

Предприятия пищевой, химической, текстильной и горнодобывающей промышленности в Узбекистане могут значительно выиграть от внедрения ионообменных систем. Эти отрасли характеризуются высоким уровнем загрязнения сточных вод, и использование ионообменной технологии позволит им не только соответствовать экологическим стандартам, но и снизить затраты на водопользование. Кроме того, коммунальные предприятия и системы водоснабжения могут использовать эту технологию для улучшения качества питьевой воды и снижения нагрузки на водные ресурсы. Конечно, ионообменные установки могут требовать значительных начальных инвестиций, особенно при установке крупномасштабных систем. Однако с учетом высокой эффективности и долговечности оборудования эти затраты могут окупиться в течение нескольких лет. Основные эксплуатационные расходы связаны с регенерацией ионитов, что требует регулярного обслуживания и может привести к дополнительным затратам. Тем не менее для малых и средних предприятий внедрение такой технологии не потребует чрезмерно высоких затрат, поскольку система

очистки не является слишком сложной или дорогостоящей. Конструкция установки, выполненная преимущественно из пластика, обеспечивает высокую коррозионную стойкость. Это является важным преимуществом при работе с агрессивными средами. Она также снижает затраты на обслуживание и увеличивает срок службы оборудования. Благодаря механизированной системе управления для её обслуживания не требуется наличие специально обученного оператора, что снижает затраты на персонал. Один специалист может эффективно следить за работой системы, проверяя заполнение сорбентов и обеспечивая своевременную их регенерацию, что делает технологию экономически выгодной и простой в эксплуатации для предприятий с ограниченными ресурсами.

Планируется кооперировать данное оборудование с альтернативными источниками энергии, такими, как солнечные панели, что позволит значительно сократить эксплуатационные затраты и повысить энергоэффективность системы. Кроме того, разрабатываются дополнительные меры по оптимизации и усовершенствованию системы, чтобы сделать её более адаптируемой к различным предприятиям. Одним из таких подходов является внедрение механической предварительной очистки, которая позволит снизить нагрузку на ионообменные фильтры и продлить срок их службы. Также планируется снабжение оборудования дополнительными счетчиками, приборами и датчиками, которые обеспечат более точное управление процессом очистки и позволят оперативно реагировать на изменения в составе сточных вод. Это даст возможность адаптировать систему к специфическим требованиям различных предприятий, повышая её эффективность и надежность.

Использование отечественного оборудования для ионообменных установок может значительно снизить затраты на их внедрение и эксплуатацию. Оборудование, произведённое в Узбекистане, экономически более выгодно по нескольким причинам. Во-первых, снижаются транспортные расходы и таможенные пошлины, что делает его более доступным. Во-вторых, отечественные производители могут предложить более гибкие условия обслуживания и поддержки, что упрощает процесс эксплуатации и снижает риски простоя оборудования.

Однако производство такого оборудования требует наличия специализированных цехов и инвестиций в их создание. Это может стать определённым барьером для быстрого внедрения технологии, но в долгосрочной перспективе такие инвестиции могут окупиться за счёт экономии на эксплуатационных расходах и повышения эффективности очистки.

Заключение. Ионообменная технология продемонстрировала высокие результаты, особенно в удалении аммония, нитритов и общего железа. Она превосходит традиционные методы по скорости очистки. Несмотря на необходимость регенерации ионообменных смол, экономические и экологические преимущества метода делают его целесообразным выбором. Анализ данных о состоянии водных ресурсов позволил выявить источники загрязнения и разработать оборудование для их устранения. В настоящее время проводятся дополнительные исследования для оптимизации процессов регенерации и снижения эксплуатационных затрат, что позволит сделать технологию более доступной и эффективной. Для успешного внедрения рекомендуется инвестировать в создание специализированных производственных мощностей, что обеспечит широкое применение ионообменных технологий и улучшит качество очистки сточных вод.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Закон Республики Узбекистан «О воде и водопользовании» от 06.05.1993 г. № 837-XII. <https://www.lex.uz/ru/docs/93202>
- [2] Драбова Т. В., Абдугалипова Н. М., Шохакимова А. А., Рахматуллаева Н. Т., Мухамедова Н. К. Анализ эффективности очистки сточных вод в текстильной промышленности // В мире науки и образования: Экология. – 2024. – С. 13-16. <https://doi.org/10.24412/3007-8946-2024-20-13-16>
- [3] Драбова Т. В., Абдугалипова Н. М., Турабджанов С. М., Рахимова Л. С. Аналитический контроль состава ионов железа в водах рек и каналов как источников сбросов сточных вод предприятий // Наука, образование, производство для противодействия техногенным угрозам и решению экологических проблем. Техносферная безопасность – 2023: Материалы XX Международной научно-практической конференции. – Уфа, 2023. – С. 234-238.
- [4] Турабджанов С. М., Понамарёва Т. В., Каюмова И. К., Рахимова Л. С. Исследование химического состава поверхностных вод // Проблемы экологии и экологической безопасности. Создание новых полимерных материалов: Материалы VII Международной заочной научно-практической конференции, посвященной Всемирному дню охраны окружающей среды. – Минск, 2020. – С. 68-69.
- [5] Турабджанов С. М., Кедельбаев Б. Ш., Кушназаров П. И., Бадритдинова Ф. М., Понамарева Т. В., Рахимова Л. С. Новый подход к синтезу поликонденсационных ионообменных полимеров для очистки сточных вод // Известия Нацио-

нальной академии наук Республики Казахстан. Серия геология и технические науки. – 2019. – Т. 2, № 434. – С. 206-216. <https://doi.org/10.32014/2019.2518-170X.56>

[6] Турабджанов С. М., Понамарёва Т. В., Юсупова Д. А., Назиров З. Ш., Рахимова Л. С. Исследование сорбции ионов меди из сточных вод фосфорнокислым катионитом // Химическая безопасность. – 2018. – Т. 2, № 2. – С. 173-182. <https://doi.org/10.25514/CHS.2018.2.14115>

[7] Турабджанов С. М., Понамарёва Т. В., Назиров З. Ш., Тураева Д. Ш., Рахимова Л. С. Изучение сорбции ионов тяжелых металлов полученным катионитом // Инновационные материалы и технологии – 2020: Материалы Международной научно-технической конференции молодых ученых. – Минск, 2020. – С. 536-538.

[8] Назиров З. Ш., Понамарёва Т. В., Аметова Д. Р., Рахимова Л. С. Перспективное использование сульфокатионита (СКДФ) в процессе водоподготовки // Проблемы экологии и экологической безопасности. Создание новых полимерных материалов: Материалы VII Международной заочной научно-практической конференции, посвященной Всемирному дню охраны окружающей среды. – Минск, 2020. – С.123-124.

[9] Рахимова Л. С., Турабджанов С. М., Понамарёва Т. В. Обессоливание артезианских вод сульфокатионитом на основе дифенилоксида и фурфурола // Актуальные научные и научно-технические проблемы обеспечения химической безопасности ASTICS-2018: Материалы IV Международной конференции. – Москва, 2018. – С. 103.

[10] Предприятие химической промышленности Республики Узбекистан АО «Максам-Чирчик» [Электрон. ресурс]. – URL: <https://maxam-chirchiq.uz/>

[11] Василенко Л. В., Никифоров А. Ф., Лобухина Т. В. Методы очистки промышленных сточных вод: Учебное пособие. – 2009. – С. 174.

[12] Драбкова Т. В., Абдудалипова Н. М., Рахматуллаев Ф. Н., Абдуллаева Д. К., Сайдикрамова У. Х. Оценка эффективности работы очистных сооружений водоснабжения и перспективы улучшения качества воды // Наука и инновации. – 2024. – Т. 3. – С. 31–35. <https://doi.org/10.5281/zenodo.13926371>

REFERENCES

[1] Law of the Republic of Uzbekistan «On Water and Water Use» dated 06.05.1993 No. 837-XII. <https://www.lex.uz/ru/docs/93202> (in Russ.).

[2] Drabkova T. V., Abdutalipova N. M., Shokhakimova A. A., Rakhmatullaeva N. T., Mukhamedova N. K. Analysis of the efficiency of wastewater treatment in the textile industry // In the World of Science and Education: Ecology. 2024. P.13-16. <https://doi.org/10.24412/3007-8946-2024-20-13-16> (in Russ.).

[3] Drabkova T. V., Abdutalipova N. M., Turabjanov S. M., Rakhimova L. S. Analytical control of the composition of iron ions in the waters of rivers and canals as sources of wastewater discharges from enterprises // Science, education, production to counteract man-made threats and solve environmental problems. Technosphere safety - 2023: Proceedings of the XX International scientific and practical conference. Ufa, 2023. P. 234-238 (in Russ.).

[4] Turabdzhanov S. M., Ponomareva T. V., Kayumova I. K., Rakhimova L. S. Study of the chemical composition of surface waters // Problems of ecology and environmental safety. Creation of new polymeric materials: Proceedings of the VII International correspondence scientific and practical conference dedicated to the World Environment Day. Minsk, 2020. P. 68-69 (in Russ.).

[5] Turabdzhanov S. M., Kedelbaev B. Sh., Kushnazarov P. I., Badritdinova F. M., Ponomareva T. V., Rakhimova L. S. New approach to the synthesis of polycondensation ion-exchange polymers for wastewater treatment // Bulletin of the National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan. Series: Geology and Technical Sciences. 2019. Vol. 2, No. 434. P. 206-216. <https://doi.org/10.32014/2019.2518-170X.56> (in Russ.).

[6] Turabdzhanov S. M., Ponomareva T. V., Yusupova D. A., Nazirov Z. Sh., Rakhimova L. S. // Study of copper ion sorption from wastewater by phosphate cation exchanger // Chemical safety. 2018. Vol. 2, No. 2. P. 173-182. <https://doi.org/10.25514/CHS.2018.2.14115> (in Russ.).

[7] Turabdzhanov S. M., Ponomareva T. V., Nazirov Z. Sh., Turaeva D. Sh., Rakhimova L. S. Study of sorption of heavy metal ions by the obtained cation exchanger // Innovative materials and technologies - 2020: Proceedings of the international scientific and technical conference of young scientists. Minsk, 2020. P. 536-538 (in Russ.).

[8] Nazirov Z. Sh., Ponomareva T. V., Ametova D. R., Rakhimova L. S. Promising use of sulfocation exchanger (SCEF) in the process of water treatment // Problems of ecology and environmental safety. Creation of new polymeric materials: Proceedings of the VII International correspondence scientific and practical conference dedicated to the World Environment Day. Minsk, 2020. P.123-124 (in Russ.).

[9] Rakhimova L. S., Turabdzhanov S. M., Ponomareva T. V. Desalination of artesian waters with sulfocationite based on diphenyl oxide and furfural // Actual scientific and scientific-technical problems of ensuring chemical safety ASTICS-2018: Proceedings of the IV International Conference. Moscow, 2018. P. 103 (in Russ.).

[10] Chemical industry enterprise of the Republic of Uzbekistan JSC "Maxam-Chirchiq" [Electronic resource]. – URL: <https://maxam-chirchiq.uz/> (in Russ.).

[11] Vasilenko L.V., Nikiforov A.F., Lobukhina T.V. Methods of industrial wastewater treatment. Tutorial. 2009. P. 174 (in Russ.).

[12] Drabkova T. V., Abdutalipova N. M., Rakhmatullaev F. N., Abdullaeva D. K., Saidikramova U. Kh. Evaluation of the efficiency of water supply treatment facilities and prospects for improving water quality // Science and Innovation. 2024. Vol. 3. P. 31-35. <https://doi.org/10.5281/zenodo.13926371> (in Russ.).

Т. В. Драбкова^{*1}, Н. М. Абдуталипова², Ф. Н. Рахматуллаев³, У. Н. Рахматов⁴

^{1*} Экология және қоршаған ортаны қорғау кафедрасының ассистенті

(Ташкент мемлекеттік техникалық университеті, Ташкент, Өзбекстан; tatyana111183@mail.ru)

² Техника ғылымдарының докторы, экология және қоршаған ортаны қорғау кафедрасының доценті
(Ташкент мемлекеттік техникалық университеті, Ташкент, Өзбекстан; nelly_dolls@mail.ru)

³ Техника ғылымдарының кандидаты, доцент, экология және қоршаған ортаны қорғау кафедрасының меңгерушісі (Ташкент мемлекеттік техникалық университеті, Ташкент, Өзбекстан; f.rakhmatullaev7@mail.ru)

⁴ Геология-минералогия ғылымдарының кандидаты, экология және қоршаған ортаны қорғау кафедрасының доценті (Ташкент мемлекеттік техникалық университеті, Ташкент, Өзбекстан; rakhmatov_1007@mail.ru)

ЎЗБЕКСТАННИҢ СУ РЕСУРСТАРЫНЫҢ МОНИТОРИНГІ ЖӘНЕ АҒЫНДЫ СУЛАРДЫ ТАЗАЛАУ ҮШІН ИОН АЛМАСТЫРҒЫШ ҚОНДЫРҒЫЛАРДЫ ПАЙДАЛАНУ ПЕРСПЕКТИВАЛАРЫ

Аннотация. Бұл зерттеуде өнеркәсіптік ағынды суларды төгу көздері ретінде қарастырылған Өзбекстан су ресурстарына мониторинг жүргізілді. Нәтижелер бірқатар зиянды заттардың концентрациясы – аммоний азоты (NH_4^+), нитрит азоты (NO_2^-), фосфаттар (PO_4^{3-}), темір (Fe) және судың кермектігі өзендер мен арналардағы рұқсат етілген нормалардан асып түсетінін көрсетті, бұл айтарлықтай экологиялық проблемаларды көрсетеді. Оларды шешу үшін авторлар су объектілеріне түсетін ағынды сулардың ластануын азайтудың тиімді әдісі ретінде өнеркәсіптік кәсіпорындарда иондық тазарту жүйесін енгізуді ұсынады. Құрамы әртүрлі ағынды суларды тазартуға арналған тәжірибелік қондырғының жұмысы қарастырылады. Алынған нәтижелер ағынды суларды тазарту үшін осы технологияның орындылығы мен тиімділігін растайды және қоршаған ортаға әсерді азайту және халықтың денсаулығын қорғау үшін заманауи шешімдерді енгізудің маңыздылығын атап көрсетеді.

Түйінді сөздер: мониторинг, ластаушы заттар, ағынды сулар, ион алмасу қондырғысы, сорбция.

T. V. Drabkova^{*1}, N. M. Abdutalipova², F. N. Rakhmatullaev³, U. N. Rakhmatov⁴

^{1*} Assistant of the Department of Ecology and Environmental Protection

(Tashkent State Technical University, Tashkent, Uzbekistan; tatyana111183@mail.ru)

² Doctor of technical sciences, Associate Professor of the Department of Ecology and Environmental Protection
(Tashkent State Technical University, Tashkent, Uzbekistan; nelly_dolls@mail.ru)

³ Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Head of the Department of Ecology and Environmental Protection (Tashkent State Technical University, Tashkent, Uzbekistan; f.rakhmatullaev7@mail.ru)

⁴ Candidate of Geological and Mineralogical Sciences, Associate Professor of the Department of Ecology and Environmental Protection (Tashkent State Technical University, Tashkent, Uzbekistan; rakhmatov_1007@mail.ru)

MONITORING OF WATER RESOURCES IN UZBEKISTAN AND PROSPECTS FOR THE USE OF ION-EXCHANGE PLANTS FOR WASTEWATER TREATMENT

Abstract. This study focuses on monitoring water resources in Uzbekistan, particularly those affected by industrial wastewater discharges. The results show that the concentrations of several harmful substances (ammonium nitrogen (NH_4^+), nitrite nitrogen (NO_2^-), phosphates (PO_4^{3-}), iron (Fe), and water hardness) in rivers and canals exceed permissible standards, indicating serious environmental concerns. To address these issues, the authors propose the use of ion-exchange treatment systems at industrial facilities as an effective method for reducing the pollution of wastewater discharged into natural water bodies. The performance of an experimental unit designed for the treatment of wastewater with varying compositions is examined. The results confirm the feasibility and efficiency of this technology, highlighting the importance of implementing modern treatment solutions to mitigate environmental impacts and protect public health.

Keywords: monitoring, pollutants, wastewater, ion exchange system, sorption.

<https://doi.org/10.55764/2957-9856/2025-2-13-20.16>

МРНТИ 39.01.81

УДК 55.556

М. А. Муздыбаев^{*1}, Д. К. Амантаев², А. Н. Кабдешев³, А. А. Амантай⁴

¹ Научный сотрудник (Международный научный комплекс «Астана», Астана, Казахстан;
murat.muz2209@gmail.com)

² Научный сотрудник (Международный научный комплекс «Астана», Астана, Казахстан;
damir.amantayev@gmail.com)

³ Научный сотрудник (Международный научный комплекс «Астана», Астана, Казахстан;
armankabdeshev@gmail.com)

⁴ Научный сотрудник (Международный научный комплекс «Астана», Астана, Казахстан;
aigerim.amantaeva36@gmail.com)

ДИНАМИКА ИЗМЕНЕНИЯ ПЛОЩАДИ ОЗЕРА ЕСИК В УСЛОВИЯХ ИЗМЕНЕНИЯ КЛИМАТА

Аннотация. Рассматривается мониторинг изменения уровня воды в озере Есик, расположенном в Казахстане, за период с 2016 по 2024 год. Актуальность исследования обусловлена воздействием изменения климата на водные ресурсы региона, что представляет собой серьезную проблему для экосистемы и населения. Цель работы заключается в анализе динамики уровня воды и выявлении факторов, влияющих на его колебания. В исследовании использованы методы гидрологических наблюдений, включая регулярные замеры уровня воды, а также метеорологические данные о температуре и осадках. Применение статистического анализа позволило выявить корреляции между изменениями уровня воды и климатическими факторами. Практическое значение работы заключается в необходимости разработки мер по охране экосистемы озера Есик в условиях глобального изменения климата. Результаты исследования могут быть полезны для количественной оценки влияния сезонных гидрологических процессов на водные ресурсы при формировании стратегий управления водными ресурсами с учетом того, что водой из озера обеспечивается ГЭС Есик.

Ключевые слова: озеро Есик, изменение климата, атмосферные осадки, температура воздуха, термический режим озера, ледовый режим озера, водный режим озера.

Введение. Озеро Есик, расположенное в живописном Есикском ущелье Иле Алатау на высоте около 1760 м над ур. м., является одним из важных водоемов Казахстана. Оно было образовано в результате горного обвала на одноименной реке 8–10 тыс. лет назад, что привело к созданию естественной плотины высотой около 300 м. Питание озера происходит по реке Есик, которая считается самой прозрачной рекой Иле Алатау и образуется от слияния двух притоков: левого – реки Жарсай и правого – реки Тескенсу. Левый приток начинается с одноименного ледника, в цирке которого находятся сложные перевалы. Далее река Жарсай течет по глубокому каньону с водопадами, откуда произошло ее название (Жарсай – обрывистая лощина). Река Тескенсу вытекает из-под древней морены, образовавшей озеро Бозколь. Слившись на высоте 2200 м, обе реки получают название Есик и текут 96 км сначала по узкому Есикскому ущелью, а затем по равнине, впадая в реку Иле только в многоводное лето.

Первые исследования, отраженные в литературе, проведены в 1909 году Георгием Константиновичем Гинсом [1].

Изучение озера Есик осуществляли в рамках гляциологических работ в Иле Алатау Дюсенов Е. Д. [2], Капица В. П., Шахгеданова М. В., Усманова З. С., Северский И. В., Благовещенский В. П., Касаткин Н. Е. [3].

На реке Есик довольно часто происходят гляциальные селевые потоки, что значительно влияет на озеро Есик. 6 июля 1958 г. крупный гляциальный сель сформировался в долине р. Есик при прорыве озера под ледником Жарсай. Прорыв начался подземным путём, после обрушения кровли тоннеля он продолжился поверхностным путём. Объём озера составлял 250 тыс. м³, объём селя – 4 млн м³. Сель остановился в котловине завального озера Есик, пройдя 13 км и уничтожив много елового леса на дне долины. Всего через пять лет 7 июля 1963 г. по тому же пути и сценарию здесь

прошёл уже катастрофический сель. Его объём – 5,8 млн м³. Расходы селевого потока достигали 7 000 – 12 000 м³/с. Котловина озера Есик не смогла сдержать сель такого масштаба. Под напором волн высотой до 5,5 м, поднятых в озере селом, завальная плотина не выдержала. В ней образовался проран, через который озеро объёмом 18 млн м³ вытекло почти полностью, сформировав вторичный сель. Сель прошёл по всей долине р. Есик и вызвал разрушения в г. Есике на конусе выноса [4].

Рельеф бассейна озера Есик крутосклонный и глубоко расчлененный, с острыми зубчатыми гребнями хребтов и крутыми обрывистыми склонами. Климат в районе озера определяется его высотным расположением. Среднегорный пояс, на котором находится озеро Есик, характеризуется умеренным климатом.

В последние десятилетия уровень воды в озере стал предметом активных исследований. Изменения климата, включая глобальное потепление, оказывают значительное влияние на гидрологические условия региона. Увеличение температуры воздуха, изменение режима осадков и таяние ледников в горных районах приводят к изменению уровня воды в озерах и реках.

В частности, озеро Есик испытывает давление со стороны как природных факторов, так и антропогенной деятельности, включая забор воды для гидроэнергетики. Ниже озера располагается каскад Есикских деривационных ГЭС, для которых используются водные ресурсы озера Есик.

Мониторинг уровня воды в озере Есик с 2016 по 2024 год представляет собой важный шаг к пониманию динамики этого водоема в условиях изменения климата. Цель этого исследования заключается в анализе изменений уровня воды и выявлении факторов, влияющих на его колебания. Используя методы гидрологических наблюдений и статистического анализа, мы стремимся определить основные тенденции и закономерности, которые могут помочь в разработке стратегий управления водными ресурсами.

Кроме того, результаты исследования имеют практическое значение для оценки состояния экосистемы озера Есик и разработки мер по ее охране. В условиях глобальных климатических изменений важно не только понимать текущие процессы, но и предсказывать возможные сценарии развития ситуации в будущем. Таким образом, это исследование направлено на создание научной базы для принятия обоснованных решений в области охраны окружающей среды и устойчивого использования водных ресурсов.

Материалы и методы. В научно-исследовательской работе использованы различные источники данных. В таблице 1 приведен их список:

Таблица 1 – Исходные данные исследования

Table 1 – Initial data of the research

Тип данных	Источник	Годы	Показатели	Пространственное разрешение, м
Цифровая модель рельефа	USGS SRTM [5]	2000	Уклон, аспект	30
Спутниковые снимки	Sentinel 2 [6], Landsat 8 [7]	2016-2024	NDWI, спектральные индексы	10
Климатические данные	Веб-портал «Погода и климат»	1938-2024	Средняя температура воздуха, °С	–
	РГП «Казгидромет»	2000-2024	Сумма осадков, мм	–

Подготовлен и реализован алгоритм анализа динамики площади озера Есик на платформе Google Earth Engine (на языке JavaScript) [8]. Он состоял из следующих этапов:

1. Проведена предварительная обработка данных Sentinel-2: а) применена маска облачности QA60 для фильтрации снимков Sentinel-2; б) отобраны данные по ключевым месяцам (апрель, май, август, сентябрь); в) получен нормализованный индекс разности вод (NDWI) по каналам 3 (зеленый) и 8 (NIR); г) создана водная маска по пороговому значению NDWI > 0,3.

2. Рассчитаны площади водной поверхности путем агрегации пикселей водной маски; дан анализ сезонной динамики площади воды.

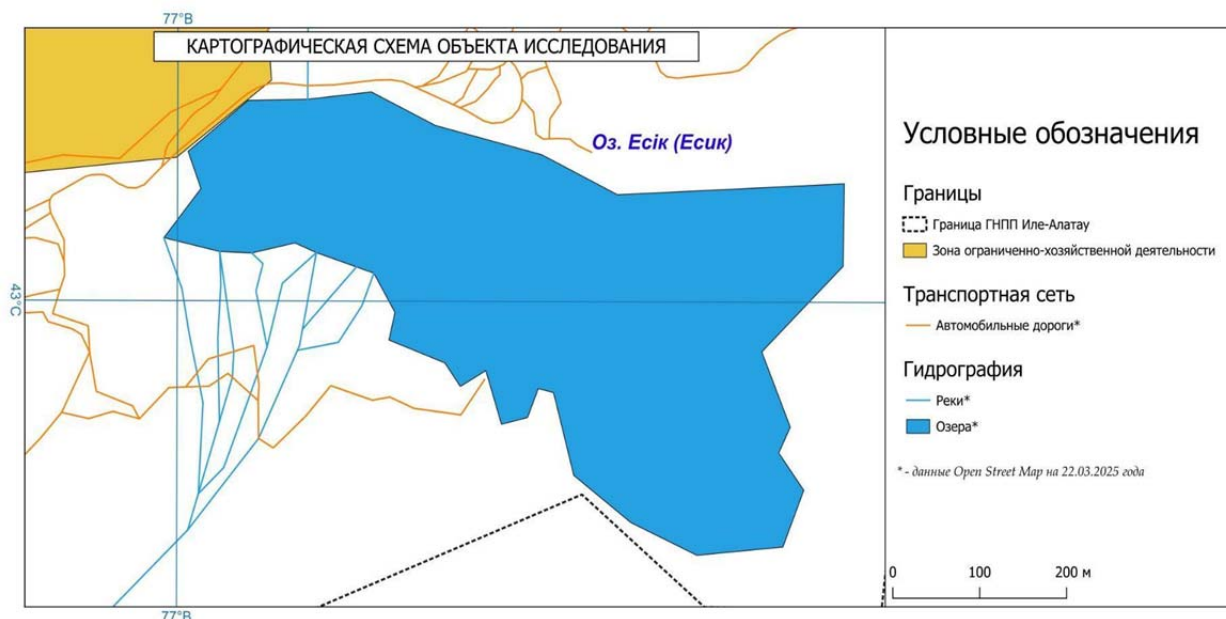


Рисунок 1 – Картографическая схема объекта исследования

Figure 1 – Cartographic scheme of the research object

3. Проанализированы временные ряды: а) созданы RGB-композиции для дат с экстремальными значениями площади воды; б) построены временные ряды изменения площади озера; в) построен график динамики площади воды в озере Есик.

Примененная методология обеспечила комплексную оценку гидрологической динамики озера Есик с учетом сезонных колебаний и многолетних изменений водного режима.

Результаты и их обсуждение. Алгоритм анализа изменений озера Есик на платформе Google Earth Engine позволил рассчитать динамику площади озера. Составлен график динамики площади озера (рисунок 1), варьирующей от 171,8 до 226,0 тыс. м². Наблюдается пик значений в 2022 году (226,0 тыс. м²), после чего происходит небольшое снижение до 207,8 тыс. м² к 2024 году (рисунок 2).

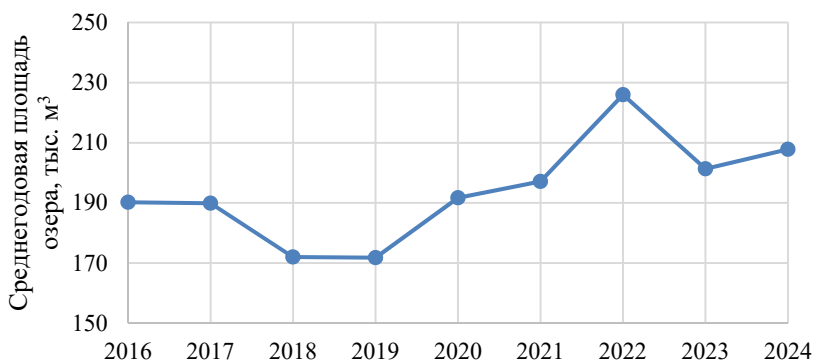


Рисунок 2 – Динамика среднегодовых площадей озера Есик с 2016 по 2024 г.

Figure 2 – Dynamics of the average annual area of Lake Esik from 2016 to 2024

Спутниковые снимки Sentinel-2 показали динамику изменения озера Есик в разные периоды времени. Изображения демонстрируют четыре состояния водоема: 01.08.2022 г. наблюдается максимальный уровень заполнения озера (рисунок 3, а); 01.04.2023 г. зафиксирован минимальный уровень воды в озере (см. рисунок 3, б), 08.09.2023 г. озеро заполнено водой больше (см. рисунок 3, в), 18.09.2024 г. (см. рисунок 3, г) заметны незначительные изменения в береговой линии.

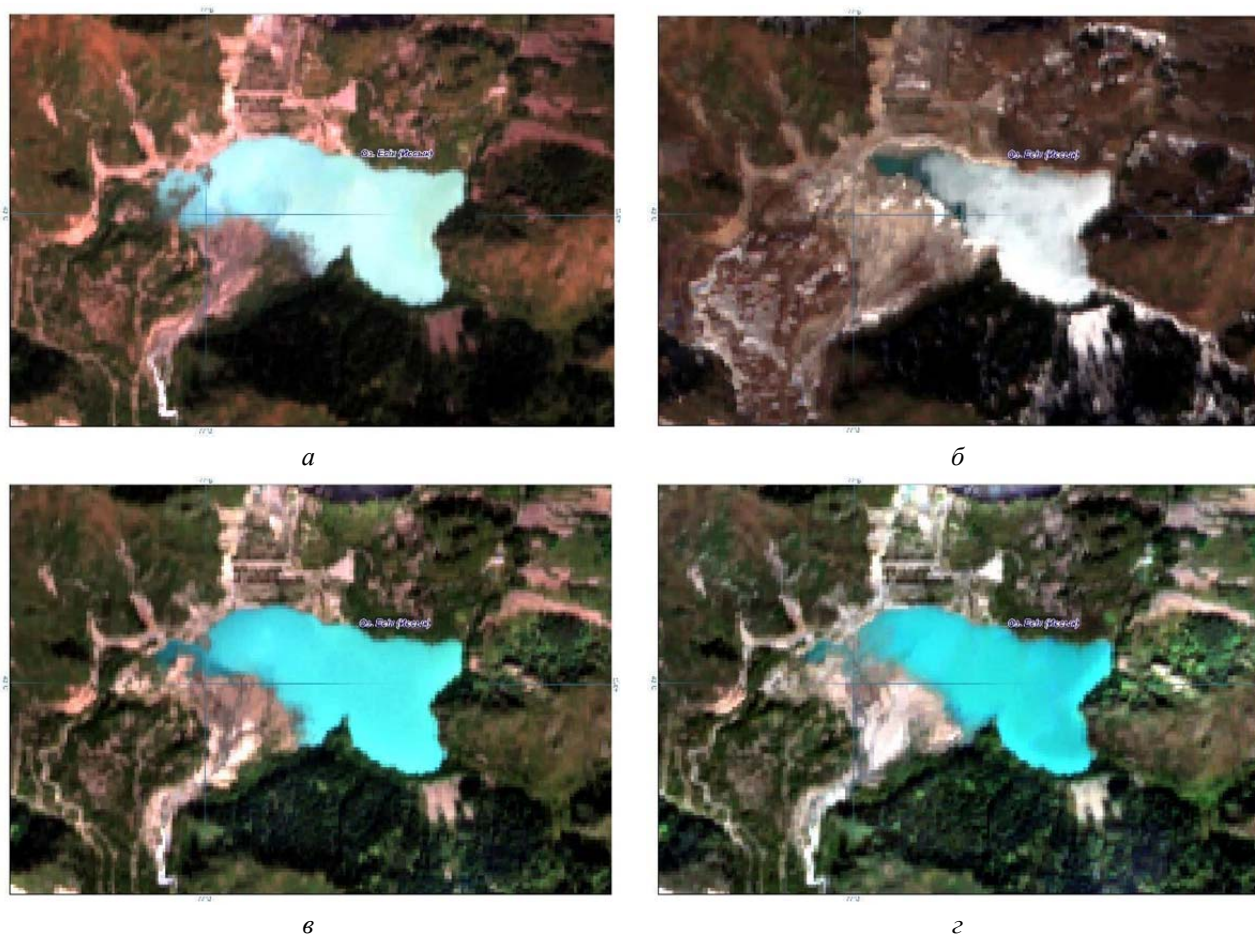


Рисунок 3 – Динамика изменения озера Есик на космических снимках Sentinel 2:

a – максимальный уровень озера (съемка от 01.08.2022 г.); *б* – минимальный уровень озера (съемка от 01.04.2023 г.);
в – съемка от 08.09.2023 г.; *г* – съемка от 18.09.2024 г.

Figure 3 – The dynamics of Lake Esik changes in Sentinel 2 satellite images: *a* – the maximum lake level (taken on 08/01/2022);
b – the minimum lake level (taken on 04/01/2023); *c* – taken on 09/08/2023; *d* – taken on 09/18/2024

Влияние изменений климата на гидрологический режим озера. В ущелье, в котором расположено озеро Есик, находится одна метеостанция в городе Есике. Климатические характеристики по метеостанции Есик представлена в таблице 2 [9].

Таблица 2 – Климатические характеристики по метеостанции Есик
 Table 2 – Climatic characteristics of the Esik weather station

Показатели	I*	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Год
Средняя температура воздуха, °C (1938-2024 гг.)	-4,8	-3,9	2,2	10,1	15,2	19,9	22,4	21,1	16,0	8,7	1,6	-3,0	8,8
Сумма осадков, мм (2000-2024 гг.)	37	44	74	97	93	46	35	30	29	58	66	40	649
*Станция.													

Среднегодовая температура воздуха составляет 8,8°C. Самым холодным месяцем является январь – средняя месячная температура воздуха -4,8°C, самым тёплым месяцем – июль + 22,4°C (рисунок 4, *a*). В многолетнем разрезе с 1938 по 2023 год наблюдается увеличение среднегодовой температуры воздуха в среднем с 8,0 до 9,6°C (см. рисунок 4, *б*). Особенно это заметно с начала XXI века.

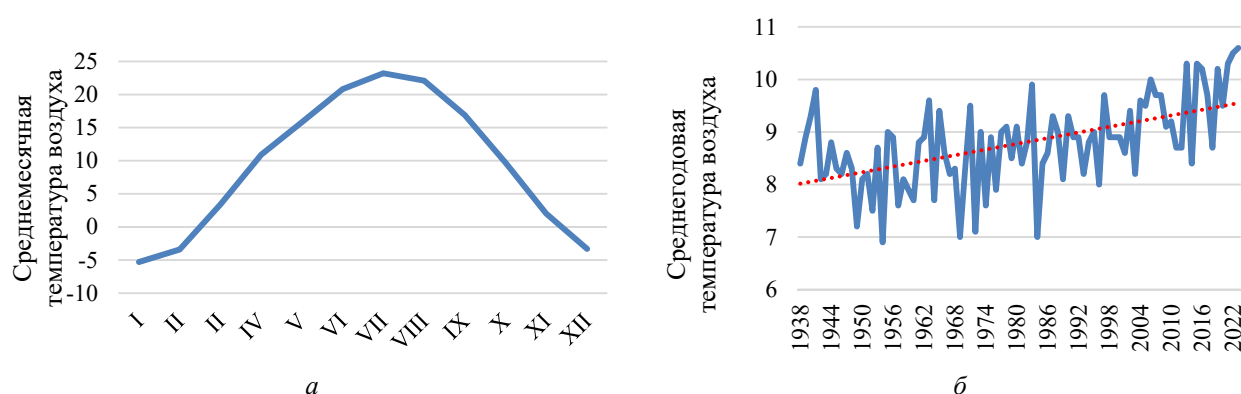


Рисунок 4 – Динамика среднегодовой температуры воздуха в районе озера Есик с 1938 по 2023 год:
 а – среднегодовая температура воздуха; б – многолетняя динамика среднегодовой температуры воздуха с 1938 по 2023 г.

Figure 4 – Dynamics of the average annual air temperature in the area of Lake Esik from 1938 to 2023:
 а – average annual air temperature; б – long-term dynamics of average annual air temperature from 1938 to 2023

Материалы по наблюдениям за осадками носят разрозненный характер, поэтому приняты во внимание данные с 2000 г. (таблица 2) [10]. Среднегодовое количество осадков характерно для горных территорий и составляет 649 мм. Внутригодовое распределение осадков носит неоднородный характер (рисунок 5, а). Максимальное количество осадков выпадает в весенний период. Также большое количество осадков отмечается в октябре-ноябре. Минимум осадков наблюдается в июле-сентябре.

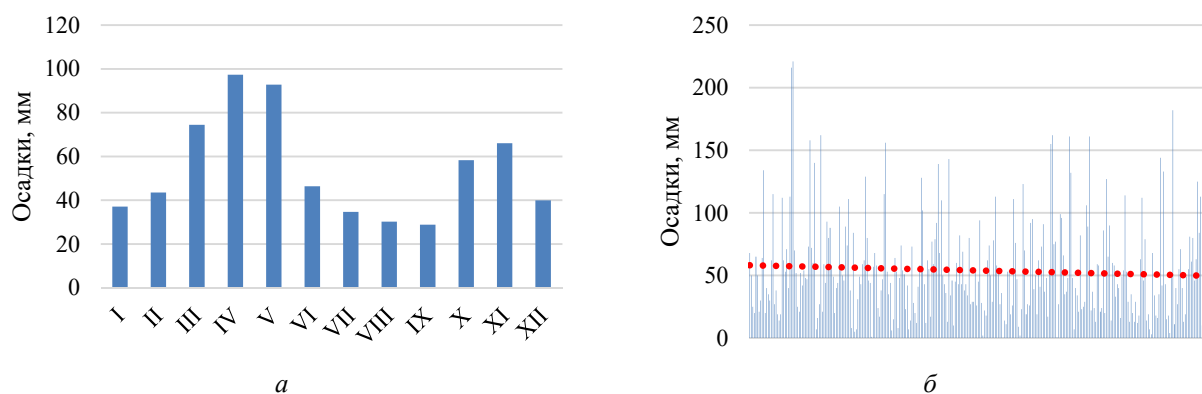


Рисунок 5 – Динамика осадков в районе озера Есик:
 а – внутригодовое распределение осадков; б – сумма месячных осадков с 2000 по 2024 г.

Figure 5 – Precipitation dynamics in the area of Lake Esik:
 а – intraannual precipitation distribution, б – the sum of monthly precipitation from 2000 to 2024

Анализ данных показал, что тренд осадков идет на снижение, несмотря на вариативность среднегодовых значений объема озера, количество осадков в озере Есик имеет тенденцию к снижению (см. рисунок 5, б). Количество осадков за указанный период снизилось на 12%. Основными факторами, влияющими на изменение площади озера, являются увеличение температуры воздуха, уменьшение количества осадков в регионе и антропогенное воздействие. Эти изменения могут быть связаны с глобальными климатическими изменениями.

Увеличение температуры воздуха, уменьшение количества осадков влияют на площади ледников бассейна реки Есик. Так, площади открытой части ледников в бассейне реки Есик уменьшились с 49,5 км² в 1955 году до 28 км² в 2022 году (таблица 3) [11]. Данный факт в дальнейшем может негативно отразиться на озере Есик.

Из-за потепления в гляциально-нивальном зоне Иле Алатау на более ранние сроки сдвинулись даты начала таяния снега и устойчивого перехода температуры воздуха через 0°C весной и на более поздние сроки осенью, что также свидетельствует об увеличении продолжительности теплого периода.

Таблица 3 – Динамика площади открытой части ледников в бассейне реки Есик

Table 3 – Dynamics of the area of the open part of glaciers in the Esik River basin

Бассейн	Площадь открытой части ледников, км ²				
	1955	1990	2006	2014	2022
Есик	49,5	37,95 ± 2,34	34,24 ± 2,60	31,09 ± 2,12	28,03 ± 1,97

Таким образом, основными климатическими факторами, влияющими на сокращение оледенения Иле Алатау, являются устойчивый рост температур теплого периода и увеличение продолжительности периода абляции. Кроме того, на озеро Есик влияет расположенный в северо-западной части озера водозабор Есикского каскада ГЭС.

Оценка антропогенного влияния на химический состав озера Есик. Анализ показывает, что вода в озере по водородному показателю нейтральна, некоторые параметры не превышают норму (хлориды, сульфаты, нитраты, нефтепродукты), а остальные компоненты в воде не обнаружены (таблица 4).

Таблица 4 – Показатели качества воды озера Есик в сравнении с ПДК

Table 4 – Water quality indicators of Lake Esik in comparison with MPC

Показатели	ПДК (по 2-му классу качества)	Оз. Есик	
		Фактическая концентрация	Превышение ПДК
pH	6,5-8,5	7,63	Нейтр.
БПК ₅ , мг/дм ³	2,1	Не обн.	–
ХПК, мг/дм ³	15	Не обн.	–
Хлориды, мг/дм ³	350	7,1	0,02
Сульфаты, мг/дм ³	100	24,97	0,25
СПАВ, мг/дм ³	0,1	Не обн.	–
Азот аммонийный, мг/дм ³	0,5	Не обн.	–
Нитриты, мг/дм ³	0,1	Не обн.	–
Нитраты, мг/дм ³	40	1,7	0,04
Фосфаты, мг/дм ³	0,4	Не обн.	–
Нефтепродукты, мг/дм ³	0,05	0,01	0,2

Все показатели находятся значительно ниже предельно допустимых концентраций для водоемов 2-го класса качества, что свидетельствует о высокой чистоте воды в озере Есик.

Закключение. Таким образом, изменения климата проявились в термическом и ледовом режиме озера неоднозначно. Наряду с очевидными последствиями, такими, как повышение температуры воды летнего периода, увеличение количества дней с температурой воды более 10°C, снижение продолжительности периода с ледовыми явлениями, уменьшение толщины льда и другие, выявлены факты более раннего перехода температуры воды через 4°C и сокращения количества дней с температурой выше нее, более раннего начала ледовых явлений и увеличения продолжительности ледостава.

В уровненом режиме озер преобладает циклический характер изменений, обусловленный режимом атмосферных осадков. К последствиям, вызванным потеплением климата, можно отнести отмечающиеся в отдельные периоды нарушения согласованности изменений уровня воды и атмосферных осадков, выразившиеся в снижении уровня при выпадении осадков, превышающих норму.

Результаты показывают тенденцию к значительному снижению сумм месячных осадков на 12 % за указанный период, увеличению среднегодовой температуры воздуха, что влияет на уменьшение площади акватории озера. Это подтверждает влияние глобального потепления на местные климатические условия. Кроме того, исследование выявило важность антропогенных факторов, таких, как забор воды для орошения сельскохозяйственных угодий и гидроэнергетики, что также негативно сказывается на уровне воды в озере.

Климатические изменения, антропогенное воздействие оказывают серьезное влияние на экосистему, включая уменьшение площади ледников. Ледники являются основным источником питания озера Есик, и их уменьшение в дальнейшем будет негативно сказываться на экосистеме водоема. Сокращение площади ледников приводит к снижению поступления воды в озеро, что может повлиять на его уровень воды, а также на флору и фауну.

Качественные характеристики воды озера Есик не показывают каких-либо превышений по химическим показателям, что говорит о чистоте озерной воды.

Итак, полученные результаты подтверждают выводы других исследований о негативном воздействии изменения климата на водные ресурсы Казахстана. Снижение уровня воды в озере Есик может привести к ухудшению состояния экосистемы и потере биоразнообразия. Необходимы меры по охране водоемов и адаптации к новым климатическим условиям.

Финансирование. Исследование выполнено при финансовой поддержке Комитета науки Министерства науки и высшего образования Республики Казахстан (грант No AP19679133).

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Таранчи и дунгане (Очерки из поездки по Семиречью) // Исторический вестник. – 1911. – № 8. Режим доступа: <https://www.vostlit.info/Texts/Dokumenty/M.Asien/XX/1900-1920/Gins/text1.htm>
- [2] Дуйсенов Е. Д. Селевые потоки в Зайлийском Алатау. – Алма-Ата, 1971. – 192 с.
- [3] Капица В. П., Усманова З. С., Северский И. В., Благовещенский В. П., Касаткин Н. Е., Шахгеданова М. В. Ледниковые озера Иле (Зайлийского) Алатау: состояние, современные изменения, вероятные риски // Геориск. – Москва, 2018. – Том XII, № 3. – С. 68-78.
- [4] Медеу А. Р., Благовещенский В. П., Касаткин Н. Е., Капица В. П., Касенов М. К., Раймбекова Ж. Т. Гляциальные сели в Зайлийском Алатау за последние 120 лет // Лёд и снег. – Москва, 2020. – № 60(2). – С. 213-224.
- [5] Meadows M., Jones S., Reinke K. Vertical accuracy assessment of freely available global DEMs (FABDEM, Copernicus DEM, NASADEM, AW3D30 and SRTM) in flood-prone environments // Int J Digit Earth. – 2024. – Vol. 17, No. 1.
- [6] Google Earth Engine. Harmonized Sentinel-2 MSI: MultiSpectral Instrument, Level-2A – Режим доступа: https://developers.google.com/earth-engine/datasets/catalog/COPERNICUS_S2_SR_HARMONIZED. 2017.
- [7] Özalkan E. Water body detection analysis using NDWI indices derived from landsat-8 OLI // Pol J. Environ Stud. – 2020. – Vol. 29, No. 2. – P. 1759-1769.
- [8] Mutanga O., Kumar L. (2019). Google Earth Engine Applications // Remote Sensing, 11(5), 591.
- [9] Справочно-информационный портал «Погода и климат». – Летопись погоды в Есике, 2024. – Режим доступа: <http://www.pogodaiklimat.ru/history/36885.htm>.
- [10] РГП «Казгидромет». – Метеорологическая база данных, 2025. – Режим доступа: https://meteo.kazhydromet.kz/database_meteo/.
- [11] Северский И. В., Муканова Б. А., Капица В. П., Таткова М. Е., Кокарев А. Л., Шестерова И. Н. Изменение оледенения северного склона Иле Алатау за семидесятилетний период // Вестник КазНУ. Серия географическая. 2024. – Вып. 73, № 2. – С. 59-71.

REFERENCES

- [1] Gins A. (n.d.). From the diary of a participant in the 1910 expedition to Xinjiang. – Access mode: <https://www.vostlit.info/Texts/Dokumenty/M.Asien/XX/1900-1920/Gins/text1.htm>, free (in Russ.).
- [2] Duisenov E. D. Mudflows in the Zailiysky Alatau. Alma-Ata, 1971. 192 p. (in Russ.).
- [3] Kapitsa V. P., Shakhgedanova V., Usmanova Z. S., Severskiy I. V., Blagoveshchenskiy V. P., Kasatkin N. E. Glacial lakes of the Ili (Zailiysky Alatau): condition, current changes, probable risks // Georisk, 12(3) (in Russ.).
- [4] Medeu A. P., Blagoveshchenskiy V. P., Kasatkin N. E., Kapitsa V. P., Kasenov M. K., Raymbekova Z. T. (2020). Glacial debris flows in the Zailiysky Alatau over the past 120 years // Ice and Snow. M., 2020. No. 60. P. 213-224 (in Russ.).
- [5] Meadows M., Jones S., Reinke K. (2024). Vertical accuracy assessment of freely available global DEMs (FABDEM, Copernicus DEM, NASADEM, AW3D30 and SRTM) in flood-prone environments. International Journal of Digital Earth, 17(1).
- [6] Google Earth Engine. (2017). Harmonized Sentinel-2 MSI: MultiSpectral Instrument, Level-2A. – Access mode: https://developers.google.com/earth-engine/datasets/catalog/COPERNICUS_S2_SR_HARMONIZED.
- [7] Özalkan E. (2020). Water body detection analysis using NDWI indices derived from Landsat-8 OLI // Polish Journal of Environmental Studies. 29(2), 1759-1769.
- [8] Kumar L., Mutanga O. (2019). Google Earth Engine Applications // Remote Sensing, 11(5), 591.
- [9] Reference and Information Portal “Weather and Climate.” (2024). Weather chronicle in Esik. – Access mode: <http://www.pogodaiklimat.ru>, free. (in Russ.).
- [10] RSE “Kazhydromet.” (2025). Meteorological database. Access mode: https://meteo.kazhydromet.kz/database_meteo/ (in Russ.).
- [11] Severskiy I. V., Mukanova B. A., Kapitsa V. P., Tat'kova M. E., Kokarev A. L., Shesterova I. N. (2024). Changes in glaciation of the northern slope of the Ili Alatau over a seventy-year period // Bulletin of KazNU. Series: Geography, 73(2), 59-71 (in Russ.).

М. А. Муздыбаев*¹, Д. К. Амантаев², А. Н. Қабдешев³, А. А. Амантай⁴

¹ Ғылыми қызметкер («Астана» Халықаралық ғылыми кешені, Астана, Қазақстан;
murat.muz2209@gmail.com)

² Ғылыми қызметкер («Астана» Халықаралық ғылыми кешені, Астана, Қазақстан;
damir.amantayev@gmail.com)

³ Ғылыми қызметкер («Астана» Халықаралық ғылыми кешені, Астана, Қазақстан;
armankabdeshev@gmail.com)

⁴ Ғылыми қызметкер («Астана» Халықаралық ғылыми кешені, Астана, Қазақстан;
aigerim.amantaeva36@gmail.com)

КЛИМАТТЫҢ ӨЗГЕРУІ ЖАҒДАЙЫНДАҒЫ ЕСІК КӨЛІНІҢ АУМАҒЫНЫҢ ӨЗГЕРУ ДИНАМИКАСЫ

Аннотация. Бұл мақалада 2016-2024 жылдар аралығындағы кезеңде Қазақстанда орналасқан Есік көліндегі су деңгейінің өзгеру мониторингі қарастырылады. Зерттеудің өзектілігі климаттың өзгеруінің аймақтың су ресурстарына әсеріне байланысты, бұл экожүйе мен халық үшін үлкен проблема болып табылады. Жұмыстың мақсаты – су деңгейінің динамикасын талдау және оның ауытқуына әсер ететін факторларды анықтау. Зерттеуде су деңгейін жүйелі түрде өлшеуді қоса алғанда, гидрологиялық бақылау әдістері, сондай-ақ температура мен жауын-шашынға қатысты метеорологиялық деректер пайдаланылды. Статистикалық талдауды қолдану су деңгейінің өзгеруі мен климаттық факторлар арасындағы корреляцияны анықтады.

Жұмыстың практикалық маңызы жаһандық климаттың өзгеруі жағдайында Есік көлінің экожүйесін қорғау жөніндегі шараларды әзірлеу қажеттілігінде жатыр. Зерттеу нәтижелері Су ресурстарын басқару стратегияларын қалыптастыру кезінде маусымдық гидрологиялық процестердің су ресурстарына әсерін сандық бағалау үшін пайдалы болуы мүмкін, өйткені көлден су Есік ГЭС-мен қамтамасыз етіледі.

Түйін сөздер: Есік көлі, климаттың өзгеруі, атмосфералық жауын-шашын, ауа температурасы, көлдің жылу режимі, көлдің мұз режимі, көлдің су режимі.

М. А. Muzdybaev*¹, D. K. Amantayev², A. N. Kabdeshev³, A. A. Amantai⁴

¹ *Researcher (International Scientific Complex «Astana», Astana, Kazakhstan;
murat.muz2209@gmail.com)

² Researcher (International Scientific Complex «Astana», Astana, Kazakhstan;
damir.amantayev@gmail.com)

³ Researcher (International Scientific Complex «Astana», Astana, Kazakhstan;
armankabdeshev@gmail.com)

⁴ Researcher (International Scientific Complex «Astana», Astana, Kazakhstan;
aigerim.amantaeva36@gmail.com)

DYNAMICS OF THE YESIK LAKE'S SURFACE AREA UNDER CLIMATE CHANGE CONDITIONS

Abstract. This study examines changes in the water level of the Yesik Lake, located in Kazakhstan, over the period from 2016 to 2024. The relevance of the research stems from the increasing impact of climate change on regional water resources, which poses serious challenges to both the local ecosystem and population. The aim of the study is to analyze the dynamics of the lake's water level and to identify key factors contributing to its fluctuations. The research employs hydrological observation methods, including regular water level measurements, as well as meteorological data on temperature and precipitation. Statistical analysis was used to reveal correlations between water level variations and climatic parameters. The practical significance of the study lies in the need to develop measures to preserve the ecosystem of the Yesik Lake in the face of global climate change. The findings can contribute to a quantitative assessment of the influence of seasonal hydrological processes on water resources and support the development of water resource management strategies, particularly given the lake's role in supplying water to the Yesik Hydroelectric Power Station.

Keywords: Lake Yesik, climate change, atmospheric precipitation, air temperature, thermal regime of the lake, ice regime of the lake, water regime of the lake.

<https://doi.org/10.55764/2957-9856/2025-2-21-29.17>

FTAMP 37.27.03

37.27.17

37.27.21

ӨОЖ 556.55; 556.51

С. К. Алимкулов¹, А. Б. Мырзахметов², Г. Р. Баспакова^{*3},
Д. Ә. Рүстем⁴, А. Р. Загидуллина⁵, Г. Исақан⁶

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

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

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

⁴ Магистрант, жетекші инженер (Әл-Фараби атындағы ҚазҰУ, «География және су қауіпсіздігі институты»
АҚ, Алматы, Қазақстан; rustem.darkhan@mail.ru)

⁵ Ғылыми қызметкер («География және су қауіпсіздігі институты» АҚ, Алматы, Қазақстан;
zagidullina_a_88@mail.ru)

⁶ Ғылыми қызметкер («География және су қауіпсіздігі институты» АҚ, Алматы, Қазақстан;
caira_t1412@mail.ru)

БАЛҚАШ КӨЛІНІҢ БАТЫС ЖӘНЕ ШЫҒЫС БӨЛІКТЕРІ АРАСЫНДАҒЫ СУ АЛМАСУДЫҢ ӨЗГЕРГІШТІГІ

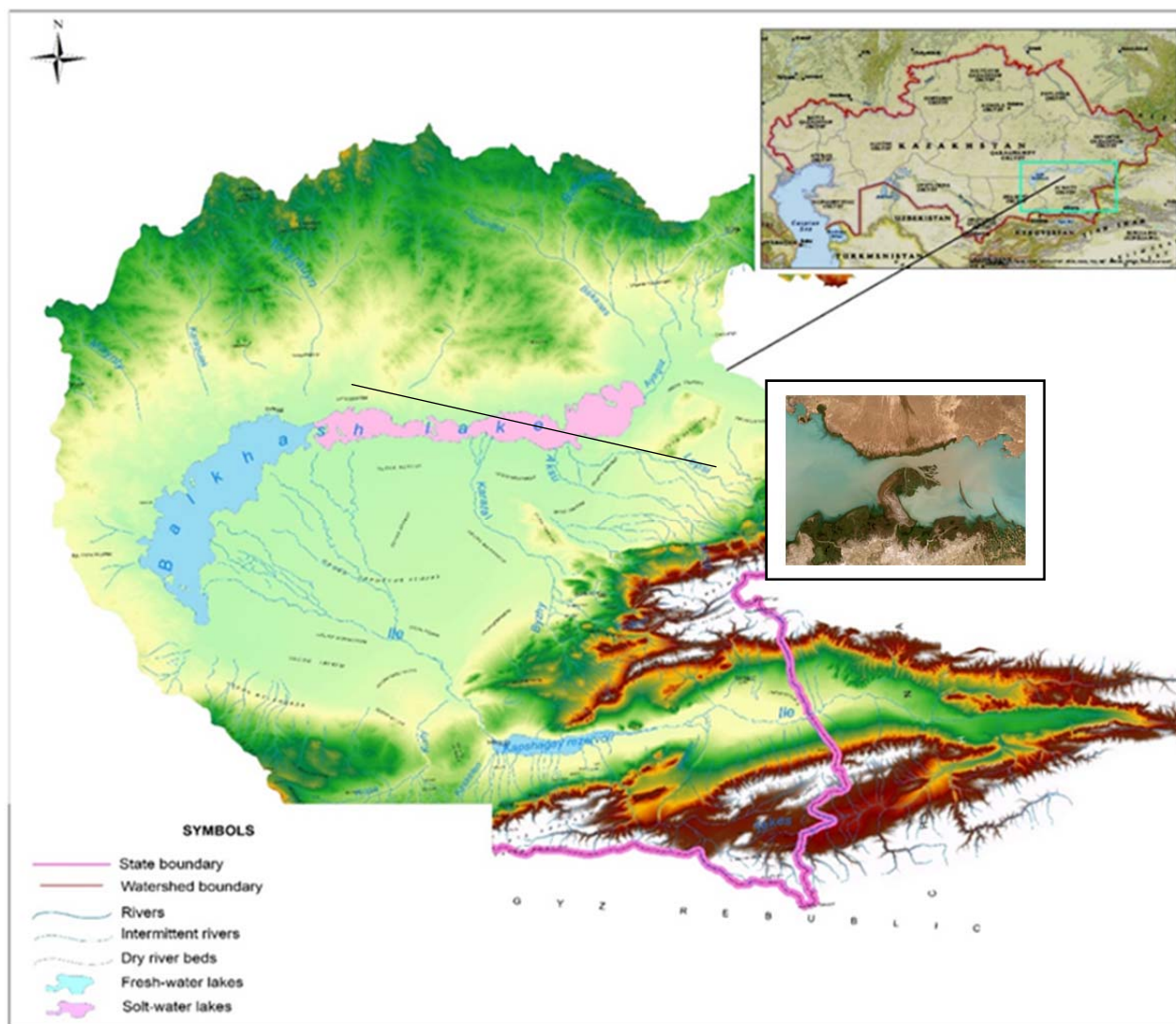
Аннотация. Мақалада 2024 жылы жүргізілген далалық гидрометриялық бақылаулар негізінде Балқаш көлін батыс және шығыс бөліктерге бөліп тұрған Ұзынарал бұғазындағы тұстамада су ағынының жылдамдығы мен көлемінің өзгергіштігі қарастырылады. Зерттеу барысында гидродинамикалық үдерістердің кеңістіктік-уақыттық заңдылықтарын анықтауға мүмкіндік беретін бұғаздағы су өтімін өлшеуді қамтыды. Бұл өлшеулерге тұстамадағы судың бағытын, жылдамдығын, арнаның көлденең қимасын жатқызуға болады. Ағындының заңдылығын анықтау үшін, оның динамикасына әсер ететін метеорологиялық факторларға, соның ішінде атмосфералық қысымға, желге және ауа температурасына ерекше назар аударылады. Алынған деректерді талдау нәтижесінде су ағынының бағыты мен қарқындылығы осы факторларға тәуелді екенін көрсетті. Зерттеу нәтижелерін Балқаш көлінің гидродинамикасын модельдеуге, су деңгейі режимі мен оның тендестігінің өзгеруін болжауға, сонымен қатар су жинау алабындағы өзен ағындысын басқару стратегияларын әзірлеу үшін пайдалануға болады.

Түйін сөздер: су ағыны, Ұзынарал бұғазы, гидродинамика, ағын жылдамдығы, экспедициялық зерттеулер, су алмасу, өлшеу жұмыстары.

Кіріспе. Балқаш көлі дүние жүзіндегі ірі ішкі табиғи су айдындарының бірі болып табылады, оның сақталып қалуы Іле және Жоңғар Алатауынан бастау алатын өзен суына тәуелді [1]. Көлдің ерекшелігі болып, оның суының химиялық құрамы Іле өзені құятын батыс бөлігінде тұщы, ал шығыс бөлігінде судың жоғары минералдануымен сипатталып екі бөлікке бөлінуінде. Ұзынарал бұғазы осы бөліктердің арасындағы су алмасуда маңызды рөл атқарады [2-4]. Көлдегі судың тепе-теңдігіне әсер ететін Ұзынарал бұғазындағы су ағынының алмасу қарқындылығы көл деңгейінің маусымдық өзгерістерде айқын байқалады. Сонымен қатар, Балқаш көлінің екі бөлігінің арасындағы су алмасудың жағдайына әсер ететін маңызды факторлардың бірі – жергілікті барико-айналым жағдайларымен анықталатын аумақтағы жел режимі болып табылады.

Балқаш-Алакөл су жинау алабының таулы аймақтарында тау-аңғарлық желдер байқалса, Балқаш, Алакөл және Сасықкөл көлдерінің жағалау аймақтарында бриз желдері соғады. Солтүстік және оңтүстік Балқаш жағалауындағы жазық аймақтарда солтүстік-шығыс желінің күші басым. Желдің орташа жылдық жылдамдығы 1,5–2 м/с құрайды, ал максималды мөлшері сәуір-мамыр айларында байқалады [5, 6].

Балқаш көліндегі су алмасу заңдылықтарын зерттеу мақсатында жылдың әр мезгілінде жүргізілген далалық өлшеу жұмыстары Ұзынарал бұғазы арқылы өтетін су алмасудың ерекше-



1-сурет – Зерттеу нысаны

Figure 1 – Object research

ліктерін айқындайтын мәліметтер жинақтауға мүмкіндік берді. 1-суретте зерттеу нысанының орналасу карта-схемасы келтірілген.

Ұзынарал бұғазы Балқаш көлінің батыс және шығыс бөліктері арасындағы су алмасуды реттейтін маңызды гидрологиялық құрылым болып табылады және одан ағып өтетін судың өтіміне әдетте бірнеше күрделі факторлардың әсері байқалады: жел, толқындық үдерістер, сейш тербелістері, су ағыны мен көлдегі су тығыздығының айырмашылығы. Алайда, су тығыздығының ағынға әсері шамалы екені байқалады, өйткені гидрохимиялық және термиялық зерттеулердің деректері Батыс пен Шығыс Балқаш арасындағы өтпелі аймақта су температурасы мен оның минералдануының шамасында күрт өзгерістерін анықтамаған [7, 8]. Сонымен қатар, бұғаздағы ағынды сулардың жылдамдығы төмен. Егер жарияланған деректерге сүйенетін болсақ, онда Батыс Балқаштан шығысқа бағыттағы су ағынының жылдық көлемі $1-3 \text{ км}^3$ шамасында бағаланады. Осыған сүйене отырып, Ұзынарал бұғазындағы ағынның орташа жылдамдығы шамамен $2-6 \text{ м/с}$ болуы керек, алайда бұғазда жүргізілген нақты өлшемдер ағынның жылдамдығы әдетте $0,1-0,2 \text{ м/с}$ диапазонында өзгеретінін көрсетеді [9-11]. Ағыс жылдамдығы уақыт өте келе өзгеріп, сейш және жел процестерінің әсерінен болатын синусоидалы тербелістерден болатыны байқалады. Бұл жағдайда көл суының қозғалысы Шығыс және Батыс бағытта өзгергергіштігін метеорологиялық факторлардың әсерінен болатын заңдылықты анықтауды талап етеді.

Зерттеу әдістері мен материалдары. Балқаш көліне келіп түсетін су көздерінің барлығы дерлік булануға жұмсалады және Ұзын-Арал бұғазы арқылы Балқаштың батыс және шығыс бөліктері арасындағы күрделі су алмасу жағдайында оларда әртүрлі тұз режимдері мен судың минералдану дәрежесінің айырмашылығы байқалады. Көлдің шығыс бөлігінде судың минералдануы 4 г/л-ден асады, ал батыс бөлігіне құятын Іле өзенінің салыстырмалы түрде әлсіз минералданған суларының әсерінен батыс бөлігі тұщы. Бұл бөліктегі судың минералдануы 0,5-1,5 г/л аспайды. Жыл сайын Балқаш көлінің батыс бөлігінен шығыс бөлігіне Ұзынарал бұғазы арқылы судың айтарлықтай көлемі ағып келеді. Бірақ бұғазда батыстан шығысқа қарай тұрақты ағыс болмағанына қарамастан, батыстан шығысқа қарай жылжыған су көлемі шығыстан батысқа қарағанда көбірек болып келеді. Орташа алғанда бұл ағындардың айырмашылығы жылына 1,15 км³ құрайды. Су алмасудың қарқындылығы (ағынның көлемі) ағынға байланысты динамикалық сипатқа ие және көлдің батыс бөлігінің минералдану жағдайына әсер етеді. Балқаш көлінің екі бөлігі арасындағы тепе-теңдік ағынын зерттеген ғалымдар көп емес, дегенмен XX ғасырдың 30-шы жылдарының басынан 80-ші жылдарының аяғына дейін жүргізілген зерттеулердің белгілі нәтижелері бар. Бұрын жүргізілген зерттеулердің нәтижесіне сүйене отырып [12-20], Балқаш көлінде мұз жамылғысы болмайтын кезеңде әртүрлі табиғатына сай пайда болатын ағындардың әрекет ететіні белгілі болды. Ағындардың қалыптасуындағы тұрақты себеп ретінде, әдетте, өзен суларының келуі аталып өтеді [21, 22], ал уақытша фактор ретінде су бетіне желдің әсері мен соған байланысты су деңгейінің көтерілуі мен төмендеуі (сгон-нагон) көрсетіледі. Аталған факторлардың бірлескен әрекетінің нәтижесінде пайда болған ағындардың жылдамдығы, мысалы, Г. Р. Юнусовтың мәліметтері бойынша, Батыс Балқаштың кең бөліктерінде 0,2-0,3 м/с, ал тар тұстарында 0,8-1,2 м/с-қа дейін жетеді. Шығыс және Батыс Балқаш сулары Ұзынарал бұғазынан өтіп, тек қайталама-ауыспалы жылжып қана қоймай, сонымен қатар Сарыесік түбегінің шығысында да, батысында да орналасқан айналымға қатысатындығы су алмасуының өзіне тән ерекшелігі болып табылады. Нәтижесінде, Шығыс Балқаш суларының басым ауысуы Ұзынарал бұғазынан оңтүстік-батыс бағытта, ал Батыс Балқаш суларының басым ауысуы Ұзынарал бұғазынан оңтүстік-шығыс бағытта, яғни айналымдардың орналасуына сәйкес келеді. Айналымдардың болуы сулардың айтарлықтай көлденең араласуына ықпал етеді [10].

Балқаш көліндегі жиынтық ағындарды қалыптастыратын негізгі ағын түрлеріне жоғарыда қарастырылған сейшалық, желдік, толқындық, тығыздыққа байланысты ағындар жатады. Аталған әрбір ағын түрі тұрақталған күйде, даму немесе бәсеңдеу кезеңінде болуы мүмкін. Желдік ағын, сонымен қатар, дрейфтік - яғни жел бағытымен бағытталған, және компенсациялық – яғни желге қарсы бағытта әсер ететін ағыс түрінде болуы мүмкін.

Табиғи өлшеу деректері арқылы қандай да бір ағын түрін жеке дара зерттеу мүмкін болмағандықтан, бұл жерде және төменде келтірілетін барлық әдеби деректер мен соңғы жылдары жүргізілген далалық зерттеулер нәтижелері жиынтық ағын ретінде қарастырылады.

Сейштік және желдік ағындар арқылы мұз жамылғысы жоқ кезеңде судың жиынтық тасымал көлемі негізінен 130–150 км³ мөлшерінде болады, ал ең жоғары мәні 170 км³-ге дейін жетеді.

Мұз жамылғысы жоқ кезеңде Ұзынарал бұғазы арқылы сейштік және желдік ағындармен су тасымалының есептік көлемі 60 км³-ге тең болған, бұл осы учаске бойынша тікелей өлшеулер негізінде алынған көлемнен небәрі 7,5%-ға ғана артық [23].

Бұл жұмыста негізгі зерттеу әдісі ретінде гидрометриялық өлшеулер қолданылды. Далалық өлшеу мәліметтерін жинау мақсатында География және су қауіпсіздігі институтының қызметкерлері жылдың әр мезгілінде (қыста, жазда және күзде) жүйелі зерттеу жұмыстарын жүргізді.

Атап айтқанда, алғашқы далалық өлшеу жұмыстары 2022 жылдың 19 қыркүйегі мен 12 қазаны аралығында өтті. Кейінірек, 2024 жылы келесі кезеңдерде қайталама экспедициялар ұйымдастырылды:

10-15 ақпан;

19 тамыз – 27 қыркүйек;

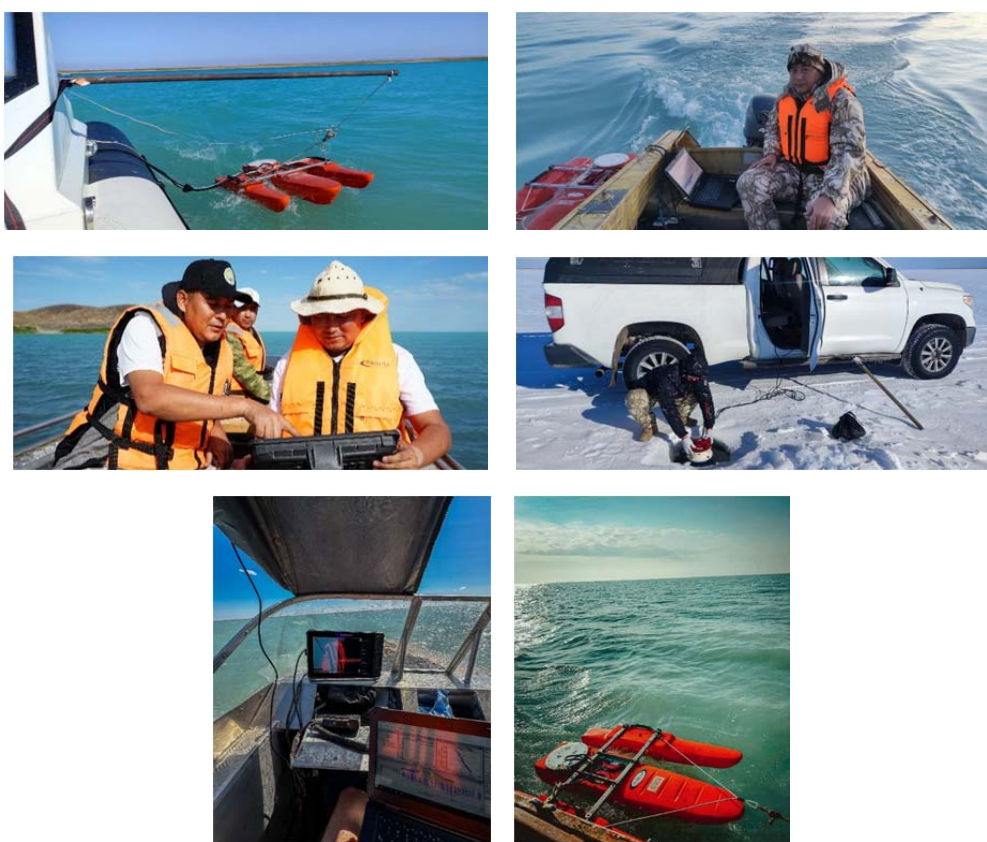
19-22 қараша.

2024 жылы жүргізілген зерттеу жұмыстары Ұзынарал бұғазы тұстамасында ғылыми-зерттеу жобаның міндеттерін орындауға бағытталды. Экспедиция барысында су бетінің гидрометеорологиялық жағдайын жүйелі бақылау мақсатында гидрометриялық тұстама белгіленіп, су ағынының жылдамдығын, су деңгейінің өзгерісін және белгілі бір уақыт ішінде өтетін су көлемін

өлшеу жұмыстарын жүргізді. Сонымен қатар, желдің әсерінен пайда болатын толқындар режимі мен көлдегі ағындардың жалпы сипаттамалары зерттелді.

2024 жылғы экспедициялық өлшеу жұмыстары 19 тамыз бен 27 қыркүйек аралығында ағынның орташа жылдамдығы 0,01–0,46 м/с-ты тіркеді, бұл тіркелген максималды мәндерден едәуір төмен (3,63 м/с дейін). Бұл сыртқы метеорологиялық факторларға да, су айналымының жергілікті ерекшеліктеріне де байланысты бұғаздағы гидродинамикалық жағдайлардың айқын өзгергіштігін көрсетеді. Бұғаздағы ағындар су алмасу кезеңдеріндегі жылдамдықтар мен бағыттардың айтарлықтай өзгеруімен сипатталады. Тұстамадағы ағынның бағыты 90°-тан 180°-қа дейін өзгеруі мүмкін, бірақ мұндай жағдайлар әдетте қысқа уақытқа созылады. Бағыты мен жылдамдығы тұрақсыз ағындар айтарлықтай және күшті дауылдар кезінде айқын байқалады, бірақ әлсіз сейш немесе компенсаторлық ағындардың әсерінен де көл ағынының өзгермелілігі әрдайым қозғалыста екенің өлшеу жұмыстары кезінде анықталды.

Гидрометриялық өлшеулер "Rio Grande" маркалы Acoustic Doppler Current Profiler (ADCP) класына жататын жоғары дәлдіктегі заманауи акустикалық профилографтың көмегімен жүргізілді (2-сурет).

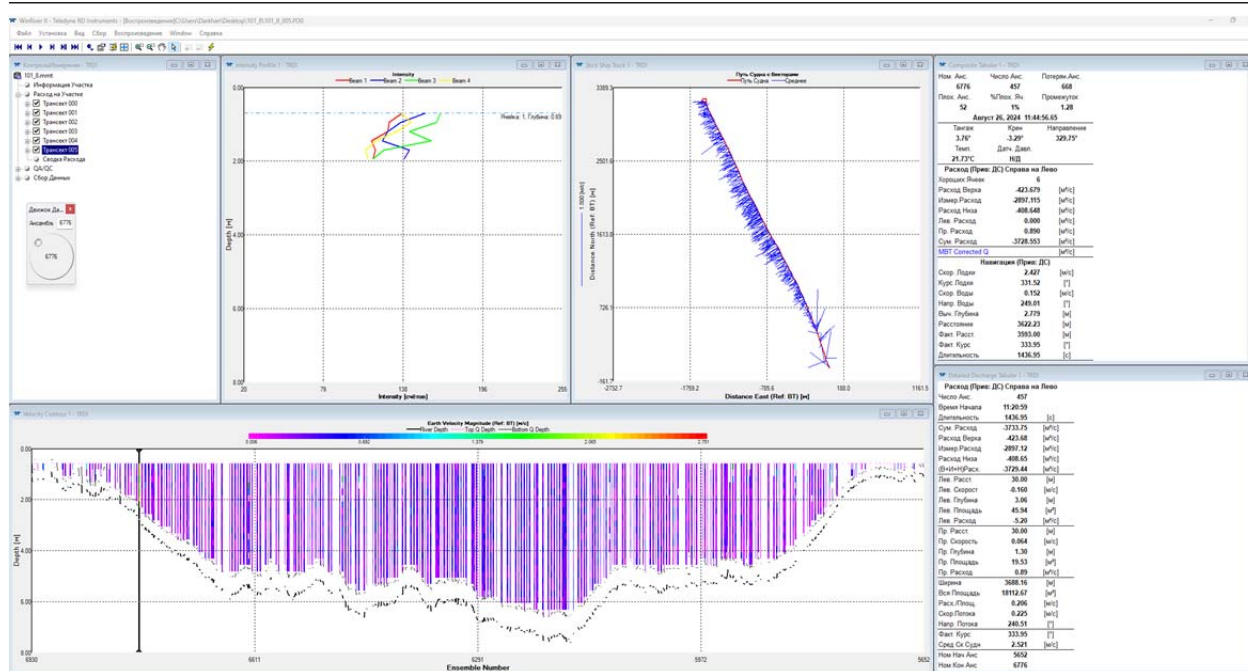


2-сурет – Ұзынарал бұғазындағы далалық өлшеу жұмыстары
Figure 2 – Field Measurement Surveys in the Uzynaral Strait

Бұғаздың көлденең қимасында өлшеу жұмыстарын жүргізу кезінде келесі элементтер анықталды:

- Қима сызығы бойымен бүкіл ені бойынша тереңдік өлшеніп, қимыл көлденең қиманың ауданы есептелді.
- Өлшенген ағын жылдамдықтарының негізінде аралықтардың орташа және ең жоғарғы жылдамдықтары мен судың бағыты анықталды.

Өлшеу жұмыстары кезінде профилограф "Rio Grande" құрылғысын WinRiver II бағдарламалық тілімен тікелей басқару арқылы өлшенді. WinRiver II бағдарламалық тілі өлшеу кезіндегі өзгерістерді байқауға және өлшеу мәліметтерін қабылдап өңдеу мен визуализациялауға мүмкіндік берді (3-сурет).



3-сурет – Ұзынарал бұғазының WinRiver II бағдарламасындағы көлденең қимасы

Figure 3 – Cross-Section of the Uzynaral Strait in the WinRiver II Software

Бұл құралдар арқылы тұстамада жалпы саны 55 гидрометриялық өлшеулер жүргізіліп әр түрлі уақытта ағыс жылдамдығы мен оның бағытын нақты анықтауға мүмкіндік берді. Жиналған мәліметтер бұғаздың гидрологиялық ерекшеліктерін бағалауға, сондай-ақ көлдегі су алмасу процестерін болжауға маңызды негіз болып табылады.

Нәтижелер мен талқылаулар. Балқаш көлінің батыс және шығыс арасындағы ағынның тепе-теңдігімен бірнеше ғалымдар айналысқан, XX ғасырдың 30-80 жылдардың аяғына дейін жүргізілген зерттеулер белгілі нәтижелер көрсеткен. Сонымен, жекелеген ғалымдар (Р. Д. Курдин және С. А. Рубинович) жыл сайынғы тепе-теңдік ағынымен қатар жел ағындарының әсерінен болатын ағын бар деген қорытындыға келген, оның мәні екі бағытта да шамамен $78,2 \text{ км}^3/\text{жыл}$ [24] өзгергіштігін анықтаған. Табиғи бақылау материалдары бұл шаманың нақты мәнге жақын екенін растайды. Г. Р. Юнусова мәліметтері бойынша, Ұзынарал бұғазындағы ағынды жылдамдығы екпінді желдің басында $1,07\text{--}0,85 \text{ м/с}$ болса, толқынның соңында $0,21 \text{ м/с}$ дейін ауытқиды. Жел басылғаннан кейін пайда болған сейштік ағындар жылдамдығы $0,25\text{--}0,27 \text{ м/с}$ болды десе, «Гидроэнергопроект» Ленинград филиалының мәліметі бойынша бұғаздағы ең жоғары жылдамдық 1954-1955 жж. $0,51 \text{ м/с}$, ал орташа жылдамдық $0,19 \text{ м/с}$ шамасында болған. БГМО деректері бойынша бұғаздағы су өтімі солтүстік-шығыстан соққан желдің күші $3\text{--}7 \text{ м/с}$ болған кезде $3600\text{--}5400 \text{ м}^3/\text{с}$ құрап, оңтүстік-батыстан соққан желмен $11300 \text{ м}^3/\text{с}$ жететіндігін есептеген [25].

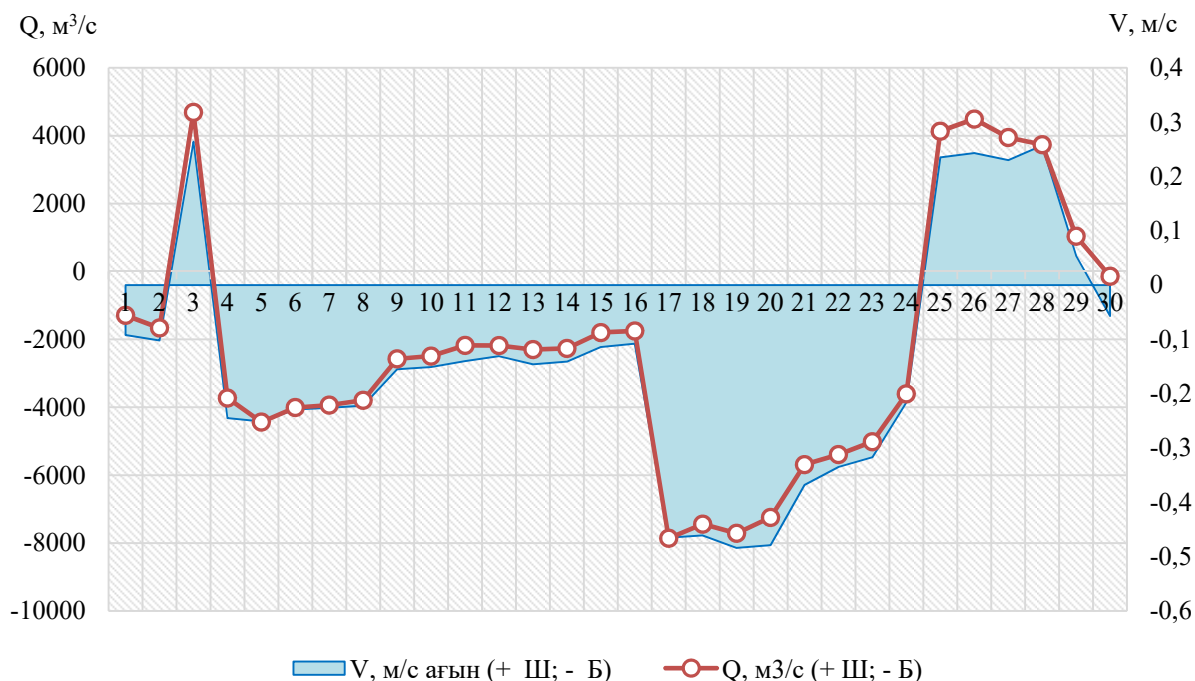
Далалық өлшеулердің нәтижелері. Экспедициялық жұмыстар жүргізу барысында Ұзынарал бұғазында Балқаш көлінің батыс және шығыс бөліктері арасындағы су ағынына 30 рет өлшеу жүргізілді. Бұндай зерттеулер көлдің су теңдестігін бағалауға, экожүйелік басқару мен су деңгейінің өзгеруінің қоршаған ортаға әсерін болжауда үлкен маңызға ие.

Далалық өлшеулердің нәтижесі бойынша Ұзынарал бұғазындағы су ағынының мөлшері бағытына қарай өзгеріп отырады. Олар батыс бағытта $138\text{--}7858 \text{ м}^3/\text{с}$ -қа дейін, ал шығыс бағытта $1040\text{--}4689 \text{ м}^3/\text{с}$ -қа дейін жетеді. Өлшемдер іс жүзінде бірдей су тереңдігінде жүргізілді, ол $7,02\text{--}7,87$ метрге дейінгі аралықты құрады.

Тәулік ішінде ағымдағы жылдамдықтың айтарлықтай өзгеруі байқалды. Су ағынының максималды жылдамдығы $3,63 \text{ м/с}$ -қа дейін, орташа жылдамдықтары $0,07\text{--}0,458 \text{ м/с}$ аралығында болды. Ағынның жылдамдығы күндізгі уақытта өзгередіні атап өткен жөн: таңертеңнен түске дейін, содан кейін күннің екінші жартысынан кешке дейінгі өзгерістер. Бұл өзгерістер метеорологиялық факторлардың, соның ішінде атмосфералық қысымның, температураның және әсіресе жел бағытының ауытқуларына байланысты.

Ұзынарал бұғазында іс жүзінде нөлден 7,86 мың м³/с дейін су өтімінің кең ауқымды өзгерістері байқалатын өлшеулермен қамтылды. Бұл деректер ҚазКСР ГМС Брис экспедициясы жүргізген өлшеулер нәтижелерімен қанағаттанарлық түрде сәйкес келеді және оларды айтарлықтай толықтырады [9-11]. Көлдің іргелес бөліктері арасындағы су алмасудың нақты шамалары су теңдестігін есептеу арқылы алынғандардан едәуір үлкен. Жалпы су алмасудың абсолютті мәндері жел ағындарымен судың тасымалдануын есепке алу негізінде алынған шамаларға (екі бағытта да Ұзынарал бұғазы арқылы жылына 71-213 км³) жақын мәнге ие [24].

Ағын жылдамдығы мен су өтімінің байланысы. 4-суретте Ағын жылдамдығы мен су өтімінің өзара байланыс графигі көрсетілген. График деректері бұл екі параметр арасында **тікелей тәуелділік** бар екенін көрсетеді. Уақыт аралығында ағын бағыты бірнеше рет өзгеріп, кейбір кезеңдерде шығысқа (оң мәндер), ал кейбірінде батысқа (теріс мәндер) бағытталған.



4-сурет – Ағын жылдамдығы мен су өтімінің байланыс графигі
Figure 4 – Graph of the Relationship Between Flow Velocity and Discharge

Ағын жылдамдығы мен су өтімінің өзгерістері бір-біріне сәйкес келіп, олардың арасында тікелей тәуелділік бар екенін көрсетеді. Бұл жағдай көлде сейштік, желдік немесе тығыздыққа байланысты ағыс түрлерінің әсер етуі мүмкін екенін көрсетеді.

Бақылауларға сүйене отырып, желдің жиынтық ағындарды қалыптастыруда негізгі шешуші факторлардың бірі екені анықталды. Желдің әсерінен пайда болатын дрейфтік және компенсациялық ағындар көлдегі су массаларының қозғалысына тікелей ықпал етіп, жиынтық ағынның бағыты мен қарқындылығын анықтайды. Қарқынды желдер су ағынының бағытын өзгертеді, бұл Балқаш көлінің гидродинамикасы және оның батыс және шығыс бөліктері арасындағы ағын үшін ерекше маңызды. Бұл зерттеу нәтижелері көлдегі су массаларының өзгергіштігін одан әрі модельдеу және ауа райы жағдайына байланысты ондағы су деңгейінің өзгеруіне болжау үшін пайдалы болады.

Қорытынды. Зерттеу нәтижелері Ұзынарал бұғазындағы су ағымының динамикасы күрделі кеңістіктік-уақыттық өзгерістерге ұшырайтынын көрсетті. Далалық гидрометриялық өлшеулер негізінде ағын жылдамдығы мен су өтімінің маусымдық және тәуліктік ауытқуларға бейім екені анықталды, бұл көбінесе желдің жылдамдығы мен бағыты, атмосфералық қысым мен температуралық жағдайлар сияқты метеорологиялық факторлардың ықпалымен түсіндіріледі. Ағын жылдамдығы мен су көлемінің арасындағы тәуелділік талдауы бұғаздағы су алмасу процестерінің жел әсеріне жоғары сезімтал екенін дәлелдеді. Сонымен қатар, жүргізілген өлшеулер бұғаз арқылы

өтетін су көлемінің жыл мезгілдеріне қарай айтарлықтай өзгеретінін көрсетіп, Балқаш көлінің су деңгейіне ықпал етуі мүмкін екенін көрсетті. Зерттеу нәтижелері Ұзынарал бұғазының гидродинамикалық моделін құру, көл деңгейінің болашақ өзгерістерін болжау және аймақтағы су ресурстарын тиімді басқару стратегияларын әзірлеу үшін маңызды ғылыми негіз бола алады. Бұдан бөлек, алынған мәліметтер өңірдегі экожүйелік тепе-теңдікті сақтау және су пайдалану тиімділігін арттыру мақсатында қолданылуы мүмкін.

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

ӘДЕБИЕТ

- [1] Проблемы гидроэкологической устойчивости в бассейне озера Балхаш / Под ред. А. Б. Самаковой. – Алматы: Издательство "Каганат", 2003. – 9 с.
- [2] Myrzakhmetov A., Dostay Z., Alimkulov S., Tursunova A., Sarsenova I. Level regime of Balkhash Lake as the indicator of the state of the environmental ecosystems of the region // Paddy Water Environ. – 2022. – Vol. 20. – P. 315-323. <https://doi.org/10.1007/s10333-022-00890-x>
- [3] Турсунов Э. А. Обоснование возможной отметки, при которой произойдет расчленение оз. Балхаш // Научные статьи. – 2015. – № 4. – С. 61-65.
- [4] Турсунов Э. А., Мадиебеков А. С., Кулебаев К. М. Современные морфометрические характеристики оз. Балхаш. // Ученые записки. – 2014. – № 34. – С. 43-47.
- [5] Достай Ж. Д. Управление гидроэкосистемой бассейна озера Балхаш. – Алматы, 2009. – 449 с.
- [6] Ресурсы поверхностных вод СССР. Т. 13. Центральный и Южный Казахстан. Вып.2. Бассейн озера Балхаш. – Л.: Гидрометеиздат, 1970. – 645 с.
- [7] Курдин Р. Д., Рубинович С. А., Внутриводоемный водо- и солеобмен и его роль в распределении минерализации воды по длине оз. Балхаш // Тр. КазНИГМИ. – 1975. – Вып. 52. – С. 40-63.
- [8] Браславский А. П., Чистяева С. П. Определение исправленных атмосферных осадков по методике ГГО // Труды КазНИГМИ. – 1979. – Вып. 65. – С. 3-94.
- [9] Актуальные проблемы гидрометеорологии озера Балкаш и Прибалкашья. – СПб.: Гидрометеиздат, 1995. – 269 с.
- [10] Многолетние колебания и изменения водного баланса и уровня оз. Балкаш и возможные модели их оценки прогноза на перспективу: дополнение к промежуточному отчету ГГИ по теме III. 23.03. Задание 10.02. Проблемы 0.85.01. плана ГКНТ. – Л., 1984. – 58 с.
- [11] Многолетние колебания и изменения водного баланса и уровня оз. Балкаш, возможные модели их оценки и прогноза на перспективу: Дополнение к промежуточному отчету о НИР «Дать оценку современной и прогнозной динамики гидрологического режима озера Балкаш, Каспийского и Аральского морей: (Сводный отчет за 2009–2011 гг.)». – Алматы, 2011. – 250 с.
- [12] Дуйсенов С. Т. Характеристика ветрового режима и карта результирующих ветровых полей над оз. Балхаш // Труды КазНИГМИ. 1980. – Вып. 55. – С. 92-111.
- [13] Исследование течений в озерах и водохранилищах (практическое пособие). – Л.: Гидрометеиздат, 1972. – 320 с.
- [14] Судольский А. С. Структура ветровых течений и методика их расчета: Автореф. дис. ... докт. техн. наук. – 1982. – 34 с.
- [15] Судольский А. С. Ветровые течения на некоторых водоемах ограниченных размеров // Труды ГГИ. – 1969. – Вып. 196. – С. 123-159.
- [16] Судольский А. С. Некоторые черты и режимные характеристики течений в западной части озера Балхаш и проливе Узынарал // Труды II Всесоюз. конференции «Динамика и термика рек, водохранилищ и эстуариев»: Тезисы докл. – М., 1984. – Т. 1. – С. 136-137.
- [17] Фомин Л. М. Об инерционных колебаниях в горизонтально-неоднородном поле скорости течения в океане // Изв. АН СССР. Сер. ФАО. – 1979. – Т. 9, № 1. – С. 147-157.
- [18] Алимкулов С. К., Мырзахметов А. Б., Турсунова А. А., Таиров А. З., Болатов К. М. Особенности перетока воды в проливе Узынарал озера Балкаш // География и водные ресурсы. – 2022. – № 4. <https://doi.org/10.55764/2957-9856/2022-4-27-35.21>.
- [19] Турсунов Э. А., Мадиебеков А. С., Кулебаев К. М. Современные морфометрические характеристики оз. Балкаш // Ученые записки РГТМУ. – СПб., 2014. – С. 43-48.
- [20] Современное экологическое состояние бассейна озера Балхаш / Под ред. Кудекова. – Алматы: Изд-во «Канагат», 2002. – 388 с.
- [21] Домрачев П. Ф. Окончание гидрологических работ Балхашской научно-промысловой экспедиции в 1931 году // Изв. ГГИ. – 1931. – Т. 38. – С. 42-49.
- [22] Юнусов Г. Р. Гидрологический режим оз. Балхаш // III Всесоюз. гидрол. съезд. – Л., 1959. – С. 192-200.
- [23] Соколова А. А. Гидрологические и водохозяйственные аспекты Или-Балхашской проблемы. – 1989. – С. 155-199.
- [24] Курдин Р. Д., Рубинович С. А. Прогноз изменения водного баланса, уровня и минерализации воды оз. Балкаш на ближайшие десятилетия // Труды КазНИГМИ. – М.: Гидрометеиздат, 1975. – Вып. 52. – С. 64-86.
- [25] Ресурсы поверхностных вод СССР. Т. 13, вып. 2. Бассейн оз. Балкаш. – Л.: Гидрометеиздат, 1970. – 652 с.

REFERENCES

- [1] Problems of hydroecological sustainability in the Lake Balkhash basin / Edited by A.B. Samakova. Almaty: Publishing House "Kaganat, 2003. 9 p. (in Russ.).
- [2] Myrzakhmetov A., Dostay Z., Alimkulov S., Tursunova A., Sarsenova I. Level regime of Balkhash Lake as an indicator of the state of the environmental ecosystems of the region // Paddy Water Environ. 2022. Vol. 20. P. 315-323. <https://doi.org/10.1007/s10333-022-00890-x>
- [3] Tursunov E. A. Justification of a possible mark at which Lake Balkhash will be dissected // Scientific articles. 2015. No. 4. P. 61-65 (in Russ.).
- [4] Tursunov E. A., Madibekov A. S., Kulebayev K. M. Modern morphometric characteristics Lake Balkhash. // Scientific notes. 2014. No. 34. P. 43-47 (in Russ.).
- [5] Dostai Zh.D. Management of the hydroecosystem of Lake Balkhash basin. Almaty, 2009. 449 p. (in Russ.).
- [6] Surface water resources of the USSR. Vol. 13. Central and Southern Kazakhstan. Issue 2. Lake Balkhash basin. L.: Gidrometeoizdat, 1970. 645 p. (in Russ.).
- [7] Kurdin R. D., Rubinovich S. A., Intra-reservoir water and salt exchange and its role in the distribution of water mineralization along the length of Lake Balkhash // Proceedings of KazNIGMI. 1975. Issue 52. P. 40-63 (in Russ.).
- [8] Braslavsky A. P., Chistyayeva S. P. Determination of corrected atmospheric precipitation using the GGO method // Proceedings KazNIGMI. 1979. Issue. 65. P. 3-94 (in Russ.).
- [9] Actual problems of hydrometeorology of Lake Balkhash and the Balkhash region. SPb.: Gidrometeoizdat, 1995. 269 p. (in Russ.).
- [10] Long-term fluctuations and changes in the water balance and level of Lake Balkhash and possible models for their assessment and forecast for the future: Supplement to the interim report of the State Hydrometeorological Institute on topic III. 23.03. Task 10.02. Problems 0.85.01. of the State Committee on Science and Technology. L., 1984. 58 p. (in Russ.).
- [11] Long-term fluctuations and changes in the water balance and level of Lake Balkhash, possible models for their assessment and forecast for the future: Supplement to the interim report on R&D "To assess the current and forecast dynamics of the hydrological regime of Lake Balkhash, the Caspian and Aral Seas: (Summary report for 2009–2011)». Almaty, 2011. 250 p. (in Russ.).
- [12] Duisenov S. T. Characteristics of the wind regime and the map of resulting wind fields over Lake Balkhash // Proceedings of KazNIGMI. 1980. Issue 55. P. 92-111 (in Russ.).
- [13] Study of currents in lakes and reservoirs (practical guide). L.: Gidrometeoizdat, 1972. 320 p. (in Russ.).
- [14] Sudolsky A. S. Structure of wind currents and methods for their calculation. Abstract of dis. ... of Doctor of Technical Sciences. 1982. 34 p. (in Russ.).
- [15] Sudolsky A. S. Wind currents in some reservoirs of limited size // Proceedings of the State Hydrological Institute. 1969. Issue 196. P. 123-159 (in Russ.).
- [16] Sudolskii A. S. Some features and regime characteristics of currents in the western part of Lake Balkhash and the Uzunaral Strait // Proceedings of the II All-Union. Conference "Dynamics and Thermals of Rivers, Reservoirs and Estuaries": Abstracts of reports. Moscow, 1984. Vol. 1. P. 136-137 (in Russ.).
- [17] Fomin L. M. On inertial oscillations in a horizontally inhomogeneous field of current velocity in the ocean // Izvestiya AN SSSR. Ser. FAO. 1979. – Vol. 9, No. 1. P. 147-157 (in Russ.).
- [18] Alimkulov S. K., Myrzakhmetov A. B., Tursunova A. A., Tairov A. Z., Bolatov K. M. features of water flow in the Uzynaral strait of lake Balkhash // Geography and water resources. 2022. No. 4. <https://doi.org/10.55764/2957-9856/2022-4-27-35.21> (in Russ.).
- [19] Tursunov E. A., Madibekov A. S., Kulebaev K. M. Modern morphometric characteristics of Lake Balkhash // Scientific notes of the Russian State Hydrometeorological University. St.-Petersburg, 2014. P. 43-48 (in Russ.).
- [20] Modern ecological state of the Lake Balkhash basin // Ed. by Kudekov. Almaty: Kanagat Publishing House, 2002. 388 p. (in Russ.).
- [21] Domrachev P. F. Completion of hydrological works of the Balkhash scientific and industrial expedition in 1931 // Izvestiya GGI. 1931. Vol. 38. P. 42-49 (in Russ.).
- [22] Yunusov G. R. Hydrological regime of Lake Balkhash // III All-Union Hydrological Congress. L., 1959. P. 192-200 (in Russ.).
- [23] Sokolova A. A. Hydrological and water management aspects of the Ili-Balkhash problem. 1989. P. 155-199 (in Russ.).
- [24] Kurdin R. D., Rubinovich S. A. Forecast of changes in the water balance, level and mineralization of water in Lake Balkhash for the coming decades // Proceedings of KazNIGMI. M.: Gidrometeoizdat, 1975. Issue 52. P. 64-86 (in Russ.).
- [25] Surface water resources of the USSR. Vol.13, issue 2. Lake Balkhash basin. L.: Gidrometeoizdat, 1970. 652 p. (in Russ.).

С. К. Алимкулов¹, А. Б. Мырзахметов², Г. Р. Баспакова^{*3},
Д. А. Рустем⁴, А. Р. Загидуллина⁵, Г. Исакан⁶

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

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

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

⁴ Магистрант, ведущий инженер (КазНУ им. аль-Фараби, АО «Институт географии и водной безопасности»,
Алматы, Казахстан; rustem.darkhan@mail.ru)

⁵ Научный сотрудник (АО «Институт географии и водной безопасности», Алматы, Казахстан;
zagidullina_a_88@mail.ru)

⁶ Научный сотрудник (АО «Институт географии и водной безопасности», Алматы, Казахстан;
caira_t1412@mail.ru)

ИЗМЕНЧИВОСТЬ ВОДООБМЕНА МЕЖДУ ЗАПАДНОЙ И ВОСТОЧНОЙ ЧАСТЯМИ ОЗЕРА БАЛКАШ

Аннотация. Рассматриваются изменчивость скорости и объема потока воды в заливе пролива Узынарал, разделяющего озеро Балкаш на западную и восточную части, на основе полевых гидрометрических наблюдений, проведенных в 2024 году. Измерен расход воды в проливе, что позволило определить пространственно-временные закономерности гидродинамических процессов. Эти измерения включают направление воды, ее скорость и поперечное сечение в створе. Для определения закономерностей течения особое внимание уделяется метеорологическим факторам, влияющим на его динамику, в том числе атмосферному давлению, ветру и температуре воздуха. Анализ полученных данных показал, что направление и интенсивность течения воды зависят от этих факторов. Результаты исследования могут быть использованы для моделирования гидродинамики озера Балкаш, прогнозирования изменений уровня воды и ее равновесия, а также для разработки стратегий управления речным стоком на водосборной территории.

Ключевые слова: водный поток, пролив Узынарал, гидродинамика, скорость течения, экспедиционные исследования, водообмен, измерительные работы.

S. K. Alimkulov¹, A. B. Myrzakhmetov², G. R. Baspakova^{*3},
D. A. Rustem⁴, A. R. Zagidullina⁵, G. Isakan⁶

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

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

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

⁴ Master's student, Lead Engineer (Al-Farabi Kazakh National University,
JSC «Institute of Geography and water security», Almaty, Kazakhstan; rustem.darkhan@mail.ru)

⁵ Research Associate (JSC «Institute of Geography and water security», Almaty, Kazakhstan;
zagidullina_a_88@mail.ru)

⁶ Research Associate (JSC «Institute of Geography and water security», Almaty, Kazakhstan; caira_t1412@mail.ru)

VARIABILITY OF WATER EXCHANGE BETWEEN THE WESTERN AND EASTERN PARTS OF THE BALKHASH LAKE

Abstract. This article examines the variability of water flow velocity and volume in the Uzynaral Strait, which divides the Balkhash Lake into the western and eastern parts, based on hydrometric field observations conducted in 2024. The study involved measurements of water movement in the strait, allowing the identification of spatial and temporal patterns in hydrodynamic processes. These measurements included flow direction, velocity, and the cross-sectional profile of the channel. Special attention was given to meteorological factors influencing flow dynamics, such as atmospheric pressure, wind, and air temperature. The analysis of the collected data revealed that the direction and intensity of the water flow are closely linked to these climatic conditions. The findings can be applied to hydrodynamic modeling of the Balkhash Lake, forecasting changes in water level regimes and water balance, and informing strategies for river runoff management in the lake's catchment area.

Keywords: water flow, Uzynaral Strait, hydrodynamics, flow velocity, expeditionary research, water exchange, measurement work.

Гидрохимия и качество воды

Гидрохимия және судың сапасы

Hydrochemistry and water quality

<https://doi.org/10.55764/2957-9856/2025-2-30-41.18>

МРНТИ 70.19.20
УДК 628.1

Н. Х. Гусейнова

Старший советник (Государственное агентство водных ресурсов Азербайджана,
«Научно-исследовательский институт воды и мелиорации», юридическое лицо публичного права,
Баку, Азербайджан; narminhuseynova92@gmail.com)

ОПТИМИЗАЦИЯ ВОДОПОДГОТОВКИ НА ДЖЕЙРАНБАТАНСКИХ УЛЬТРАФИЛЬТРАЦИОННЫХ УСТАНОВКАХ ПУТЕМ ВКЛЮЧЕНИЯ СТАДИИ ОБРАТНОЙ ПРОМЫВКИ РАСТВОРОМ СУЛЬФАТА МЕДИ

Аннотация. Рассматривается возможность влияния обратной промывки растворами сульфата меди на водоподготовку методом ультрафильтрации во время бурного цветения в поверхностных источниках водоснабжения. Экспериментально доказано, что эффективно использовать во время обратных промывок растворы сульфата меди в концентрациях 2 мг/л для фильтров предварительного осветления и 1 мг/л для ультрафильтрационных мембран на основе поливинилденфторида. Ни в одной из отобранных после осветления проб воды не было зафиксировано наличия меди в концентрациях, превышающих фоновое, что на порядок ниже ПДК для питьевой воды. Проведенные эксперименты не выявили негативного влияния раствора сульфата меди на целостность ультрафильтрационных мембран на основе поливинилденфторида в среднесрочной перспективе. Для изучения влияния сульфата меди в долгосрочной перспективе экспериментальные работы продолжаются.

Ключевые слова: водоподготовка, микрофильтрация на дисковых фильтрах, ультрафильтрация, обратная промывка, общее микробное число, биообрастание, диатомовые водоросли, биогенные элементы.

Введение. С апреля по июль в Джейранбатанском водохранилище наблюдается увеличение концентрации биогенных элементов (углерода, азота и фосфора), которое сопровождается бурным ростом диатомовых водорослей и общего микробиологического фона. Эти обстоятельства способствуют возникновению и росту биообрастания на узлах ультрафильтрационных установок (на поверхности 200 микронных фильтров предварительной стадии осветления и мембран ультрафильтрации из поливинилденфторида). Интенсивный рост биомассы за короткое время приводит к практически полной остановке процесса водоподготовки и увеличению числа обратных промывок. Рост обратных промывок, которые осуществляются растворами соляной кислоты, щелочи и гипохлорита натрия, негативно сказывается на себестоимости осветлённой воды и приводит к уменьшению рентабельности всего процесса водоподготовки. Наряду с этим вынужденное увеличение числа обратных промывок способствует ускорению деструкции как самих мембран ультрафильтрации, так и отдельных узлов всей системы водоподготовки. Сегодня в процессах водоподготовки широко применяются мембранные технологии. Преимущество мембранных технологий заключается в их компактности, а также в обеспечении более качественной очистки воды.



Рисунок 1 – Способность различных типов мембран очистить исходную воду от различных примесей

Figure 1 – The ability of different types of membranes to purify source water from various impurities

В системах водоподготовки используются мембраны различной селективности, которые отождествляются размерами пор 0,02-0,05 мк [1]. Так, по селективности мембраны, используемые для водоподготовки, условно можно разделить на четыре группы (рисунок 1):

1. Обратноосмотические мембраны – способствуют удалению из исходной воды практически всех растворенных и нерастворенных соединений.

2. Нанофльтрационные мембраны – способствуют удалению из исходной воды растворенных химических соединений, кроме моноионов.

3. Ультрафльтрационные мембраны – способствуют удалению из воды 99,999 % микроорганизмов и вирусов, а также макроскопических минеральных соединений, находящихся в воде в растворенном или дисперсном состоянии. Обычно для водоподготовки в больших объемах применяются ультрафльтрационные мембраны с размером пор около 0,02 мк.

4. Микрофльтрационные мембраны, в отличие от ультрафльтрационных мембран, практически не способны очистить исходную воду от вирусов и таким образом не обеспечивают эффективный вирусный барьер.

Немаловажным фактором является и то, что традиционный метод обеззараживания воды хлорсодержащими реагентами не способствует инаktivации большинства вирусов, встречающихся в поверхностных источниках водоснабжения.

Механизм очищения воды методом ультрафльтрации отличается от принципов работы обычных, так называемых классических методов водоочистки, в которых фильтрационную функцию выполняют засыпные фильтры на основе кварцевого песка или антрацита с диаметром зерен 0,8-2 мм [2]. Указанные засыпные фильтры имеют существенно больший номинальный размер пор (приблизительно 20 мк) [2] и их работа основана на механизме гравитационного фильтрования.

Существенное отличие процесса ультрафльтрации от фильтрования через насыпные фильтры заключается в том, что при ультрафльтрации реализуется механизм отделения загрязнений на поверхности мембраны, что подобно тонкому просеиванию на сите с порами практически одинакового размера. Таким образом, любая частица, размер которой превышает размер пор, просто отсекается. Это обстоятельство делает ультрафльтрацию чрезвычайно привлекательной технологией. И главное преимущество в том, что качество обработанной воды удовлетворяет стандартам питьевой воды [3] и не зависит от качества исходной воды при условии сохранения целостности мембраны.

Кроме высокой эффективности очистки и ее абсолютного характера для частиц, превышающих размер пор мембраны, преимущество ультрафльтрационного оборудования в его компактности, а также возможности полной автоматизации всего процесса водоподготовки.

Ультрафльтрационные [4] мембраны могут быть в виде как плоских листов, так и полых волокон. Мембраны первого типа используются, например, для обработки сильнозагрязненных

сточных вод, мембраны с полыми волокнами – для водоподготовки. Рассмотрим некоторые типы ультрафильтрационных мембран.

1. Одноканальные ультрафильтрационные мембраны. В большинстве случаев для ультрафильтрации применяются одноканальные волокна с внутренним диаметром 0,8 мм или меньше, для исходной воды с высоким содержанием взвешенных твердых веществ применяются волокна с большим внутренним диаметром – до 1,5 мм [5]. При выборе размера диаметра пор мембран учитывается компромисс между требующейся высокой плотностью упаковки, простотой обратной промывки, минимизирования загрязнения, уменьшения эксплуатационных затрат, высокой пропускной способностью, а также механической прочностью, что обеспечивает целостность самой мембраны. Из перечисленных факторов механическая целостность мембраны является ключевым фактором. Одноканальные волокна особенно хрупки к нагрузкам, которым они подвергаются во время частых циклов обратных промывок.

2. Многоканальные ультрафильтрационные мембраны. В отличие от одноканальных для многоканальных волокон возможность их повреждения более низкая, так как каждое волокно состоит из нескольких капилляров, что существенно увеличивает механическую прочность и гарантирует целостность мембраны.

Рассмотрим общие положения технологии процесса ультрафильтрации в классическом исполнении, которая применена и в джейранбатанских ультрафильтрационных установках (рисунок 2) [6].

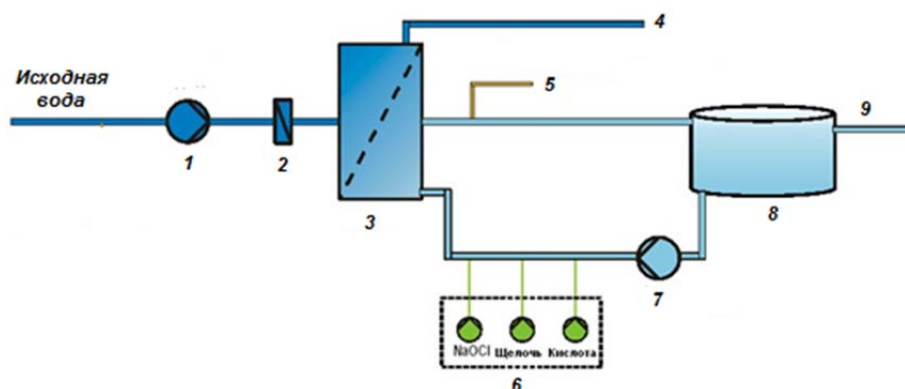


Рисунок 2 – Диаграмма потоков процесса ультрафильтрации:

- 1 – насос исходной воды; 2 – фильтр предварительного осветления; 3 – ультрафильтрационная мембрана;
4 – дренаж; 5 – подача воздуха под давлением; 6 – комплекс обратной промывки;
7 – насос обратной промывки; 8 – емкость фильтрата для обратной промывки; 9 – фильтрат

Figure 2 – Ultrafiltration process flow diagram:

- 1 – feed water pump; 2 – pre-clarification filter; 3 – ultrafiltration membrane; 4 – drainage; 5 – pressurized air supply;
6 – backwash complex; 7 – backwash pump; 8 – backwash filtrate tank; 9 – filtrate

Как видно из рисунка 2, главными узлами ультрафильтрационной установки являются насос подачи исходной воды на фильтры предварительного осветления (этот узел не считается обязательным и его наличие напрямую связано с мутностью исходной воды), стойки с модулями ультрафильтрации и емкости фильтрата/обратной промывки. В зависимости от качества исходной воды могут использоваться устройства дозирования химикатов.

На джейранбатанских ультрафильтрационных установках при обратной промывке используются реагенты: гипохлорит натрия (NaOCl 200 мг/л) для дезинфекции, щелочь (NaOH pH 12-13) и кислота (обычно HCl pH 1). Все реагенты соответствуют классу «химически чистые» [6]. В настоящее время в фильтрах предварительного осветления не предусмотрена обратная промывка химическими реагентами.

Для создания в системе необходимого давления исходная вода подается при помощи насоса ($Q - 4 \text{ m}^3/\text{hour}$ $H - 2 \text{ m}$) [6]. Перед модулем ультрафильтрации вода пропускается через так называемые фильтры предварительного осветления с размерами пор 200 мкм, которые отфильтро-

ывают грубые частицы, предохраняя тем самым ультрафильтрационные мембраны от механических повреждений, и предотвращают чрезмерное загрязнение поверхности мембран.

После предварительного осветления вода под давлением 1,5-2 бар подается непосредственно на поверхность ультрафильтрационных мембран, а очищенная вода отводится по внутреннему каналу. Поток воды проходит через ультрафильтрационные мембраны и поступает в емкость фильтрата/обратной промывки. Периодичность обратной промывки для мембран напрямую зависит от качества воды, поступающей на поверхность мембран, и происходит в автоматическом режиме в зависимости от изменения давления.

В зависимости от характера и количества загрязнения обратная промывка происходит как с добавлением химических реагентов, так и без них. Обратная промывка с добавлением химических реагентов проводится в тех случаях, когда загрязнение поверхности фильтров имеет характер биообрастания и обычная обратная промывка не способствует падению давления перед фильтрами.

Как видно из рисунка 1, в настоящее время для обратной промывки используются три реагента (гипохлорит натрия, соляная кислота и гидроксид натрия). Здесь гипохлорит натрия применяется для дезинфекции. Главная роль щелочи – борьба с биообрастанием, а роль кислоты – растворение неорганических карбонатных соединений.

Как отмечалось, во время бурного цветения диатомовых водорослей обратная промывка с использованием указанных реагентов не всегда бывает эффективной. На основе проведенных нами экспериментов было выявлено, что главным составляющим биопленок, образующихся на поверхности ультрафильтрационных мембран, являются диатомовые водоросли, покрытые силикатным панцирем, устойчивым к большинству химикатов на короткое время воздействия [7].

С учетом этого нами было предложено включить в стадию обратной промывки раствор сульфата меди в концентрациях 1, 2 и 3 мг/л, который за короткое время воздействия способен деактивировать главную составляющую биопленок – диатомовые водоросли.

Биомеханизм инактивации сульфатом меди заключается в том, что медь в составе данного соединения легко связывается с белками в первую очередь грибов и диатомовых водорослей, которые относительно высокорезистентны [8] к соединениям, применяемым при обратной промывке в системах ультрафильтрации воды.

Материалы и методы исследования. Чтобы выяснить характер влияния сульфата меди на процессы в системе ультрафильтрации, были проведены эксперименты на пилотной установке, собранной по схеме, показанной на рисунке 3.

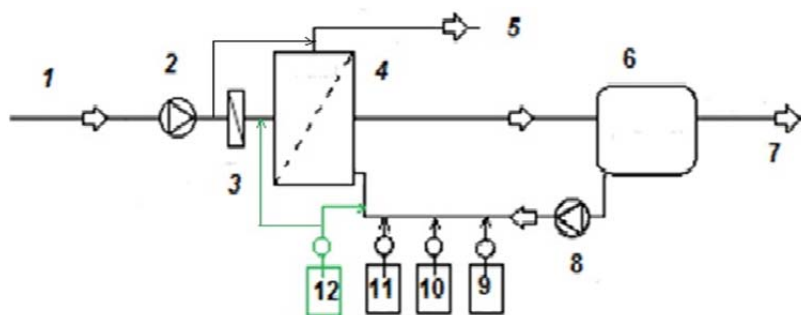


Рисунок 3 – Схема пилотной ультрафильтрационной установки:

- 1 – исходная вода; 2 – насос исходной воды; 3 – фильтр предварительного осветления 200 мкм;
4 – ультрафильтрационная мембрана на основе поливинилденфторида; 5 – дренаж; 6 – емкость для фильтрата;
7 – очищенная вода; 8 – насос обратной промывки; 9 – емкость для HCl;
10 – емкость для NaOH; 11 – емкость для NaOCl; 12 – емкость для CuSO₄

Figure 3 – Scheme of a pilot ultrafiltration unit:

- 1 – feed water; 2 – feed water pump; 3 – pre-clarification filter 200 μm;
4 – ultrafiltration membrane based on polyvinylidene fluoride; 5 – drainage; 6 – filtrate tank; 7 – purified water;
8 – backwash pump; 9 – HCl tank; 10 – NaOH tank; 11 – NaOCl tank; 12 – CuSO₄ tank

Параметры качества исходной воды из Джейранбатанского водохранилища даны в таблице 1. Исходная вода под давлением 2 бар с помощью насоса была подана на 200-микронный дисковый фильтр для предварительного осветления.

Таблица 1 – Параметры качества исходной воды, поступающей на фильтр предварительного осветления и после фильтрации на 200-микронных дисковых фильтрах предварительного осветления

Table 1 – Parameters of the quality of the source water entering the pre-clarification filter and after pre-clarification filters

№	Параметр	Единица измерения	Параметры до предварительного осветления	Параметры после предварительного осветления
1	Температура	°C	22	22
2	Мутность	NTU	7,7	6,8
3	Взвешенные вещества	mg/l	4,2	3,8
4	Активная реакция воды pH	–	8,55	8,55
5	Сухой остаток при 105 °C	mg/l	248	241
6	Зольность при 600 °C	mg/l	1,7	1,4
7	Общие колиформные бактерии	CFU/100ml	189	176
8	E.coli	CFU/100ml	0	0
9	Enterococci	CFU/100ml	0	0
10	ОМЧ 22 °C	CFU/1ml	93	70
11	ОМЧ 37 °C	CFU/1ml	>300	>300
12	Клетки сине-зелёных водорослей	СЗВ кл/мл	1610	1412
13	Медь	mg/l	0	0

После первой стадии осветления на 200-микронных дисковых фильтрах (параметры качества которой даны в таблице 1) вода после потери напора в 0,2 бар под давлением в 1,8 бар поступила на новый модуль ультрафильтрационной мембраны на основе поливинилденфторида.

Из анализа таблицы 1 можно сделать вывод, что хоть и малозаметные, но все-таки изменения в показателях качества до и после предварительного осветления наблюдаются. Особо стоит отметить изменения, произошедшие в микробиологических показателях.

На рисунках 4-7 показаны диаграммы микробиологических данных по четырем показателям, отобранные через каждые 4 ч после предварительного осветления.

Как видно из диаграммы, в начале процесса фильтрования с течением времени количество микроорганизмов при 22 °C задерживается на поверхности 200-микронных фильтров предварительного осветления. Но после определенной точки (на рисунке 4 это точка соответствует 20 ч непрерывной работы фильтра) задерживание микроорганизмов существенно уменьшается.

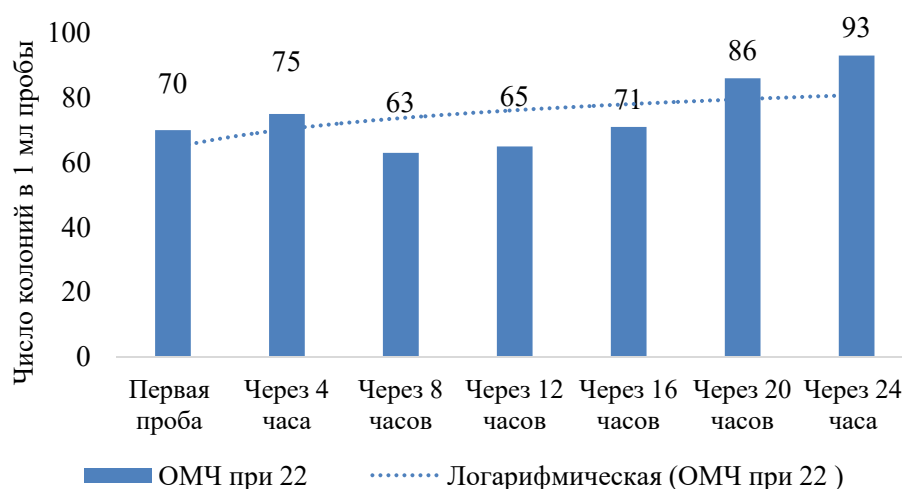


Рисунок 4 – Общее микробное число при 22 °C через каждые 4 ч после предварительного осветления

Figure 4 – Total microbial count at 22 °C every 4 hours after pre-clarification

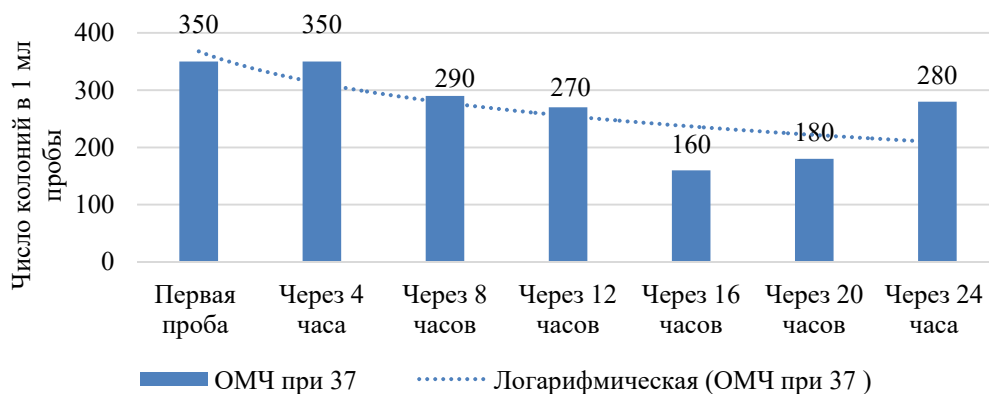


Рисунок 5 – Общее микробное число при 37 °C через каждые 4 ч после предварительного осветления

Figure 5 – Total microbial count at 37 °C every 4 hours after pre-clarification

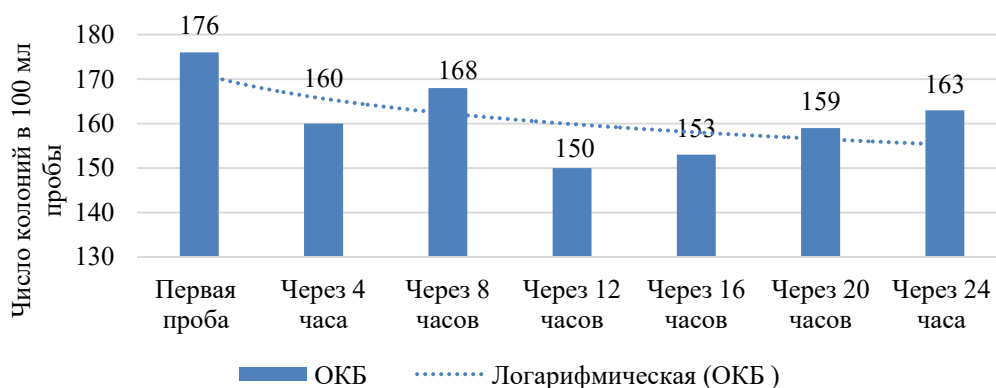


Рисунок 6 – Общее число колиформных бактерий через каждые 4 ч после предварительного осветления

Figure 6 – Total coliform counts every 4 hours after pre-clarification

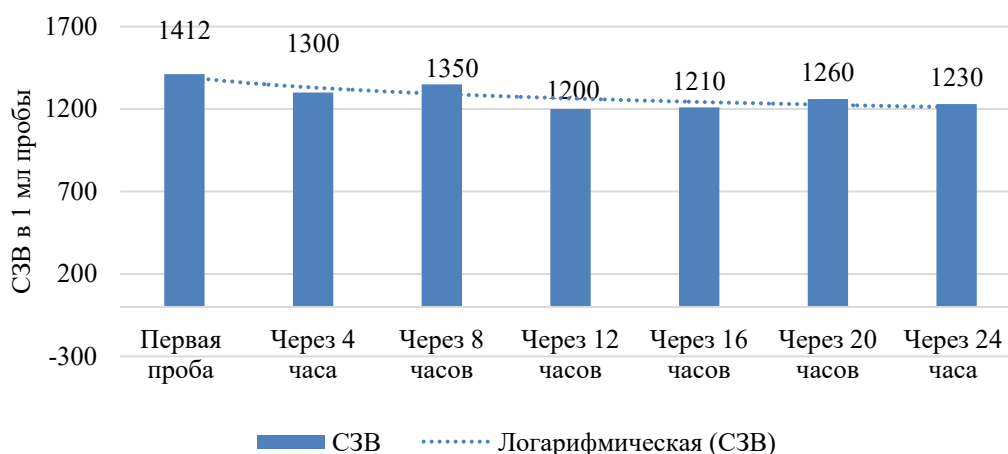


Рисунок 7 – Число клеток сине-зелёных водорослей через каждые 4 ч после предварительного осветления

Figure 7 – Number of blue-green algae cells every 4 hours after pre-clarification

Аналогичная картина наблюдается и для остальных микробиологических показателей (см. рисунки 5-7). Данные диаграмм (см. рисунки 4-7) интересны еще и тем, что размеры микроорганизмов намного меньше 200 мкм (самые большие из них это диатомовые водоросли имеют размеры 50-100 мкм), но они в определенном количестве задерживаются ими. Следующим интересным наблюдением было то, что задержка микроорганизмов фильтрами предварительного

осветления происходила не сразу, а количество задерживаемых клеток увеличивалось с течением времени, что тоже наглядно видно на диаграммах.

Все сказанное можно объяснить лишь процессом создания биопленки, для образования которой требуется определенное время, равное 4-48 ч [9] в зависимости от типа микроорганизмов и температуры воды. Как известно, формирование биопленки состоит из четырех стадий.

Первая стадия возникновения биопленки называется стадией адгезии или так называемая стадия первичного прикрепления на поверхность, в нашем случае на поверхность фильтрующих элементов. Главная особенность этой стадии в том, что микроорганизмы пока что не имеют жесткой связи и легко переходят в планктонную форму. На рисунках 4-7 эта стадия соответствует первым восьми часам работы фильтра.

На рисунке 8 показана проба под микроскопом, полученная с поверхности фильтра после 8 ч работы.

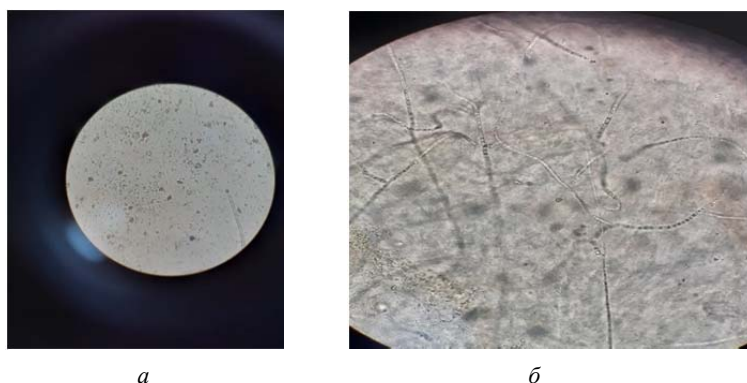


Рисунок 8 – Проба под микроскопом, полученная с поверхности фильтра:
а – после 8 ч работы (увеличение 13х40); б – после 16 ч работы (увеличение 13х40)

Figure 8 – Microscopic sample obtained from the filter surface:
a – after 8 hours of operation (magnification 13x40); b – after 16 hours of operation (magnification 13x40)

Вторая стадия – это стадия фиксации. В этой стадии микроорганизмы с помощью вырабатываемых ими же ферментов плотно прикрепляются к поверхности (на рисунке 8 эта стадия условно соответствует времени 8-16 ч работы фильтра), именно после этой стадии обратная промывка фильтров без химических реагентов не приводит к желаемому результату.

Третья стадия – это стадия созревания биопленки. Главная особенность этой стадии – образование колоний. В этой стадии создается полноценная биопленка. Микроорганизмы начинают размножаться внутри биопленки. К тому же новым клеткам микроорганизмов, которые поступают с исходной водой, намного легче слиться с уже созревшей биопленкой.

Этот процесс сопровождался ростом давления воды перед фильтром, что напрямую указывает на увеличение загрязнения фильтра (рисунок 9).

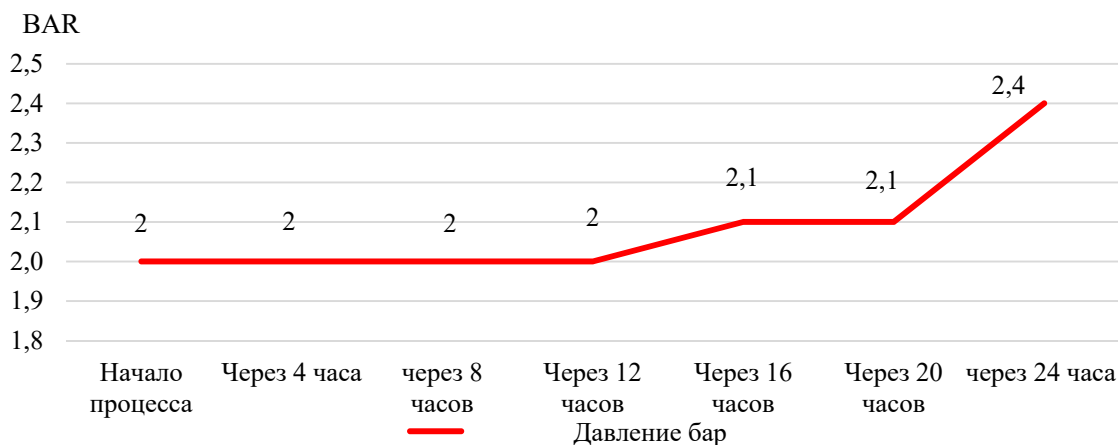


Рисунок 9 – Давление воды перед фильтром предварительного осветления

Figure 9 – Water pressure in front of the pre-clarification filter

При детальном рассмотрении графика на рисунке 9 можно заметить, что увеличение давления перед фильтром предварительного осветления имеет скачкообразный характер. Если учесть, что процесс фильтрации протекал непрерывно, то в идеале кривая изменения давления должна быть пологой. После повторных замеров и изучения характера загрязнения под микроскопом было замечено явное образование биообрастания на поверхности фильтра, основным компонентом которого являются диатомовые водоросли. В нескольких случаях повторения эксперимента биообрастание не удалялось процессом обратной промывки и приходилось разбирать фильтры и удалять накопившееся загрязнение механически. Увеличение числа обратных промывок и рост времени промывки не принесли существенных положительных результатов.

Четвертая стадия – это стадия депрессии. В этой стадии из-за нехватки питательных веществ некоторые клетки отделяются от общей массы биопленки и переходят в планктонную форму, что приводит к увеличению числа микроорганизмов в предварительно осветленной воде. Это мы наглядно видим на рисунке 9 после 16 ч непрерывной работы фильтров.

С учетом перечисленных фактов нами было предложено на стадии обратной промывки применить раствор сульфата меди в концентрациях 1, 2 и 3 мг/л в течение 5 мин, что привело к положительным результатам (рисунок 10). Максимальный эффект был достигнут при концентрации раствора сульфата меди 2 мг/л, и дальнейшее увеличение концентрации не приводило его к существенному росту.

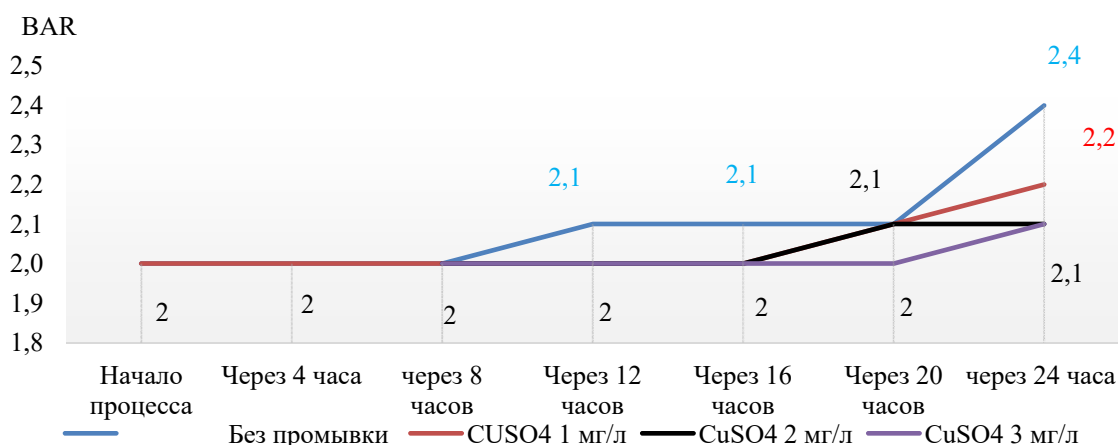


Рисунок 10 – Давление воды перед фильтром предварительного осветления с применением стадии обратной промывки растворами сульфата меди в концентрациях 1, 2 и 3 мг/л в течение 5 мин

Figure 10 – Water pressure before the pre-clarification filter using a backwash stage with copper sulfate solutions at concentrations of 1, 2 and 3 mg/l for 5 minutes

Таблица 2 – Качество воды после фильтрации через новую ультрафильтрационную мембрану

Table 2 – Water quality after filtration through a new ultrafiltration membrane

№	Параметры	Единица измерения	Параметры после ультрафильтрации
1	Температура	°C	22
2	Мутность	NTU	0,23
3	Взвешенные вещества	mg/l	≥ 0,1
4	Активная реакция воды pH	–	8,55
5	Сухой остаток при 105 °C	mg/l	235
6	Зольность при 600 °C	mg/l	0
7	Общие колиформные бактерии	CFU/100ml	0
8	E.coli	CFU/100ml	0
9	Enterococci	CFU/100ml	0
10	ОМЧ 22 °C	CFU/1ml	0
11	ОМЧ 37 °C	CFU/1ml	0
12	Клетки сине-зелёных водорослей	СЗВ кл/мл	0
13	Медь	mg /l	0

После предварительного осветления вода была подвергнута ультрафильтрационной очистке на поливинилденфторидовых мембранах.

После фильтрации через (новую) ультрафильтрационную мембрану была получена вода, параметры качества которой даны в таблице 2.

Как видно из таблицы 2, вода была получена практически идеального качества. Главная проблема заключалась в чрезмерном загрязнении поверхности мембраны в довольно короткое время, что приводило к повышению давления (рисунок 11) перед фильтром и уменьшению скорости фильтрации. Как и в фильтрах предварительного осветления воды, довольно частые и растянутые во времени процессы обратной промывки не приводили к желаемому результату, несмотря на применение химических реагентов.

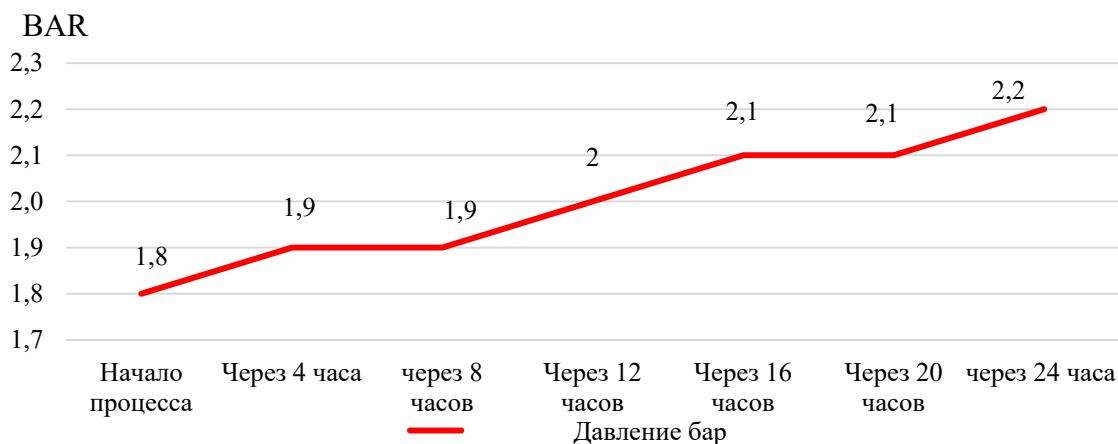


Рисунок 11 – Изменение давления воды перед модулем ультрафильтрационной мембраны в течение суток

Figure 11 – Change in water pressure in front of the ultrafiltration membrane module during the day

При детальном рассмотрении графика на рисунке 11 можно заметить, что увеличение давления перед фильтром ультрафильтрационной мембраны так же, как и перед фильтром предварительного осветления, имеет скачкообразный характер.

Различие наблюдалось лишь во времени. В данном случае скачок отмечался уже на 4-8 ч непрерывной фильтрации. Если учесть, что процесс фильтрации протекал непрерывно, то в идеале кривая изменения давления должна была быть пологой, чего на реальной картине не видно.

Как и для фильтров предварительного осветления на стадии обратной промывки, был применен раствор сульфата меди в концентрациях 1 и 2 мг/л в течение 5 мин. И это привело к положительным результатам, которые наглядно можем видеть на рисунке 12.

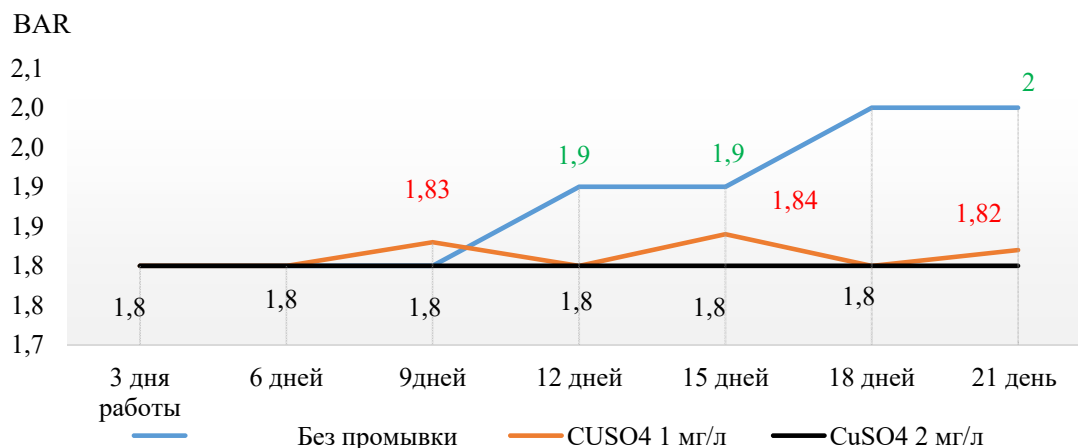


Рисунок 12 – Давление воды перед фильтром предварительного осветления с применением стадии обратной промывки растворами сульфата меди в концентрациях 1 и 2 мг/л

Figure 12 – Water pressure before the pre-clarification filter using a backwash stage with copper sulfate solutions at concentrations of 1 and 2 mg/l

Максимальный эффект был достигнут уже при концентрациях сульфата меди 1 мг/л, и дальнейшее увеличение концентрации сульфата меди не приводило к существенному изменению результатов. Хотя первые обратные промывки без применения раствора сульфата меди и приводили к положительным результатам, но при длительной эксплуатации эффективность обратных промывок снижалась (рисунок 13).

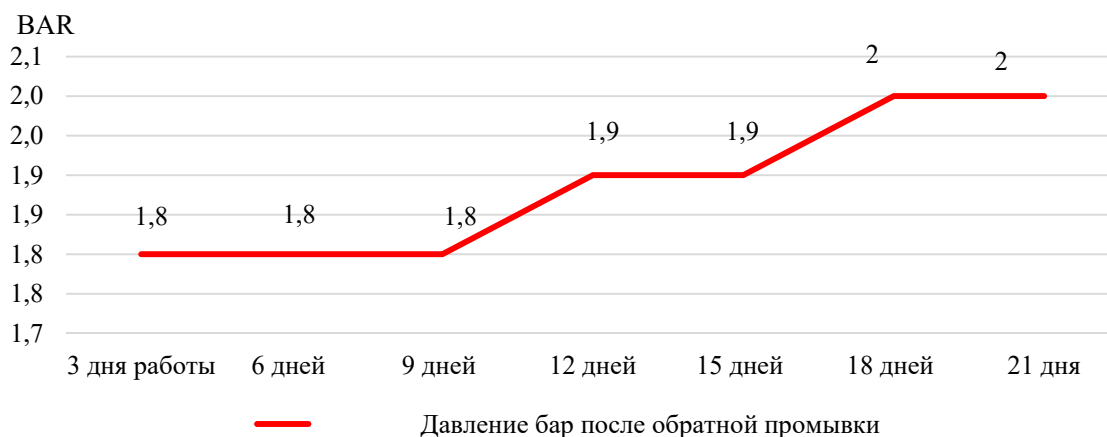


Рисунок 13 – Давление воды перед модулем ультрафильтрационной мембраны после обратных промывок без раствора сульфата меди

Figure 13 – Water pressure in front of the ultrafiltration membrane module after backwashing without copper sulfate solution

Как видно из графика на рисунке 13, эффективность обратных промывок снижалась в среднем после 12 дней непрерывной эксплуатации, что отражается на графике повышением давления.

После повторных измерений и изучения характера загрязнения под микроскопом было обнаружено биообрастание на поверхности фильтра, состоящее в основном из диатомовых водорослей, что подтвердило аналогию с биообрастанием на фильтрах предварительного осветления.

Лабораторные эксперименты над культурами, полученных из биопленок, также показали увеличение в определенной степени резистентности этих культур к раствору гидроксида натрия.

Заключение. Как было указано, в весенние и летние месяцы на узлах джейранбатанской ультрафильтрационной установки наблюдается бурное биообрастание. Анализируя предыдущие эксперименты, мы пришли к выводу, что главной составляющей наблюдаемых негативных процессов является именно изменчивый микробиологический состав воды в весенние месяцы. Причины этого негативного явления рассмотрены в статье «Влияние степени сезонных колебаний самоочищения воды Джейранбатанского водохранилища на процесс водоподготовки методом ультрафильтрации» [10].

Обратная промывка узлов ультрафильтрационных установок как с реагентами (щелочь, кислота и хлорсодержащие реагенты типа гипохлоритов), так и без них не приводит к предотвращению образования и постепенного накопления биообрастания на поверхности фильтров, как предварительного осветления, так и на поверхности ультрафильтрационных мембран. Этому способствовало увеличению резистентности микроорганизмов как к щелочи, так и к хлорсодержащим реагентам в составе биопленок. Поэтому нами была экспериментально доказана эффективность использования во время обратных промывок растворов сульфата меди в концентрациях 2 мг/л для фильтров предварительного осветления и 1 мг/л для ультрафильтрационных мембран на основе поливинилденфторида.

Ни в одной из отобранных после осветления проб воды не было зафиксировано наличия меди в концентрациях, превышающих фоновое, что на порядок ниже ПДК для питьевой воды.

Проведенные эксперименты не выявили негативного влияния раствора сульфата меди на целостность ультрафильтрационных мембран на основе поливинилденфторида в среднесрочной перспективе. Для изучения влияния сульфата меди в долгосрочной перспективе экспериментальные работы продолжаются.

Для предотвращения попадания солей меди в окружающую среду в составе промывочной воды рекомендуется ее извлечение с применением хелатообразующих сорбентов или же процесса электрокоагуляции [11].

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Водоподготовка. Справочник для профессионалов / Под ред. д.т.н. С. Е. Беликова. – 2007. – 240 с.
- [2] СНиП 2.04.02-84 Водоснабжение. Наружные сети и сооружения. – Москва, 1984. – 131 с.
- [3] AZS 929:2023 “İçməli su. Gəyiyyət tələbləri və keyfiyyət üzrə nəzarət. AZSTAND/TK-33, 28 səh.
- [4] Экологические мембранные технологии в водоочистке и в водоподготовке: Учебное пособие / И. В. Хорохорина, А. В. Козачек, А.О. Сухова, О. С. Филимонова, О. В. Долгова, С. И. Лазарев. – Тамбов: Издательский центр ФГБОУ ВО «ТГТУ» 2023. – 145 стр.
- [5] Никифоров А. Ф., Курегин А. С., Липунов И. Н., Перкова И. Г., Семенищев В. С. Физико-химические основы процессов очистки воды: Учебное пособие. – Екатеринбург, 2016. – 164 с.
- [6] Эксплуатация джейранбатанской ультрафильтрационной системы водоподготовки. Технологический регламент / НИПИ “Суканал” / Отв. исполн. Н. Х. Гусейнова. – Баку, 2023. – 139 с.
- [7] Диатомовые водоросли: морфология, биология, систематика, флористика, экология, палеогеография, биостратиграфия: Материалы XVII Международной научной конференции. – Минск: Колорград, 2021. – 262 с.
- [8] French M.S., Evans L.V. The effects of copper and zinc in growth diatoms amphora and amphiprora // The journal of Bioadhesion and Biofilm Research. – 2009. – P. 3-18.
- [9] Промышленное водоснабжение: Учебное пособие / Аксенов В. И., Галкин Ю. А., Заслоновский В. Н., Ничкова И. И. – Екатеринбург, 2010. – 221 с.
- [10] Гусейнова Н. Х. Влияние степени сезонных колебаний самоочищения воды Джейранбатанского водохранилища на процесс водоподготовки методом ультрафильтрации // География и водные ресурсы. – 2021. – №1. – С. 44-53. <https://doi.org/10.55764/2957-9856/2024-4-44-53.38>
- [11] Treatment of industrial wastewater and household waste using electrocoagulation method with aluminium electrode // Suyanto, Sunatro, Susila Kristianingram, Regina Tutik Padmaningrum, Derifasay Salsabilla and Karlinda / Indonesian journal of Chemistry and Environment. – 2022. – Vol. 5, No. 2. – P. 37-43.

REFERENCES

- [1] Water treatment. Handbook for professionals / Ed. by Doctor of Technical Sciences S. E. Belikov. 2007. 240 p. (in Russ.).
- [2] SNIP 2.04.02-84 Water supply. External networks and structures. Moscow, 1984. 131 p. (in Russ.).
- [3] AZS 929:2023 “Drinking water. Hygienic requirements and quality control. AZSTAND/TK-33, 28 p. (in Azerb.)
- [4] Ecological membrane technologies in water purification and water treatment: Study guide / I. V. Khorokhorina, A. V. Kozachek, A. O. Sukhova, O. S. Filimonova, O. V. Dolgova, S. I. Lazarev. Tambov: Publishing Center of FSBEI HE “TSTU”, 2023. 145 p. Separation and purification (in Russ.).
- [5] Nikiforov A.F., Kuregin A.S., Lipunov I.N., Perkova I.G., Semenishchev V. S. Physical and chemical foundations of water purification processes. Textbook. Ekaterinburg, 2016. 164 p. (in Russ.).
- [6] Operation of Jeyranbatan Ultrafiltration Water Treatment System: Technological regulations / NIPI “Sukanal” / Responsible for execution. N. H. Huseynova. Baku, 2022. 139 p. (in Russ.).
- [7] Diatoms: morphology, biology, systematics, floristry, ecology, paleogeography, biostratigraphy. Proceedings of the XVII international scientific conference. Minsk: Colorgrad, 2021. 262 p. (in Russ.).
- [8] French M.S., Evans L.V. The effects of copper and zinc in growth diatoms amphora and amphiprora // The journal of Bioadhesion and Biofilm Research. 2009. P. 3-18.
- [9] Industrial water supply. Study guide / V. I. Aksyonov, Yu. A. Galkin, V. N. Zaslonovsky, I. I. Nichkova. Ekaterinburg: UrFU, 2010. 221 p. (in Russ.).
- [10] Huseynova N. H. Influence of the degree of seasonal fluctuations of self-purification of water of Jeyranbatan reservoir on the process of water treatment by ultrafiltration method // Geography and Water Resources. 2024. No. 4. P. 44-53. <https://doi.org/10.55764/2957-9856/2024-4-44-53.38> (in Russ.).
- [11] Treatment of industrial wastewater and household waste using electrocoagulation method with aluminum electrode / Suyanto, Sunatro, Susila Kristianingram, Regina Tutik Padmaningrum, Derifasay Salsabilla and Karlinda // Indonesian journal of Chemistry and Environment. 2022. Vol. 5, No. 2. P. 37-43.

Н. Х. Гусейнова

Аға кеңесші (Өзербайжанның су ресурстары мемлекеттік агенттігі,
«Су және мелиорация ғылыми-зерттеу институты» Заңды тұлға Қоғамдық құқық,
Баку, Өзирбайжан; narminhuseynova92@gmail.com)

**ЖЕЙРАНБАТАН УЛЬТРАСҮЗГІЛІ ҚОНДЫРҒЫЛАРЫНДАҒЫ
СУДЫ ДАЙЫНДАУДЫ МЫС СУЛЬФАТЫ ЕРІТІНДІСІМЕН
КЕРІ ЖУУ КЕЗЕҢІН ЕНГІЗУ АРҚЫЛЫ ОҢТАЙЛАНДЫРУ**

Аннотация. Мақалада мыс сульфаты ерітінділерімен кері шаю процесін енгізудің жер үсті су көзде-
рінде жылдам гүлдену кезінде ультрасүзгілеу әдісімен суды тазарту процесіне әсер ету мүмкіндігі қарасты-
рылады. Кері жуу кезінде мыс сульфатының ерітінділерін алдын ала тазарту сүзгілері үшін 2 мг/л және поли-
винилиденді фторид негізіндегі ультрафилтрациялық мембраналар үшін 1 мг/л концентрацияда қолдану
тиімді екені тәжірибе жүзінде дәлелденді. Нақтылаудан кейін алынған су сынамаларының ешқайсысында
мыс концентрациясының фондық деңгейден асатыны байқалмады, бұл ауыз суға арналған ШРК шамасынан
төмен. Тәжірибелер мыс сульфаты ерітіндісінің орта мерзімді перспективада поливинилиденді фторид негі-
зіндегі ультрафилтрациялық мембраналардың тұтастығына теріс әсерін анықтаған жоқ. Мыс сульфатының
ұзақ мерзімді перспективада әсерін зерттеу бойынша тәжірибелік жұмыстар жалғасуда.

Түйінді сөздер: суды тазарту, дискілі сүзгілерде микрофилтрация, ультрасүзгілеу, кері жуу, жалпы
микроб саны, биологиялық ластану, диатомдар, биогенді элементтер.

N. H. Huseynova

Senior Advisor (State Water Resources Agency of Azerbaijan,
“Scientific-Research Institute of Water and Land Reclamation” Legal Entity of Public Law,
Baku, Azerbaijan; narminhuseynova92@gmail.com)

**OPTIMIZATION OF THE WATER TREATMENT PROCESS
AT JEYRANBATAN ULTRAFILTRATION PLANTS BY INCLUDING
A BACKWASH STAGE WITH COPPER SULFATE SOLUTION**

Abstract. This article explores the potential impact of introducing a backwash stage using copper sulfate
solution into the ultrafiltration water treatment process during episodes of rapid algal blooming in surface water
sources. Experimental results demonstrate the effectiveness of applying copper sulfate at a concentration of 2 mg/L
for pre-cleaning disc filters and 1 mg/L for backwashing polyvinylidene fluoride ultrafiltration membranes. None of
the water samples taken after clarification showed copper concentrations exceeding background levels, which
remained well below the maximum permissible concentration (MPC) for drinking water. The experiments also found
no negative impact on the structural integrity of polyvinylidene fluoride membranes in the medium term. Long-term
studies are ongoing to assess potential cumulative effects.

Keywords: water treatment, microfiltration on disc filters, ultrafiltration, backwash, total microbial count,
biofouling, diatoms, biogenic elements.

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

<https://doi.org/10.55764/2957-9856/2025-2-42-52.19>

FTAMP 87.21.09
ӘӨЖ 504.054:504.53

Д. А. Мұса¹, Б. Х. Тусупова^{*2}, Л. С. Курбанова³, С. М. Нурмакова⁴, Қ. Т. Қырғызбай⁵

¹ Магистрант (Әл-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университеті, Алматы, Қазақстан; musa.dilnaz@bk.ru)

^{2*} Т. ғ. к., аға оқытушы (Әл-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университеті, Алматы, Қазақстан;
tussupova@yandex.ru);

³ Т. ғ. к., аға оқытушы (Әл-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университеті, Алматы, Қазақстан; k_lau@mail.ru)

⁴ Т. ғ. к., қауымдастырылған профессор (Қ. И. Сәтбаев атындағы Қазақ ұлттық техникалық зерттеу
университеті, Алматы, Қазақстан; s.nurmakova@satbayev.university)

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

**АҚТӨБЕ ҚАЛАСЫНЫҢ ТОПЫРАҚ ЖАҒДАЙЫНА
АУЫР МЕТАЛДАРМЕН ЛАСТАНУДЫҢ ӘСЕРІН БАҒАЛАУ**

Аннотация. Мақалада Ақтөбе қаласының Құрмыш, Мәскеу, АФЗ (Ақтөбе феррокорытпа зауыты), Авиақалашық, 41-шы разъезд аймақтары топырағының мырыш (Zn), кадмий (Cd), қорғасын (Pb) және мыс (Cu) сияқты ауыр металдармен ластану деңгейін зерттеу нәтижелері келтірілген. Элементтердің техногендік концентрация коэффициенттері (K_c), топырақтың ластануының жиынтық көрсеткіші (Z_c) есептелді. Атомды-абсорбциондық спектрометрия пайдалана отырып, қаланың әртүрлі аудандарынан алынған топырақ сына-маларына талдау жүргізілді. Бірқатар аймақтарда, атап айтқанда Құрмыш, Мәскеу аудандарында мырыш пен кадмийдің концентрациясы шекті рұқсат етілген концентрация (ШРК) көлемінен артық. Барлық аймақтар бойынша ластанудың қосынды көрсеткіші $Z_c < 16$ – ластанудың төменгі деңгейін көрсетті. Зерттеу нәтижелері жер жамылғысына әсер етуші уытты жүктемені азайту және экологиялық тепе-теңдікті қалпына келтіру шараларын енгізу қажеттілігін көрсетеді.

Түйін сөздер: ауыр металдар, топырақ, ластану, топырақ сынамасы, микроэлементтердің жылжымалы формалары, ластану дәрежесі, елді мекен аумағы.

Кіріспе. Қазіргі таңда ғылыми-техникалық прогресс қарқынының тұрақты түрде артуына байланысты қоршаған ортаны, сонымен қатар өнеркәсіптік өндіріс орындарын бақылау мәселелері өте өзекті болып табылады. Өндіріс қалдықтары мен жанама өнімдері көлемінің үнемі артып отыруы, табиғи геожүйелерге әсер ететіні сөзсіз. Топырақтың құрамдас бөліктерінің көптігі және бөліктердің өзара әрекеттесуі мен кері байланысы топырақты басқарудың күрделі және көп салалы тұрақты тәсілін қажет етеді. Жалпы жерді пайдалану топырақтың қасиеттеріне және олардың азық-түлік немесе талшық өндіру, химиялық зауыттар, суды тазарту немесе климатты реттеу және тіршілік ету ортасы сияқты әлеуетті функцияларына байланысты [1]. Антропогендік жүктеме өнеркәсіп пен автокөлік жүйесі дамыған қала және қала агломерацияларына іргелес аймақтарда

анық байқалады. Зауыттардың, кәсіпорындар мен фабрикалардың қарқынды жұмыс істеу кезінде қоршаған ортаға әртүрлі ластаушы заттардың эмиссиясы түседі. Тау-кен өнеркәсібі жаһандық экономикалық прогрестің негізі ретінде қызмет ете отырып, әртүрлі секторлардағы таптырмас шикізат көзі болып табылады [2]. Алайда, тау-кен жұмыстарының қоршаған ортаға тигізетін әсері, әсіресе топырақтың ластанғанда, маңызды және өзекті экологиялық мәселелерге айналууда. Ауыр металдар – бұл топырақта ұзақ уақыт бойы сақталатын ең қауіпті және кең таралған ластау элементтерінің бірі болып табылады [3]. Тау-кен жұмыстары, әсіресе тиісті тазарту шаралары болмаған жағдайда, тау-кен орындарында ауыр металдардың айтарлықтай ластануына әкелуі мүмкін, бұл кейіннен жақын маңдағы ауылшаруашылық немесе елді мекен аймақтарына таралуы мүмкін. Зерттеулер зауыттар мен тау-кен орындарына жақын орналасқан топырақтарда ауыр металдардың ластану деңгейінің жоғарылағанын көрсетті [4].

Ақтөбе қаласы – Қазақстанның ірі өнеркәсіптік орталығы. Қалада Ақтөбе феррокорытпа зауыты (АФЗ), «Ақтөбемұнай» химиялық комбинаты (АХК), Ақтөбе хром қосындылары зауыты (АХКЗ), Ақтөбе рельс-арқалық зауыты (АРЗ), Ақтөбе ЖЭО сияқты ірі кәсіпорындар жұмыс істейді. Олар қоршаған орта компоненттерінің оның ішінде топырақтың техногендік ластануының негізгі көздеріне жатады. Топырақты негізгі ластайтын зат – қорғасын [5].

Көлемі мен ұзақтығына байланысты ауыр металдар мен металлоидтар қоршаған ортаға және адам денсаулығына айтарлықтай қауіп төндіреді. Табиғи экожүйелердің ластану дәрежесі шекті рұқсат етілген концентрациялар (ШРК) жүйесінің негізінде бағаланады. Ол қоршаған ортаның сапасына қойылатын және нақты заттар үшін белгіленетін ең жоғары талаптар жүйесіне жатады. Топырақтағы ауыр металдар концентрациясының табиғи фондық деңгейінен асып кетуі табиғи экожүйелерді нашарлатып қана қоймай, оның биологиялық жолмен ыдырамайтын қасиеттері, уыттылығы және тұрақтылығы сияқты сипаттамаларына байланысты әлеуметтік-экономикалық жүйелерге де әсер етеді [6].

Табиғи экожүйелердің ластану дәрежесі шекті рұқсат етілген концентрациялар (ШРК) жүйесінің негізінде бағаланады. 1973 жылы БҰҰ-да қабылданған жаһандық мониторинг бағдарламасында үш ауыр металл болды: қорғасын, кадмий және сынап, бірақ кейінірек БҰҰ Қоршаған ортаны қорғау бағдарламасының (UNEP) есебінде ең қауіпті жеті ауыр металл (мыс, қалайы, ванадий, хром, молибден, кобальт, никель) және үш металлоид (сүрме, мышьяк, селен) атап көрсетілді. Мышьяк, кадмий, хром, қорғасын және сынап сияқты ауыр металдар жүйелік уыттылықты тудырады [7]. Кейбір металдар (марганец, қорғасын, ванадий) шекті рұқсат етілген концентрациясы, екінші металдар (кадмий, мыс, никель, мырыш) болжамды рұқсат етілген концентрациясы, үшінші металдар (кобальт, хром) топырақтың ластану дәрежесінің эмпирикалық критерий бойынша бағаланады және тіпті төмен деңгейде әсер еткенде де адамның көптеген мүшелерін зақымдауы мүмкін [8]. Топырақтың ауыр металдармен ластануының ауқымды мониторингіне қол жеткізу үшін кейбір зерттеулер гиперспектрлік маркалар мен элементтердің концентрациясы арасындағы сандық қатынастарды орнатуға тырысты [9]. Ластану көздері мен ластану әсері арасындағы байланысты сандық бағалау ауыр металдардың ластануын бақылау стратегияларын әзірлеу үшін дәлірек анықтама бере алады. Дәстүрлі статистикалық модельдер көбінесе бұл қатынасты дәл талдай алмайды. Соңғы жылдары ауыр металдардың ластануын талдау үшін көп қабатты перцептрон (MLP) және жасанды нейрондық желілер (ANN) сияқты машиналық оқыту әдістері кеңінен қолданылды, өйткені олардың жоғары болжау дәлдігі мен экономикалық тиімділігі жоғары [10].

Зерттеу жұмысының мақсаты – Ақтөбе қаласының әртүрлі аудандарында топырақтың ауыр металдармен (Zn, Cu, Cd, Pb) ластану деңгейін бағалау.

Материалдар мен әдістер. Ақтөбе қаласының солтүстік аумағы қоңыржай құрғақ дала суб-зонасының шегіндегі оңтүстік қарашірік топырақтарда, ал қалған бөлігі құрғақ дала субзонасының дала аймағының қара қоңыр топырақтарында орналасқан. Оңтүстік қарашірік субзонасындағы топырақтар оңтүстік сортаңды қарашірік және оңтүстік сортаңды қарашіріктің сортаң қарашірігінің кешенінен тұрады. Қаланың солтүстік-шығыс бөлігін қара қоңыр, дамымаған және толық дамымаған (ксероморфты) қиыршық тасты топырақтар алып жатыр. Батыс, оңтүстік және шығыс бөліктерінде сортаңды қара қоңыр топырақтың сортаң топырағымен кешені кеңінен таралған. Елек өзенінің жайылмалы және террассалы учаскелері шалғынды топырақтардан құралған.

Оңтүстік сортаңды қара топырақтар гумус қабатының шегінде құрамында сыйымдылығының 5 %-дан артық алмасатын Na бар тығыздалған сортаң горизонттың болуына байланысты сортаң болып табылады. Бұл топырақ кешендері биік террасалардағы ауыр жыныстарға немесе жер бетіне жақын орналасқан ауыр тұзды жыныстарға тән болады. Қара қоңыр, дамымаған және толық дамымаған (ксероморфты) қиыршық тасты топырақтарда 90-110 см тереңдіктен гипс және тез еритін тұздар кездеседі. Гумус қабатының қалыңдығы 30-50 см аралығында, ал гумус пен азот мөлшері сәйкесінше 2,5-4,5 % және 0,15-0,30 % аралығында өзгеріп отырады [11].

Механикалық құрамы бойынша қала топырақтары делювиалды саздар мен ауыр саздақтарды болып келеді, сонымен қатар орташа сазды, жеңіл саздақ, құмдақ, қиыршық тасты топырақтардан да кездеседі. Сазды және ауыр сазды топырақтар әдетте қарашірік пен қара қоңыр топырақтарына тән. Механикалық құрамы жағынан жеңіл жыныстар – физикалық саз бөлшектерінің мөлшері шамамен 25-30% болатын орташа және жеңіл саздақ негізінен Ақтөбе қала агломерациясының шығыс бөлігінде таралған. Құмдақ топырақтар Ақтөбе қала агломерациясының оңтүстік-батыс бөлігінде орналасқан. Қиыршық тасты топырақ қаланың солтүстік және шығыс бөлігінде дамыған [11].

Топырақ сынамаларын алу үшін қала аумағынан бес аудан таңдалды: Құрмыш, Мәскеу, АФЗ (Ақтөбе ферроқорытпа зауыты), Авиакалашық, 41-ші разъезд (1-сурет). Үлгілердің барлығы мемлекетаралық стандартқа [12] сәйкес алынды. Сынамалар 0-15 см тереңдікте алынды, бұл топырақтың жоғарғы гумус горизонтына сәйкес келеді.



1-сурет –
Топырақ сынамаларын алу орындары
Figure 1 –
Soil sampling sites

Ақтөбе қаласы топырағының ауыр металдармен ластанудың әсерін бағалау төрт микро-элементтердің (Zn, Cu, Cd, Pb) жылжымалы формаларының негізінде жүргізілді. Олардың концентрациялары «Ө.О. Оспанов атындағы Қазақ топырақтану және агрохимия ғылыми-зерттеу институты» ЖШС сертификацияланған сынақ зертханасының базасында атомды-абсорбциондық спекторметрия Sprecord 210 PLUS құралының (1-кесте) көмегімен анықталды.

1-кесте – Топырақ құрамын өлшеуге қолданылған құралдар

Table 1 – Instruments used for measuring soil composition

Р/н №	Құрылғы түрі	Зауыт нөмірі	Тексеру туралы куәліктің №	Жарамдылық мерзімі
1	Specord 210 PLUS	223F1426/1199	№ BA-11-24-580127 14.06.2024 ж.	14.06.2025 ж.
2	Зертханалық иономер И-160 МИ типі	0451	№ BA-09-24-648291 26.06.2024 ж.	26.06.2025 ж.
3	Жалынды фотометр FLAPHO-4 типі	779792/6/н	№ BA-11-24-579500 14.06.2024 ж.	14.06.2025 ж.
4	Электронды таразы AR 2140	1227250240	№ BA-02-02-35682 06.12.2023 ж.	06.12.2024 ж.
5	Электронды таразы ScoutProSPS202 F	7132211951	№ BA-02-02-35693 06.12.2023 ж.	06.12.2024 ж.

Зерттелетін аумақтың топырақ жамылғысының ластануын экологиялық бағалау кезінде элементтер концентрациясының коэффициенті (K_c) және ластанудың жиынтық көрсеткіші (Z_c) қолданылады. Бұл шамалар Ақтөбе қаласы топырағының ауыр металдармен ластанудың әсерін бағалауға мүмкіндік береді. Топырақтың ластану қаупі неғұрлым жоғары болса, K_c көрсеткіші бірліктен асады ($K_c > 1$).

Химиялық элементтің концентрация коэффициенті (K_c) келесі формула бойынша есептеледі:

$$K_c = C_i / C_{\text{фон}}, \quad (1)$$

мұндағы, C_i – анықталатын элементтің іс жүзіндегі концентрациясы, мг/кг; $C_{\text{фон}}$ – элементтің топырақтағы фондық концентрациясы, мг/кг [13].

Топырақ жамылғысының экологиялық жағдайын бағалаудың қолданыстағы тәжірибесі топырақтағы элементтердің геохимиялық фонын қолдануға, сондай-ақ ластануының жиынтық коэффициентін есептеуге негізделген және нормативтік-әдістемелік құжаттарда бекітілген Z_c пайдаланылады [14]. Ол (Z_c) адам денсаулығына қолайсыз әсер етудің индикаторы және ауыр металдардың топырақтың ластануына жалпы қосатын үлесін анықтайтын интегралды көрсеткіш ретінде кеңінен пайдаланылатын коэффициент [15]. Оны фондық көрсеткіштерге қатысты токсикологиялық қауіптіліктің I, II, III сыныптарына жататын токсиканттардың (ластаушы заттардың) шоғырлану коэффициенттерінің қосындысы ретінде анықтайды және келесі формула бойынша есептейді:

$$Z_c = (\sum_{i=1}^n K_c) - (n - 1), \quad (2)$$

мұндағы, K_c – i -ші химиялық элементтің концентрация коэффициенті; n – есептелетін элементтердің саны.

Ауыр металдармен ластанудың әсерін сипаттайтын Z_c мәнінің диапазондары келесідей болады:

$Z_c < 16$ – төменгі ластану деңгейі;

$16 < Z_c < 33$ – орташа ластану деңгейі;

$32 < Z_c < 64$ – жоғары ластану, қауіпті деңгей;

$64 < Z_c < 128$ – максималды ластану, төтенше қауіпті деңгей [16].

Нәтижелер және оларды талдау. Алынған мәндер нормативтік деректермен, атап айтқанда шекті рұқсат етілетін концентрация [17] және өңірлік фондық деңгеймен салыстырылды (2-кесте) [18].

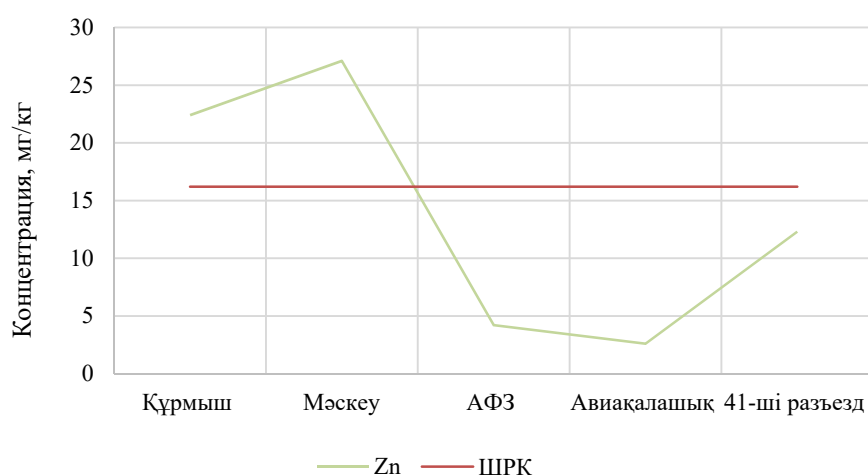
Мырыш (Zn). Ең жоғары концентрация Құрмыш (22,4 мг/кг) және Мәскеу (27,1 мг/кг) аймағында тіркелген, бұл геохимиялық фон концентрациясынан асып түседі. Ең төменгі концентрация Авиакалашық аймағында анықталған (2,6 мг/кг), яғни фоннан 6,2 есе төмен, бұл басқа аудандарға қарағанда айтарлықтай төмен (2-сурет).

Мыс (Cu). Мыс концентрациясы барлық зерттеу аймақтарында нормативтен төмен болды (3-сурет).

2-кесте – Ақтөбе қаласы топырағындағы ауыр металл концентрациясы

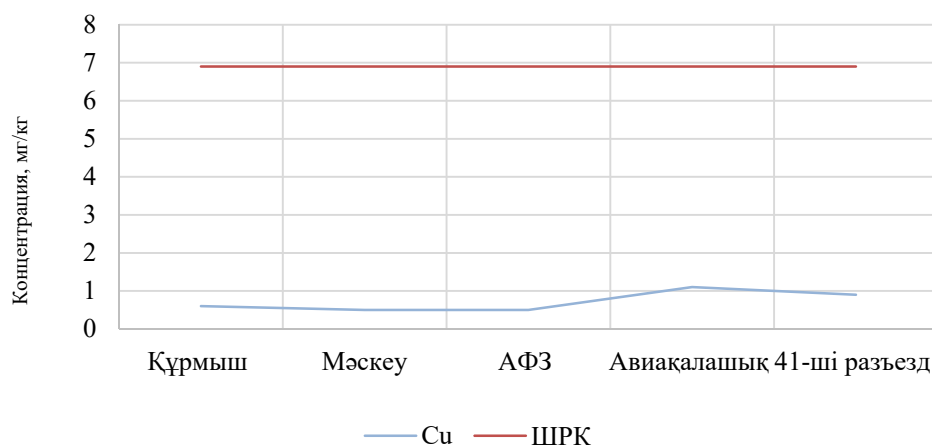
Table 2 – Concentration of heavy metals in the soil of Aktobe City

Топырақ сынамасын алу орны	Zn	Cu	Cd	Pb
	Геохимиялық фон, мг/кг			
	16,2	6,9	1,1	1,6
	Топырақ сынамаларындағы концентрация, мг/кг			
Құрмыш	22,4	0,60	1,10	1,10
Мәскеу	27,1	0,50	0,90	1,00
АФЗ	4,2	0,50	0,90	1,10
Авиақалашық	2,60	1,10	0,70	1,00
41-ші разъезд	12,30	0,90	0,60	1,00



2-сурет – Ақтөбе қаласы топырағындағы мырыштың концентрациясын ШРК-мен салыстыру

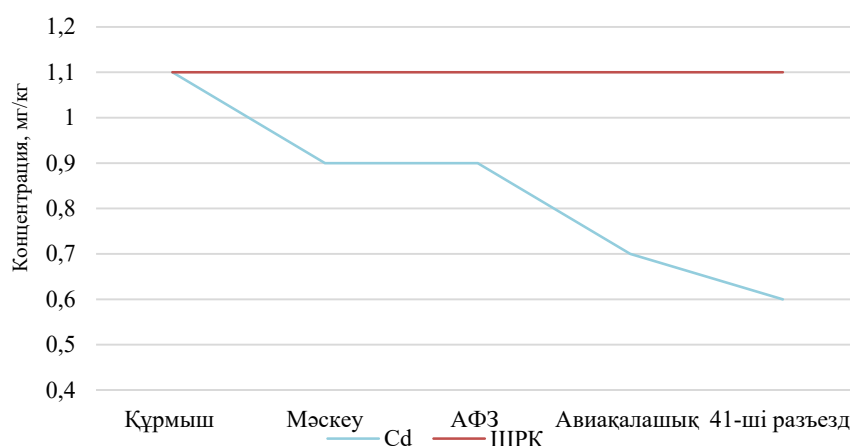
Figure 2 – Comparison of zinc concentrations in Aktobe City soil with Maximum Permissible Concentrations (MPC)



3-сурет – Ақтөбе қаласы топырағындағы мыстың концентрациясын ШРК-мен салыстыру

Figure 3 – Comparison of copper concentrations in Aktobe City soil with Maximum Permissible Concentrations (MPC)

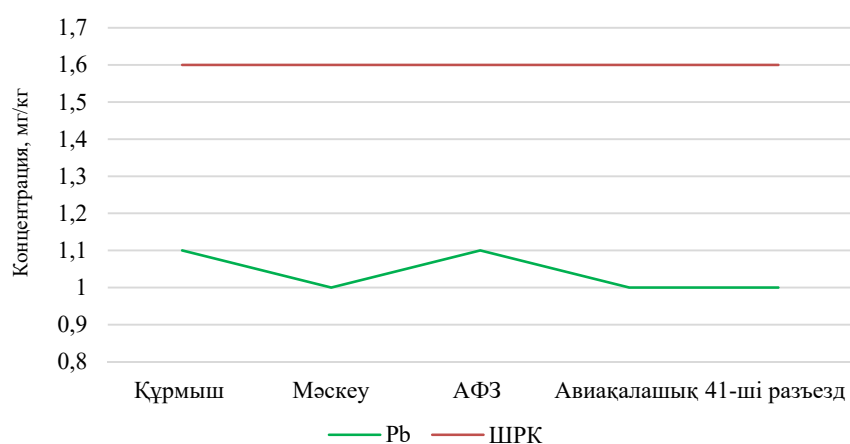
Кадмий (Cd). Құрмыш ауданындағы (1,10 мг/кг) кадмий концентрациясы геохимиялық фонға тең, ал Мәскеу және АФЗ аудандарындағы ауыр металдармен ластану мөлшері (0,90 мг/кг) біршама төмен болғанын көрсетті. Жалпы топырақ сынамасы алынған аудандарда кадмий концентрациясы қалыпты мөлшерде (4-сурет).



4-сурет – Ақтөбе қаласы топырағындағы кадмийдің концентрациясын ШРК-мен салыстыру

Figure 4 – Comparison of cadmium concentrations in Aktobe City soil with Maximum Permissible Concentrations (MPC)

Қорғасын (Pb). Барлық сынама алу нүктелеріндегі қорғасын концентрациясы 1,00–1,10 мг/кг аралығында болды, бұл ластану деңгейінің төмендігін көрсетеді (5-сурет).



5-сурет – Ақтөбе қаласы топырағындағы қорғасынның концентрациясын ШРК-мен салыстыру

Figure 5 – Comparison of lead concentrations in Aktobe City soil with Maximum Permissible Concentrations (MPC)

1. *Кұрмыш (Керей хан көшесі).* Сынама алынған нүктелердегі топырақ құрамындағы мырыштың C_i концентрациясы фондық көрсеткіштен жоғары және кадмий концентрациясы фоннан 10%-ға көп. Ластанудың қосынды көрсеткіші $Z_c=0,16$ ($Z_c<16$ – ластанудың төменгі деңгейі).

2. *Мәскеу (Беркімбаева көшесі).* Сынама алынған нүктелердегі топырақ құрамындағы мырыштың C_i концентрациясы фондық көрсеткіштен жоғары. Ластанудың қосынды көрсеткіші $Z_c=0,19$ ($Z_c<16$ – ластанудың төменгі деңгейі).

3. *АФЗ (312 Атқыштар Дивизиясы даңғылы).* Зерттеу қорытындысы сынамада ауыр металдардың концентрациясы төмендігін көрсетті, бұл аталған аймақта антропогендік жүктеменің төмендігіне байланысты болуы мүмкін. Ластанудың қосынды көрсеткіші $Z_c=-1,16$ ($Z_c<16$ – ластанудың төменгі деңгейі).

4. *Авиақалашық (Бөкенбай батыр көшесі).* Нәтиже қорытындысы бойынша топырақ құрамында ауыр металдардың концентрациясы төмен. Ластанудың қосынды көрсеткіші $Z_c=-1,41$ ($Z_c<16$ – ластанудың төменгі деңгейі).

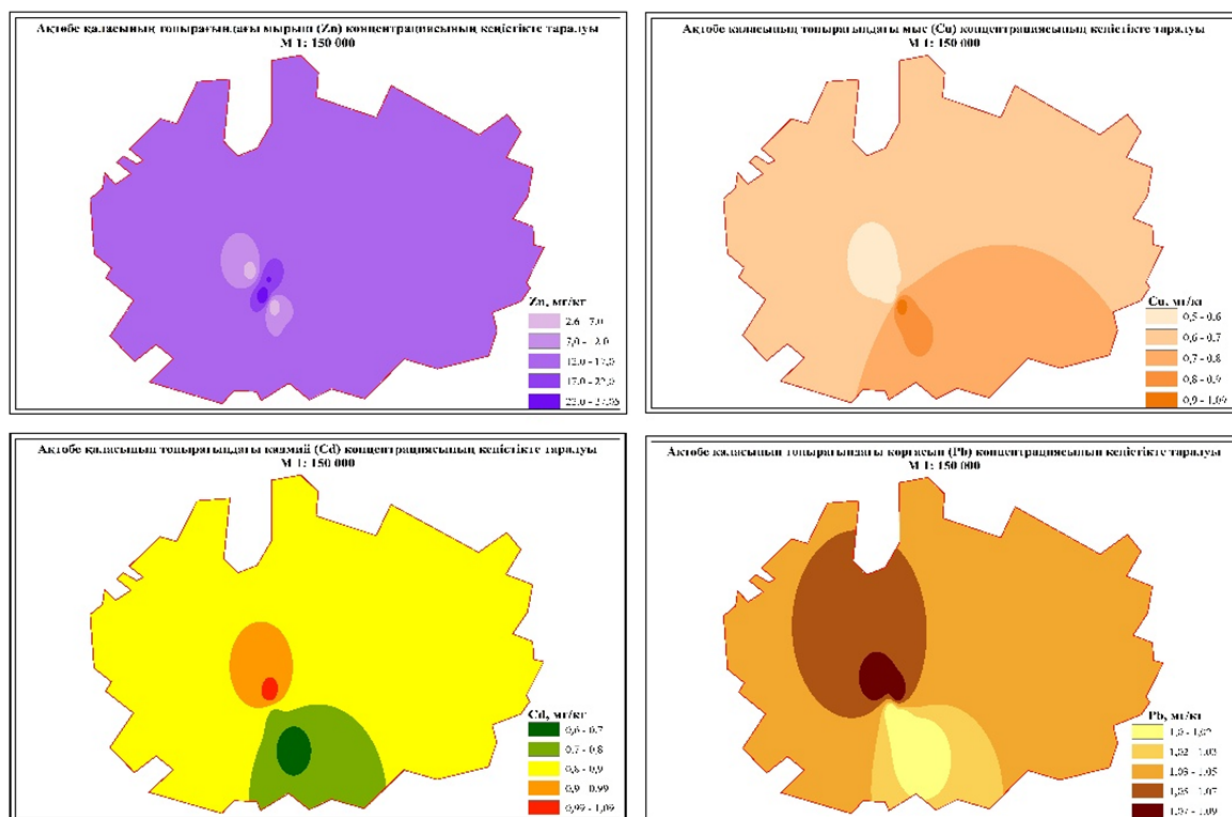
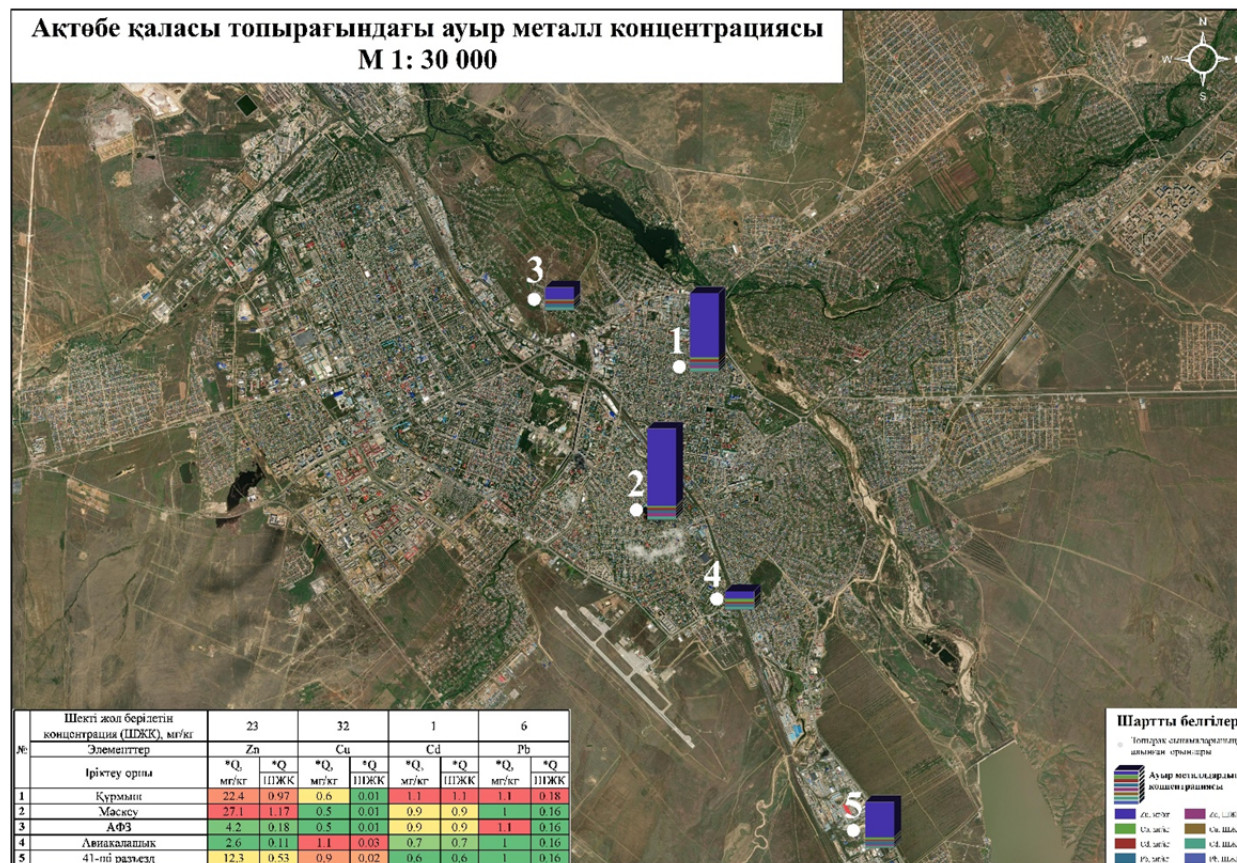
5. *41-ші разъезд (Атаниязова көшесі).* Ластанудың қосынды көрсеткіші $Z_c=-0,93$ ($Z_c<16$ – ластанудың төменгі деңгейі) (3-кесте) (6-сурет).

3-кесте – Зерттеу аймақтары топырағындағы ауыр металдардың жылжымалы формалары, концентрация коэффициенттері және ластанудың жиынтық көрсеткіштері

Table 3 – Mobile forms of heavy metals, concentration coefficients, and integrated pollution indices in the soil of study areas

Элементтер	Zn	Cu	Cd	Pb
Фондық концентрация	16,2	6,9	1,1	1,6
Құрмыш (Керей хан көшесі)				
Микроэлементтердің жылжымалы формалары, мг/кг	22,4	0,60	1,10	1,10
K _c	1,38	0,09	1	0,69
Z _c	0,16			
Мәскеу (Беркімбаева көшесі)				
Микроэлементтердің жылжымалы формалары, мг/кг	27,1	0,50	0,90	1,00
K _c	1,67	0,07	0,82	0,63
Z _c	0,19			
АФЗ (312 Атқыштар Дивизиясы даңғылы)				
Микроэлементтердің жылжымалы формалары, мг/кг	4,2	0,50	0,90	1,10
K _c	0,26	0,07	0,82	0,69
Z _c	-1,16			
Авиақалашық (Бөгенбай батыр көшесі)				
Микроэлементтердің жылжымалы формалары, мг/кг	2,60	1,10	0,70	1,00
K _c	0,16	0,16	0,64	0,63
Z _c	-1,41			
41-ші разъезд (Атаниязова көшесі)				
Микроэлементтердің жылжымалы формалары, мг/кг	12,30	0,90	0,60	1,00
K _c	0,76	0,13	0,55	0,63
Z _c	-0,93			

Қорытынды. Зерттеу жұмысында Ақтөбе қаласы топырағының мырыш (Zn), кадмий (Cd), қорғасын (Pb) және мыс (Cu) сияқты ауыр металдармен ластану деңгейін зерттелді. Авторлар зерттеу жүргізу үшін топырақтағы ауыр металдардың концентрациясын дәл анықтауға мүмкіндік беретін атомдық абсорбциялық спектрометрия әдісін қолданды. Жүргізілген зерттеу нәтижесінде Ақтөбе қаласы топырағының ауыр металдармен, әсіресе мырыш (Zn) пен кадмиймен (Cd) айтарлықтай ластануы анықтады. Құрмыш және Мәскеу аудандарында мырыш пен кадмий концентрациясы геохимиялық фоннан асатыны анықталған, бұл өнеркәсіптік нысандар мен көлік магистральдарының жақындығына байланысты. Ал АФЗ, Авиақалашық, 41-ші разъезд сияқты басқа аймақтарда антропогендік жүктеме мен ауыр металдармен топырақтардың ластану деңгейі төмен болды. Ақтөбе қаласының зерттелген аймақтарындағы ластанудың жалпы көрсеткіші (Z_c) 16-дан аз болды, бұл ластанудың төмен деңгейде екендігін көрсетеді. Техногендік концентрация коэффициенттері (K_c) және ластанудың жиынтық көрсеткіші (Z_c) есептелді, бұл өнеркәсіптік белсенділігі жоғары аудандар ең ластанғанын растады. Ластанудың жалпы көрсеткіші (Z_c) төмен болғанмен, кейбір ластанушы заттардың нормадан асып кетуі шығарындыларды азайтуға және топырақ жағдайын жақсартуға бағытталған экологиялық бағдарламаларды әзірлеу және іске асыру қажеттілігін көрсетеді, сонымен қатар жоғарыда айтылған аудандардағы ауыр металл концентрациясының жоғарылауы топыраққа уытты жүктемені азайту шараларын ұйымдастыруды қажет етеді. Зерттеу нәтижелері экологиялық тепе-теңдікті қалпына келтіру үшін мониторинг пен технологиялық шараларды енгізу қажеттілігін көрсетеді. Бұл әсіресе аймақтың қарқынды өнеркәсіптік дамуы жағдайында халықтың денсаулығы мен қоршаған ортаны сақтау үшін өте маңызды. Нәтижелер мониторинг және технологиялық шараларды қоса алғанда, экологиялық тепе-теңдікті қалпына келтірудің кешенді тәсілінің қажеттілігін көрсетеді.



6-сурет – Топырақтың ауыр металдармен ластану картасы

Figure 6 – Map of soil pollution by heavy metals

ӘДЕБИЕТ

- [1] Erdogan H. E., Havlicek E., Dazzi C., Montanarella L., Van Liedekerke M., Vrščaj B., Krasilnikov P., Khasankhanova G., Vargas R. (2021). Soil conservation and sustainable development goals (SDGs) achievement in Europe and Central Asia: Which role for the European soil partnership? // *International Soil and Water Conservation Research*, 9(3), 360-369. <https://doi.org/10.1016/j.iswcr.2021.02.003>
- [2] Soltani N., Keshavarzi B., Moore F., Sorooshian A., Ahmadi M. R. (2017). Distribution of potentially toxic elements (PTEs) in tailings, soils, and plants around gol-E-Gohar iron mine, a case study in Iran // *Environ. Sci. Pollut. Res.* 24, 18798-18816. <https://doi.org/10.1007/s11356-017-9342-5>
- [3] Неведров Н. П., Белоконов А. Л., Анненков С. А., Проценко А. А., Проценко Е. П., Балабина Н. А., Пученкова А. В. Содержание тяжёлых металлов в почвах с различным уровнем антропогенной нагрузки на территории Курской области // *Научные ведомости БелГУ. Естественные науки.* – 2015. – № 30(3). – С.117–125.
- [4] Ping Wen, Shi-wei Feng, Jie-Liang Liang, Pu Jia, Bin Liao, Wen-sheng Shu, Jin-tian Li, Xin-zhu Yi. Heavy metal pollution in farmland soils surrounding mining areas in China and the response of soil microbial communities // *Soil Security*. Vol. 17, 2024, 100173, ISSN 2667-0062, <https://doi.org/10.1016/j.soisec.2024.100173>
- [5] Берденов Ж. Г., Джаналеева Г. М. Применение ГИС-технологий при изучении геосистем техногенного происхождения Актобинской агломерации // *Материалы международной конференции «ИнтерКарто. ИнтерГИС».* – 2015. – С. 133-138. DOI:10.24057/2414-9179-2015-1-21-133-138
- [6] Jiang H. H., Cai L. M., Wen H. H., Hu G. C., Chen L.G., & Luo J. (2020). An integrated approach to quantifying ecological and human health risks from different sources of soil heavy metals // *Science of The Total Environment*, 701, 134466. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.134466>
- [7] Singh V., Singh N., Verma M., Kamal R., Tiwari R., Sanjay Chivate M., Rai S. N., Kumar A., Singh A., Singh M. P., Vamanu E., Mishra V. (2022). Hexavalent-Chromium-Induced Oxidative Stress and the Protective Role of Antioxidants against Cellular Toxicity Antioxidants, 11(12), 2375. <https://doi.org/10.3390/antiox11122375>
- [8] Xu W., Jin Y., Zeng G. (2024). Introduction of heavy metals contamination in the water and soil: A review on source, toxicity and remediation methods // *Green Chemistry Letters and Reviews*, 17 (1), 2404235. <https://doi.org/10.1080/17518253.2024.2404235>
- [9] Haicheng Wang, Shuqun Xiao, Ruiwen Shen, Qiuming Cheng, Shengyuan Zhang, Rapid detection of soil heavy metal pollution using hyperspectral data and multiscale spatial network // *Environmental Technology & Innovation*. Vol. 37, 2025, 104031, ISSN 2352-1864, <https://doi.org/10.1016/j.eti.2025.104031>
- [10] Tao Wen, Yibo Cheng, Yali Yuan, Ruilian Sun. Quantitative analysis and risk assessment of heavy metal pollution in an intensive industrial and agricultural region // *Ecotoxicology and Environmental Safety*. Vol. 289, 2025, 117634, ISSN 0147-6513, <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2024.117634>
- [11] Агроклиматические ресурсы Актобинской области: научно-прикладной справочник / Под ред. С. С. Байшолонова. – Астана, 2017. – 136 с.
- [12] ГОСТ 17.4.4.02 2017. Межгосударственный стандарт. «Охрана природы. Почвы. Методы отбора и подготовки проб для химического, бактериологического, гельминтологического анализа».
- [13] Копылова Л. В. Оценка уровня загрязнения почв тяжёлыми металлами и интенсивность поглощения их древесными растениями // *Ученые записки ЗабГУ. Серия: биологические науки.* – 2012. – № 1(42). – С. 70-75.
- [14] Сагд Ю. Е. и др. Геохимия окружающей среды. – М.: Недра, 1990. – 335 с.
- [15] Аумақтардың экологиялық ахуалын бағалау өлшемшарттарын бекіту туралы. Қазақстан Республикасы Экология, геология және табиғи ресурстар министрінің м.а. 2021 жылғы 13 тамыздағы № 327 бұйрығы. <https://adilet.zan.kz/kaz/docs/V2100023994>
- [16] Середина В. П. Загрязнение почв: Учебное пособие. – Томск: Издательский дом Томского государственного университета, 2015. – 346 с.
- [17] Тіршілік ету ортасының қауіпсіздігіне гигиеналық нормативтерді бекіту туралы. Қазақстан Республикасы Денсаулық сақтау министрінің 2021 жылғы 21 сәуірдегі № ҚР ДСМ-32 бұйрығы. <https://adilet.zan.kz/kaz/docs/V2100022595>
- [18] Сарсембин У. Қ., Батырова Г. А., Умарова Г. А., Ургүшбаева Г. М., Айкенова Н. Е. Ақтөбе қаласының топырағының ауыр металдармен ластануын экологиялық бағалау // *Вестник Карагандинского университета. Серия «Биология. Медицина. География».* – 2022. – № 3(107). – С.109-116. <https://doi.org/10.31489/2022bmg3/109-116>

REFERENCES

- [1] Erdogan H. E., Havlicek E., Dazzi C., Montanarella L., Van Liedekerke M., Vrščaj B., Krasilnikov P., Khasankhanova G., Vargas R. (2021). Soil conservation and sustainable development goals (SDGs) achievement in Europe and Central Asia: Which role for the European soil partnership? // *International Soil and Water Conservation Research*, 9(3), 360-369. <https://doi.org/10.1016/j.iswcr.2021.02.003>
- [2] Soltani N., Keshavarzi B., Moore F., Sorooshian A., Ahmadi M. R. (2017). Distribution of potentially toxic elements (PTEs) in tailings, soils, and plants around gol-E-Gohar iron mine, a case study in Iran // *Environ. Sci. Pollut. Res.* 24, 18798-18816. <https://doi.org/10.1007/s11356-017-9342-5>
- [3] Nevedrov N. P., Belokon A. L., Annenkov S. A., Protsenko A. A., Protsenko E. P., Balabina N. A., Puchenkova A. V. Heavy metal content in soils with different levels of anthropogenic stress in the Kursk region // *Scientific bulletin of BelSU. Natural sciences*. 2015. № 30(3). 117-1125 p. (in Russ.).

- [4] Ping Wen, Shi-wei Feng, Jie-Liang Liang, Pu Jia, Bin Liao, Wen-sheng Shu, Jin-tian Li, Xinzhu Yi, Heavy metal pollution in farmland soils surrounding mining areas in China and the response of soil microbial communities, *Soil Security*. Vol. 17, 2024, 100173, ISSN 2667-0062, <https://doi.org/10.1016/j.soisec.2024.100173>
- [5] Berdenov Zh. G., Dzhanaliev G. M. Application of GIS technologies in the study of geosystems of man-made origin of the Aktobe agglomeration // *Materials of the International conference "InterCarto. InterGIS"*, 2015. P. 133-138. DOI:10.24057/2414-9179-2015-1-21-133-138 (in Russ.).
- [6] Jiang H. H., Cai L. M., Wen H. H., Hu G. C., Chen L. G., Luo J. (2020). An integrated approach to quantifying ecological and human health risks from different sources of soil heavy metals // *Science of The Total Environment*, 701, 134466. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.134466>
- [7] Singh V., Singh N., Verma M., Kamal R., Tiwari R., Sanjay Chivate M., Rai S. N., Kumar A., Singh A., Singh M. P., Vamanu, E., Mishra, V. (2022). Hexavalent-Chromium-Induced Oxidative Stress and the Protective Role of Antioxidants against Cellular Toxicity Antioxidants, 11(12), 2375. <https://doi.org/10.3390/antiox11122375>
- [8] Xu W., Jin Y., Zeng G. (2024). Introduction of heavy metals contamination in the water and soil: A review on source, toxicity and remediation methods // *Green Chemistry Letters and Reviews*, 17 (1), 2404235. <https://doi.org/10.1080/17518253.2024.2404235>
- [9] Haicheng Wang, Shuqun Xiao, Ruiwen Shen, Qiuming Cheng, Shengyuan Zhang, Rapid detection of soil heavy metal pollution using hyperspectral data and multiscale spatial network // *Environmental Technology & Innovation*. Vol. 37, 2025, 104031, ISSN 2352-1864, <https://doi.org/10.1016/j.eti.2025.104031>
- [10] Tao Wen, Yibo Cheng, Yali Yuan, Ruilian Sun, Quantitative analysis and risk assessment of heavy metal pollution in an intensive industrial and agricultural region // *Ecotoxicology and Environmental Safety*. Vol. 289, 2025, 117634, ISSN 0147-6513, <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2024.117634>
- [11] Agroclimatic resource of Aktobe region: scientific and practical application / Scientific and Applied Reference Book. Astana, 2017. 136 p. (in Russ.).
- [12] GOST 17.4.4.02 2017. International Standard. Nature Protection. Soils. Methods of treatment and preparation of the test for chemical, bacteriological, helminthological analysis (in Russ.).
- [13] Kopylova L. V. Description of the level of contact with hard metals and the intensity of their destruction with heavy metals // *BaikalSU Scientific notes. Series: Biological Sciences*. 2012. No. 1(42). P. 70-75 (in Russ.).
- [14] Saet Yu. E. and others. *Geochemistry of the Earth's crust*. M.: Nedra, 1990. 335 p. (in Russ.).
- [15] On approval of criteria for assessing the environmental situation of territories. Order of the Acting Minister of Ecology, geology and natural resources of the Republic of Kazakhstan dated August 13, 2021, No. 327. <https://adilet.zan.kz/kaz/docs/V2100023994> (in Kaz.).
- [16] Seredina V. P. *Soil Pollution: Textbook*. Tomsk: Izdatelsky Dom Tomsk State University, 2015. 346 p. (in Russ.).
- [17] On approval of hygienic standards for Habitat safety. Order of the Minister of health of the Republic of Kazakhstan dated April 21, 2021, No. 32 of the Ministry of health of the Republic of Kazakhstan. <https://adilet.zan.kz/kaz/docs/V2100022595> (in Kaz.).
- [18] Sarsembin U. K., Batyrova G. A., Umarova G. A., Lerushbaeva G. M., Aikenova N. E. Environmental assessment of soil pollution of Aktobe city by heavy metals. // *Vestnik of Karaganda University. Series "Biology. Medicine. Geography"*. 2022. No. 3(107). P. 109-116. <https://doi.org/10.31489/2022bmg3/109-116> (in Kaz.).

Д. А. Муса¹, Б. Х. Тусупова^{*2}, Л. С. Курбанова³, С. М. Нурмакова⁴, К. Т. Кыргызбай⁵

¹ Магистрант (Казахский национальный университет им. аль-Фараби, Алматы, Казахстан; musa.dilnaz@bk.ru)

^{2*} К. т. н., старший преподаватель (Казахский национальный университет им. аль-Фараби, Алматы, Казахстан; tussupova@yandex.ru);

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

⁴ К. т. н., ассоциированный профессор (Казахский национальный исследовательский технический университет им. К. И. Сатпаева, Алматы, Казахстан; s.nurmakova@satbayev.university)

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

ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ ЗАГРЯЗНЕНИЯ ТЯЖЕЛЫМИ МЕТАЛЛАМИ НА ПОЧВЕННЫЕ УСЛОВИЯ ГОРОДА АКТОБЕ

Аннотация. Приводятся результаты исследования уровня загрязнения почвы районов Курмыш, Москва, АФЗ (Актюбинский ферросплавный завод), Авиагородок, 41-й разъезд города Актобе тяжелыми металлами, такими, как цинк (Zn), кадмий (Cd), свинец (Pb) и медь (Cu). Рассчитаны коэффициенты техногенной концентрации элементов (Kc), суммарный показатель загрязнения почвы (Zc). С помощью атомно-абсорбционной спектроскопии проведен анализ проб почвы из разных районов города. В ряде районов, таких, как Курмыш, Москва, концентрация цинка и кадмия превышает предельно допустимые концентрации (ПДК). Суммарный показатель загрязнения по всем регионам $Zc < 16$ показал низкий уровень загрязнения. Необ-

ходимо осуществлять меры по снижению токсической нагрузки на почвенный покров и восстановлению экологического равновесия.

Ключевые слова: тяжелые металлы, почва, загрязнение, пробы почв, подвижные формы микроэлементов, степень загрязнения, территория населенного пункта.

D. A. Musa¹, B. H. Tussupova^{*2}, L. S. Kurbanova³, S. M. Nurmakova⁴, K. T. Kyrgyzbay⁵

¹ Master student (Al-Farabi Kazakh National University, Almaty, Kazakhstan; musa.dilnaz@bk.ru)

^{2*} Candidate of Technical Sciences, Senior Lecturer (Al-Farabi Kazakh National University, Almaty, Kazakhstan; tussupova@yandex.ru)

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

⁴ Candidate of Technical Sciences, Associated Professor (Satbayev University, Almaty, Kazakhstan; s.nurmakova@satbayev.university)

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

ASSESSMENT OF HEAVY METAL POLLUTION IMPACT ON SOIL CONDITIONS OF AKTOBE CITY

Abstract. This article presents the results of a study on soil contamination levels in several districts of Aktobe – Kurmysh, Moscow, AFP (Aktobe Ferroalloy Plant), Aviakalashyk, and the 41st siding – by heavy metals such as zinc (Zn), cadmium (Cd), lead (Pb), and copper (Cu). The coefficients of anthropogenic concentration (Kc) and total pollution (Zc) were calculated. Soil samples from various areas were analyzed using atomic absorption spectrometry. In certain districts, particularly Kurmysh and Moscow, zinc and cadmium concentrations were found to exceed the maximum permissible concentrations (MPC). However, the total pollution index across all areas remained below $Zc < 16$, indicating a low overall level of contamination. The study highlights the need to implement measures aimed at reducing the toxic load on soils and restoring ecological balance.

Keywords: heavy metals, soil, pollution, soil samples, mobile forms of microelements, pollution degree, settlement territory.

<https://doi.org/10.55764/2957-9856/2025-2-53-63.20>

МРНТИ 39.19.31

УДК 911.52; 911.6; 912.43

**А. А. Токбергенова¹, Т. А. Басова², А. А. Кудерин^{*3},
А. Н. Мусагалиева⁴, Б. Билялов⁵, Б. К. Акмолдаева⁶**

¹ К. г. н., доцент, заведующая кафедрой географии, землеустройства и кадастра (Казахский национальный университет им. аль-Фараби, Алматы, Казахстан; aigul.tokbergenova@kaznu.edu.kz)

² К. б. н., главный научный сотрудник
(АО «Институт географии и водной безопасности», Казахский национальный университет им. аль-Фараби, Алматы, Казахстан; tbassova@mail.ru)

³ *PhD, руководитель лаборатории ландшафтоведения и проблем природопользования
(АО «Институт географии и водной безопасности», Казахский национальный университет им. аль-Фараби, Алматы, Казахстан; kuderin@list.ru)

⁴ PhD, доцент кафедры географии, землеустройства и кадастра (Казахский национальный университет им. аль-Фараби, Алматы, Казахстан; aizhan.mussagaliyeva@kaznu.edu.kz)

⁵ Докторант кафедры географии, землеустройства и кадастра
(Казахский национальный университет им. аль-Фараби, Алматы, Казахстан; bilalov.bekzat@mail.ru)

⁶ Докторант кафедры географии, землеустройства и кадастра (Казахский национальный университет им. аль-Фараби, Алматы, Казахстан; b.akmoldaeva2016@gmail.com)

КАРТОГРАФИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА ЛАНДШАФТНО-ЭКОЛОГИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ЗАПАДНО-КАЗАХСТАНСКОГО РЕГИОНА

Аннотация. Представлены результаты оценки ландшафтно-экологического состояния Западно-Казахстанского региона, которая проведена на основе полевых исследований и данных ДЗЗ (2023-2025 гг.). Разработана карта ландшафтно-экологического состояния региона в масштабе 1:1 500 000. Картографический анализ экологической ситуации региона показал, что наибольшие площади занимают ландшафты удовлетворительного экологического состояния (57,8 % площади региона), которые имеются во всех выделенных природных комплексах, где преобладающими видами антропогенного воздействия являются пастбищный, агрогенный, агропромышленный и водохозяйственный. Природные комплексы благоприятного и относительно благоприятного экологического состояния занимают 32,8 % площади региона и приурочены к полупустынным и пустынным районам, подверженным воздействию пастбищного животноводства. Напряженное и кризисное экологическое состояние ландшафтов наблюдается на 9,4 % территории региона и характеризуется значительными нарушениями внутриландшафтных связей и значительными потерями природно-ресурсного потенциала. Сказанное относится к районам добычи нефти и газа.

Ключевые слова: картирование, природные комплексы, антропогенное воздействие, ландшафтно-экологическое состояние.

Введение. Современное ландшафтно-экологическое состояние Западно-Казахстанского региона формируется под влиянием природных и антропогенных факторов. Территория региона в течение нескольких веков была подвержена сельскохозяйственному, в частности пастбищному, воздействию. В последние десятилетия регион испытывает значительные техногенные и линейно-техногенные воздействия вследствие добычи и транспортировки углеводородного сырья. Нарастание объемов добычи нефти и газа в регионе повлекло за собой интенсивное загрязнение атмосферного воздуха, почв, поверхностных и подземных вод, снижение видового биоразнообразия и т.д. Исследования по экологическому состоянию ландшафтов Западного Казахстана проводились Институтом географии и водной безопасности в 2007-2010 годах в рамках проекта «Исследование экологического состояния приграничных районов Атырауской, Мангистауской, Западно-Казахстанской и Актыобинской областей Казахстана для решения проблем трансграничного характера» [1].

Комплексные исследования ландшафтно-экологического состояния Западного региона Казахстана проведены в 2023-2025 годах Казахским национальным университетом им. аль-Фараби

в рамках программы «Устойчивое развитие природно-хозяйственных и социально-экономических систем Западно-Казахстанского региона в контексте зеленого роста: комплексный анализ, концепция, прогнозные оценки и сценарии». В результате полевых исследований и на основе данных ДЗЗ в рамках этой программы установлено, что наиболее значимыми экологическими проблемами Западно-Казахстанского региона являются [2-8]:

- 1) деградация почвенно-растительного покрова и потеря природно-ресурсного потенциала;
- 2) нарушение гидрологического режима, загрязнение поверхностных и подземных вод;
- 3) промышленное освоение территории (загрязнение атмосферного воздуха, почв, потеря биоразнообразия и др.);
- 4) хранение и утилизация промышленных и бытовых отходов.

Цель исследования – разработка карты ландшафтно-экологического состояния Западно-Казахстанского региона в масштабе 1:1 500 000.

Материалы и методы исследования. Картографирование ландшафтно-экологического состояния Западно-Казахстанского региона в масштабе 1:1 500 000 осуществлялось на государственной топографической основе с использованием разновременных космических снимков в соответствии с общепринятыми методами полевого картирования и применения значительного объема разноплановых информационных источников и научных отчетов: тематических карт и картосхем; научных и производственных отчетов; фондовых и статистических данных областных и районных акиматов Западно-Казахстанского региона за 2020-2025 годы; данных Научно-практического центра санитарно-эпидемиологической экспертизы и мониторинга РК [9-17], результатов исследования по программе «Устойчивое развитие природно-хозяйственных и социально-экономических систем Западно-Казахстанского региона в контексте зеленого роста: комплексный анализ, концепция, прогнозные оценки и сценарии», подпрограмм 1-6 за 2024-2025 годы [2-8].

Методической основой исследования стал комплекс системного, нормативно-правового и ландшафтно-экологического подходов с использованием данных ДЗЗ и современных ГИС-технологий, включающих сочетание ведущих принципов и методов ландшафтоведения, сельского хозяйства, экологии, землепользования и землеустройства и др. Картографический метод является главным методом изучения. Для создания геоинформационной базы данных исследования и обработки данных ДЗЗ использованы прикладные программы QGIS, ArcGIS, Supermap, ENVI и др.

В методическом плане основной сложностью определения ландшафтно-экологического состояния региона исследования является несопоставимость оценочных показателей по единицам измерения, так как одни носят количественные, а другие – качественные характеристики. Наиболее информативным является количественный интегральный подход, основанный на методах ранжирования отдельных показателей по уровню их экологического состояния [18-26], с последующим их суммированием на основе использования метода «взвешенных» баллов [27], позволяющий увязать разнокачественные показатели и провести их сравнительный анализ. Этот подход позволил осуществить интегральную оценку ландшафтно-экологического состояния природных комплексов региона по выделенным показателям.

Важным моментом при картографической оценке ландшафтно-экологического состояния региона стал выбор оптимального числа показателей, которые наиболее полно характеризуют экологическое состояние видов ландшафтов при комплексном воздействии природно-антропогенных факторов. В связи с этим выбранный комплекс показателей сгруппирован нами в три экологически значимые оценочные группы [1, 28]:

1. Природные условия и свойства природной среды, определяющие экологическое состояние региона, которые включают:

- климатические показатели, которые оценивались через соотношение тепла и влаги (гидротермический коэффициент) в определенных видах ландшафтов;
- орографические особенности территории, которые оценивались через показатели типа рельефа и степени его расчленения;
- гидролого-гидрогеологическое состояние ПТК определялось по плотности речной сети (км на км²), наличию подземных водных источников и водообеспеченности населения и отраслей промышленности и сельского хозяйства;
- почвенные показатели находились по классам бонитета преобладающих почв, характеризующих их природно-ресурсный потенциал;

– наличие и площади проявления опасных природных процессов оценивались на основании полевых исследований и анализа космических снимков и тематических карт.

2. Виды и степень антропогенного воздействия на природные комплексы, которые формируют экологическую составляющую региона, подразделяются на:

– сельскохозяйственное и агропромышленное воздействия, которые проявляются в степени распаханности территории (% от общей площади сельхозугодий); степени и характере проявления ирригационного воздействия (% от общей площади сельхозугодий); нагрузке скота на пастбища (количество голов на 100 га пастбищ с учетом природных зон); наличии животноводческих и птицеводческих предприятий (количество на единицу площади); наличия скотомогильников и использования пестицидов; в лесохозяйственном воздействии (вырубка и выкорчевка древесно-кустарниковой растительности);

– промышленно-техногенное, селитебное и линейно-дорожное виды воздействия включают такие параметры, как степень нарушенности территории вследствие развития перерабатывающей и добывающей промышленности (разработка месторождений полезных ископаемых, карьеров, рудников на 1000 км²); наличие хвостохранилищ, мест расположения промышленных отходов, в том числе радиоактивных; количество населенных пунктов и плотность населения на 1000 км², особенности инфраструктуры населенных пунктов; протяженность и плотность автомобильных дорог и трубопроводов [1];

– водохозяйственный вид воздействия учитывает такие показатели, как нарушение гидрологического режима рек и снижение водности вследствие безвозвратного изъятия воды на промышленно-сельскохозяйственные нужды; обмеление озер, в том числе Аральского моря; снижение уровня Каспийского моря; истощение запасов хозяйственно-питьевых вод и ухудшение условий обводнения пастбищ и сенокосов.

3. Последствия и факторы антропогенного воздействия, обуславливающие современное экологическое состояние региона, включают такие показатели, как загрязнение компонентов природной среды (поверхностные и подземные воды, почвенный покров, атмосферный воздух) вследствие воздействия промышленных и агропромышленных комплексов; потеря почвенного плодородия и снижение биологического и ландшафтного разнообразия; увеличение заболеваемости населения вследствие ухудшения экологии; масштаб и направленность проявления антропогенно обусловленных процессов и явлений (вторичное засоление, водная и ветровая эрозии, заболачивание и подтопление) [21, 24, 26].

Из перечисленных показателей для оценки экологического состояния природных комплексов Западно-Казахстанского региона нами выделены 20 параметров, которые оценивались в баллах по пятибалльной оценочной шкале. Самый низкий балл присваивался территориям с благоприятным экологическим состоянием, а самый высокий – территориям с напряженным и кризисным. Для каждого оценочного показателя разработана количественная шкала, по которой проводилось ранжирование ландшафтов по степени экологического состояния. Разработаны показатели, критерии оценки и их ранжирование по степени экологического состояния природных комплексов. Общая степень экологического состояния региона является кумулятивным показателем всех составляющих и рассчитывается как [1]:

$$K_{\text{лэс}} = P_{\text{пу}(1+2+\dots+n)} + \dots + P_{\text{в.ав}(1+2+\dots+n)} + \dots + P_{\text{пфав}(1+2+\dots+n)} + \dots,$$

где $K_{\text{лэс}}$ – общее ландшафтно-экологическое состояние; $P_{\text{пу}}$ – природные условия и свойства природной среды; $1+2+\dots+n$ – число параметров оценки рассматриваемых природных условий и свойств природной среды; $P_{\text{в.ав}}$ – степень и вид антропогенного воздействия; $1+2+\dots+n$ – число параметров оценки различных видов антропогенного воздействия; $P_{\text{пфав}}$ – последствия и факторы антропогенного воздействия; $1+2+\dots+n$ – число параметров оценки загрязнения и наличия антропогенно обусловленных процессов в ландшафтах.

По степени остроты экологического состояния природных комплексов региона исследования выделено пять степеней: благоприятное, относительно благоприятное, удовлетворительное, напряженное и кризисное, которым соответственно присвоен балл от одного (благоприятное) до пяти (кризисное) и по сумме наиболее информативных параметров воздействия выведены пределы значений в баллах для каждой степени экологического состояния ландшафтов (таблица 1).

Таблица 1 – Количественная шкала экологического состояния ландшафтов (в баллах)

Table 1 – Quantitative scale of ecological state of landscapes (in points)

Ландшафтно-экологическое состояние территории	Сумма в баллах
1. Благоприятное	<25
2. Относительно благоприятное	25-40
3. Удовлетворительное	41-60
4. Напряженное	61-80
5. Критическое	>80

Благоприятное экологическое состояние индицирует ландшафтно-экологические условия региона исследования, приближенные к фоновым; *относительно благоприятное* проявляется в незначительном изменении ландшафтно-экологических параметров и сохранении природно-ресурсного и экологического равновесия в природно-территориальных комплексах (ПТК).

При *удовлетворительном экологическом состоянии* в отдельных составляющих ПТК отмечаются негативные тенденции изменений, которые носят обратимый характер и при снижении антропогенного воздействия возвращаются в исходное состояние.

При *напряженном экологическом состоянии* возникают значительные изменения в ландшафтах региона, происходит быстрое нарастание угрозы потери природно-экологического потенциала, которое может быть приостановлено при минимизации антропогенного воздействия и проведении природоохранных мероприятий.

При *кризисном экологическом состоянии* в ландшафтах возникают глубокие, часто необратимые изменения, почти полная утрата природно-ресурсного потенциала, резкое ухудшение экологических условий проживания и состояния здоровья населения. Приостановление ухудшения экологической ситуации возможно при кардинальной перестройке системы природопользования и значительных финансовых вложениях.

Результаты и их обсуждение. Западно-Казахстанский регион (Мангистауская, Атырауская, Актыубинская и Западно-Казахстанская области), включающий в себя разнообразные природные ландшафты, сталкивается с рядом сложных ландшафтно-экологических проблем, которые в совокупности приводят к деградации экосистем и утрате природно-ресурсного потенциала территории. Оценка экологического состояния региона позволила ранжировать территории по степени экологической напряженности и разработать карту «Ландшафтно-экологическое состояние Западно-Казахстанского региона» масштаба 1:1 500 000. Основой для создания карты послужила ландшафтная карта, отображающая структуру территории как совокупности природных и природно-антропогенных ландшафтов.

Экологическое состояние природных комплексов на карте отражено в границах доминирующих ландшафтов; степень экологического состояния показана цветом. Цифрами (в числителе) в пределах ландшафтных выделов отмечены экологические проблемы, ранжированные по мере их значимости и определяющие экологическое состояние видов ландшафтов, а в знаменателе буквенными индексами показаны виды антропогенного воздействия.

Карта «Ландшафтно-экологическое состояние Западно-Казахстанского региона» сопровождается матричной легендой, в которой указаны преобладающие группы видов ландшафтов и осуществлено их ранжирование по степени экологической напряженности и видам антропогенного воздействия (рисунок 1).

Значительная протяженность Западно-Казахстанского региона (ЗКР) с севера на юг и с запада на восток, обуславливающая наличие широкого спектра природно-климатических зон, геоморфологических условий и большого разнообразия полезных ископаемых, предопределила широкий спектр хозяйственного использования природных комплексов и, как следствие, изменение экологических условий. Картографический анализ современной экологической ситуации позволил установить, что наибольшие площади занимают ландшафты удовлетворительного экологического состояния (57,8 % площади региона), представленные во всех выделенных природных комплексах. Преобладающими видами воздействия являются пастбищный, агрогенный, агропромышленный и водохозяйственный (рисунок 2).

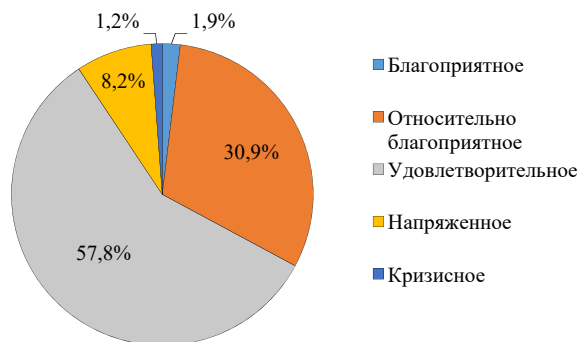


Рисунок 1 – Ранжирование ландшафтов Западно-Казахстанского региона по степени экологической напряженности, %

Figure 1 – Ranking of landscapes of the West Kazakhstan region by degree of environmental stress, %

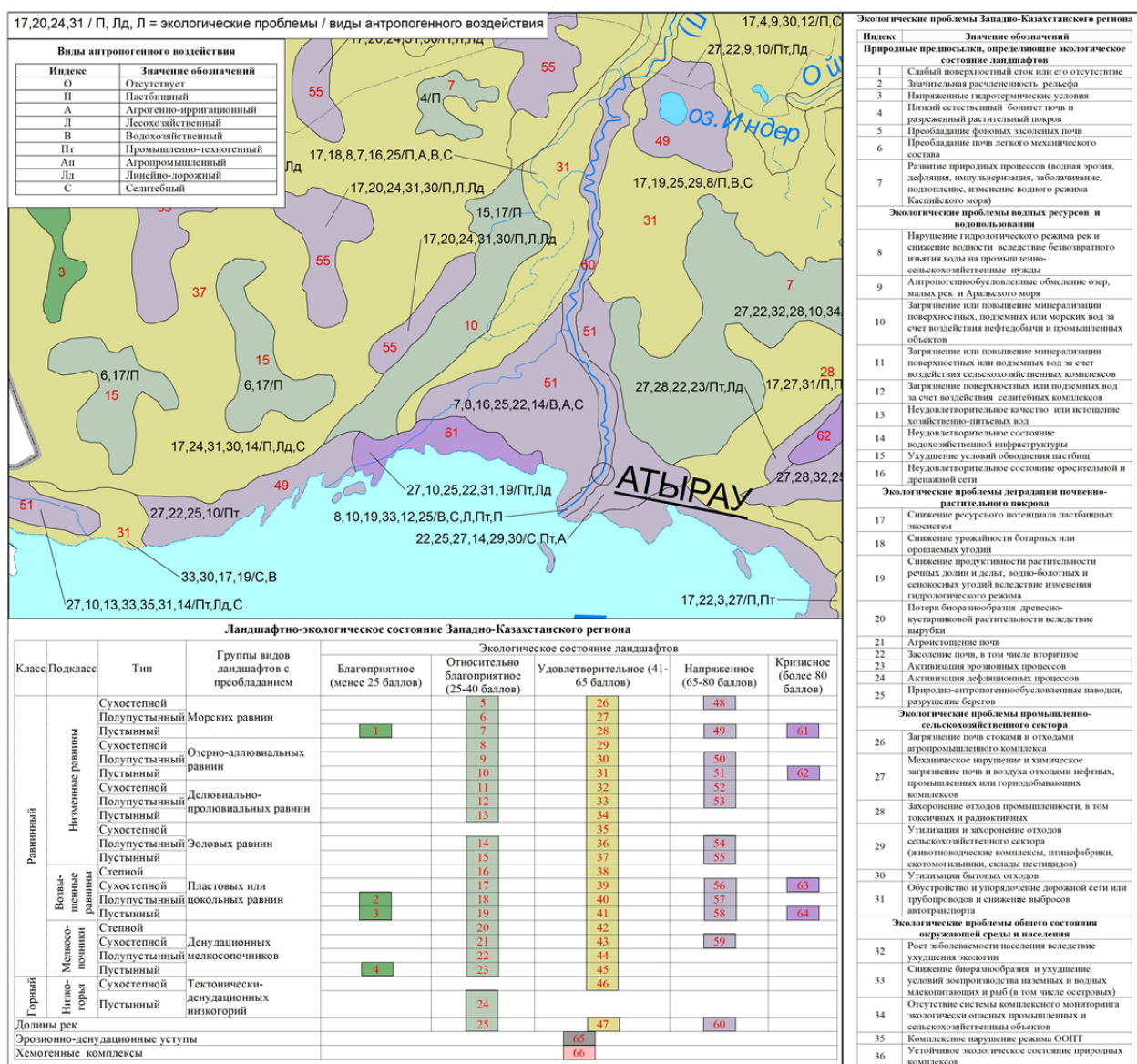


Рисунок 2 – Фрагмент карты ландшафтно-экологического состояния Западно-Казахстанского региона

Figure 2 – Fragment of the map of landscape-ecological state of the West Kazakhstan region

Природные комплексы благоприятного и относительно благоприятного экологического состояния занимают 32,8 % площади региона и приурочены в основном к полупустынным и пустынным районам, подверженным воздействию пастбищного животноводства. Напряженное и кризисное экологическое состояние ландшафтов представлено на 9,4 % территории и характеризуется значительными нарушениями в структуре и внутриландшафтных связях, значительными потерями природно-ресурсного потенциала в природно-хозяйственных системах, главным образом вовлечённых в промышленно-добывающее производство, и на территориях, подверженных значительному водохозяйственному воздействию.

Анализ экологического состояния природных комплексов в разрезе их принадлежности к определенным подклассам и определенным группам ландшафтов демонстрирует различную направленность их экологического состояния (рисунок 3, таблица 2).

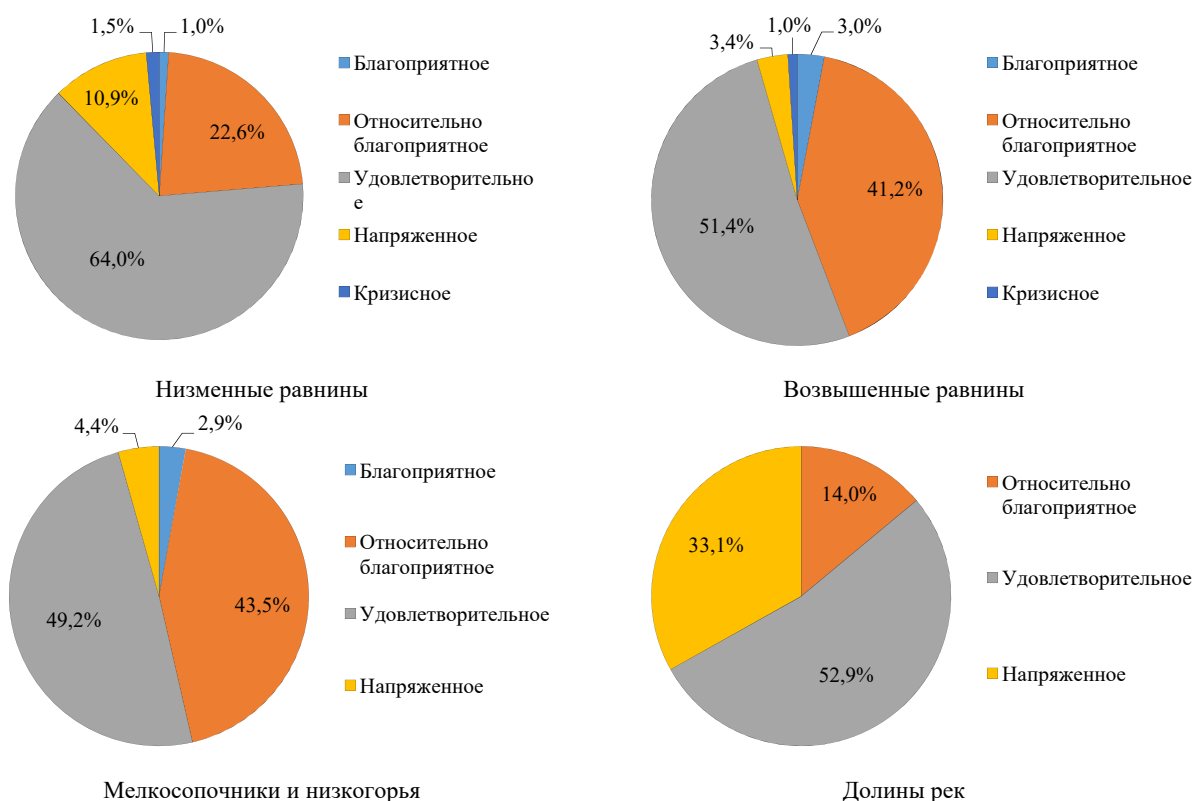


Рисунок 3 – Ранжирование ландшафтов Западно-Казахстанского региона по степени экологического состояния в зависимости от их принадлежности к определенным подклассам, %

Figure 3 – Ranking of landscapes in the West Kazakhstan region by ecological condition depending on their belonging to certain subclasses, %

Таблица 2 – Ранжирование групп видов ландшафтов Западно-Казахстанского региона по степени экологического состояния, км²

Table 2 – Ranking of groups of landscape types in the West Kazakhstan region by degree of ecological condition, km²

Группы видов ландшафтов с преобладанием	Экологическое состояние ландшафтов				
	Благоприятное	Относительно благоприятное	Удовлетворительное	Напряженное	Кризисное
Морских равнин	3732	43515	81317	14214	4705
Озерно-аллювиальных равнин		19334	57805	11290	488
Делювиально-пролювиальных равнин		12133	27179	3309	
Эоловых равнин		11587	62270	10087	
Пластовых или цокольных равнин	8961	122873	153340	10187	3051
Денудационных мелкосопочников	601	7942	9357	918	
Тектонически-денудационных низкогорий		1180	950		
Долины рек		2883	10915	6835	

На низменных равнинах Западно-Казахстанского региона наибольшие площади занимают ландшафты морских, озерно-аллювиальных и делювиально-пролювиальных равнин, среди которых 28,2 % их площади характеризуются благоприятным и относительно благоприятным экологическим состоянием, 59,6 % – удовлетворительным и 12,2 % – напряженным и кризисным экологическим состоянием.

У ПТК возвышенных равнин, представленных пластовыми и цокольными равнинами, преобладает удовлетворительное (51,4 % их площади) и относительно благоприятное экологическое состояние (41,2 % их площади). Природные комплексы напряженного и кризисного экологического состояния занимают 4,4 % площади возвышенных равнин.

Относительно благоприятное и удовлетворительное экологическое состояние преобладает в ландшафтах низменных и возвышенных равнин, используемых в качестве богарной пашни и пастбищ. В сухостепной зоне природные комплексы, несмотря на относительно высокую степень распаханности и повышенную нагрузку скота на пастбищах, функционируют в комфортных природно-климатических условиях. Из экологических проблем для этих ПТК следует выделить потерю почвенного плодородия; нарушение гидрологического режима и загрязнение поверхностных вод; снижение продуктивности богарных угодий и развитие солонцовых процессов. Для селитебных комплексов, характеризующихся удовлетворительным с фрагментами напряженного экологического состояния, наиболее актуальными экологическими проблемами являются напряженное состояние водохозяйственной инфраструктуры; проблемы бытовых отходов и обустройства дорог. Для селитебно-агропромышленных комплексов характерна относительно высокая плотность сельскохозяйственных и животноводческих комплексов, способствующих загрязнению почвенного покрова и поверхностных вод, и местами наличие необустроенных скотомогильников и складов пестицидов [2-5].

На низменных и возвышенных равнинах полупустынной и пустынной зон природными предпосылками ухудшения экологического состояния являются напряженные водно-климатические условия и слабое обводнение сельскохозяйственных угодий или его отсутствие; крайне низкий бонитет почв; ухудшение условий обеспечения населения водой хозяйственно-питьевого назначения; повсеместное развитие процессов импульверизации. Основной вид воздействия в этих природных условиях – пастбищное животноводство, характеризующееся неравномерной нагрузкой скота на угодья вследствие обострения проблемы обводненности последних, а в непосредственной близости к населенным пунктам – высокая нагрузка скота, ведущая к снижению природно-ресурсного потенциала природных комплексов, развитию эрозионных процессов или процессов засоления. В целом эти комплексы характеризуются относительно благоприятным, а при повышенных нормах нагрузки – удовлетворительным экологическим состоянием.

На низменных равнинах пустынной зоны отдельно рассмотрим золотые равнины, которые на 74,2 % их площади характеризуются удовлетворительным экологическим состоянием, обусловленным выпасом и вырубкой древесно-кустарниковой растительности на топливо, а на 12,0 % их площади отмечается напряженное экологическое состояние, проявляющееся в значительной потере природно-ресурсного потенциала, развитии процессов дефляции площадного характера в Рын песках, песках Большие и Малые Барсуки [1, 3, 7].

Напряженное и кризисное экологическое состояние на низменных равнинах представлено в морских и озерно-аллювиальных равнинах (особенно в Атырауской и Мангистауской областях), где значительно развит промышленно добывающий комплекс углеводородного сырья, кумулятивное воздействие которого способствует значительному ухудшению экологического состояния в природных комплексах вдоль побережья Каспийского моря и прилегающих территориях [4].

На возвышенных цокольных и пластовых равнинах сухостепной зоны, подверженных промышленному виду воздействия, напряженное и кризисное экологическое состояние отмечается в пределах промышленного комплекса г.а. (городская администрация) Актобе и территории, прилегающей к р. Елек, а в пустынной зоне – в пределах комплекса нефтегазовых месторождений в районе г.а. Жанаозен и прилегающих территорий (см. рисунок 3, таблицу 2). Из всего многообразия экологических проблем, наиболее значимыми являются механическое нарушение и химическое загрязнение почв и воздуха отходами нефтяных и промышленных комплексов; загрязнение или повышение минерализации поверхностных, подземных или морских вод; увеличение заболеваемости населения вследствие ухудшения экологии; засоление почв, в том числе вторичное; неудовлетворительное качество или истощение хозяйственно-питьевых вод [5, 7, 8].

Природные комплексы мелкосопочников и низкогорий в Западно-Казахстанском регионе на 92,7 % их площади характеризуются относительно благоприятным и удовлетворительным экологическим состоянием, обусловленным пастбищным и незначительно промышленным видами воздействия, которые вызывают развитие эрозионных процессов, снижение продуктивности пастбищных угодий, а в местах промышленных разработок – механическое разрушение и загрязнение почвенного покрова [2, 3, 8].

Долинные комплексы в Западно-Казахстанском регионе характеризуются главным образом удовлетворительным (52,9 % их площади) и напряженным (33,1 %) экологическим состоянием. Напряженная экологическая ситуация отмечается на участках долин рек Жайык, Караозен, Сарыозен, где основными экологическими проблемами являются нарушение гидрологического режима рек и снижение водности вследствие безвозвратного изъятия воды на промышленно-сельскохозяйственные нужды; загрязнение поверхностных вод за счет сельскохозяйственного (орошаемое земледелие и агропромышленные комплексы) и селитебного воздействия; снижение продуктивности растительности речных долин и дельт, водно-болотных и сенокосных угодий вследствие изменения гидрологического режима; засоление почв, в том числе вторичное, и наличие природно-антропогенно обусловленных процессов (подтопление, наводнения и разрушения берегов, засоление и ксерофитизация почвенно-растительного покрова). Напряженное экологическое состояние с фрагментами кризисного отмечается на отдельных участках р. Елек в связи с сильным загрязнением вод бором и хромом, представляющих серьезную угрозу здоровью населения [5].

Таким образом, картографическая оценка ландшафтно-экологического состояния природных комплексов Западного региона Казахстана является одним из подходов к решению проблемы установления региональных экологических проблем в области природопользования, так как основывается на принципе многоцелевого использования территории, предполагает учет воздействия природных и антропогенных факторов и выявление зон экологического напряжения природных комплексов вследствие хозяйственной деятельности.

Заключение. Картографическая оценка ландшафтно-экологического состояния Западно-Казахстанского региона, проведенная на основе интегральной оценки экологического состояния составляющих природных комплексов, содержит в себе объективную комплексную информацию о территориальном ранжировании ландшафтов по степени экологической напряженности, с отражением в каждом выделенном ландшафте конкретных экологических проблем, степени их проявления и причин их возникновения.

Результаты исследования могут быть использованы при территориальной организации сбалансированного природопользования Западно-Казахстанского региона, выборе эколого-сберегающих видов хозяйствования и нормирования на природно-территориальных комплексах.

Финансирование. Статья выполнена в рамках программы BR21882122 «Устойчивое развитие природно-хозяйственных и социально-экономических систем Западно-Казахстанского региона в контексте зеленого роста: комплексный анализ, концепция, прогнозные оценки и сценарии», подпрограммы 6 «Оценка ландшафтно-экологического состояния Западно-Казахстанского региона для обеспечения устойчивого развития» (2023-2025 гг.)

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Гельдыева Г. В., Басова Т. А., Скоринцева И. Б. и др. Ландшафтно-экологические проблемы природопользования приграничных территорий Республики Казахстан. – Алматы, 2011. – 284 с.
- [2] Оценка природно-ресурсного потенциала как основного фактора развития природно-хозяйственных систем Западно-Казахстанского региона. Раздел. Кормовые ресурсы: отчет о НИР; рук. Н. Х. Сергалиев. – Уральск, 2024. – 153 с.
- [3] Устойчивое развитие природно-хозяйственных и социально-экономических систем Западно-Казахстанского региона в контексте зеленого роста: комплексный анализ, концепция, прогнозные оценки и сценарии. Раздел. Оценка земельных ресурсов: отчет о НИР; рук. Пачикин К. М. – Алматы, 2024. – 173 с.
- [4] Устойчивое развитие природно-хозяйственных и социально-экономических систем Западно-Казахстанского региона в контексте зеленого роста: комплексный анализ, концепция, прогнозные оценки и сценарии. Подпрограмма № 1. Оценка природно-ресурсного потенциала как основного фактора развития природно-хозяйственных систем Западно-Казахстанского региона. По заданию: Уровень и режим Каспийского моря: отчет о НИР; рук. Сырлыбекқызы С. – 2024. – 204 с.
- [5] Устойчивое развитие природно-хозяйственных и социально-экономических систем Западно-Казахстанского региона в контексте зеленого роста: комплексный анализ, концепция, прогнозные оценки и сценарии. Подпрограмма № 5. Оценить загрязнение поверхностных и подземных вод ЗКР в контексте устойчивого развития: отчет о НИР; рук. Ақтымбаева А. С. – Алматы: КазНУ, 2024. – 112 с.

- [6] Устойчивое развитие природно-хозяйственных систем Западно-Казахстанского региона в контексте зеленого роста: комплексный анализ, концепция, прогнозные оценки и сценарии. Подпрограмма № 2. Оценить биоразнообразие ЗКР в контексте устойчивого развития и зеленого роста: отчет о НИР (промежуточный); рук. Исмагулова А. – Алматы, 2024. – 311 с.
- [7] Устойчивое развитие природно-хозяйственных и социально-экономических систем Западно-Казахстанского региона в контексте зеленого роста: комплексный анализ, концепция, прогнозные оценки и сценарии. Подпрограмма № 6. Оценить ландшафтно-экологическое состояние ЗКР для обеспечения устойчивого развития: отчет о НИР; рук. Токбергенова А. А. – Алматы: КазНУ, 2024. – 126 с.
- [8] Устойчивое развитие природно-хозяйственных и социально-экономических систем Западно-Казахстанского региона в контексте зеленого роста: комплексный анализ, концепция, прогнозные оценки и сценарии. Подпрограмма № 4. Оценить загрязнение почвы Западно-Казахстанского региона токсичными химическими веществами в результате промышленной деятельности: отчет о НИР; рук. Базарбаева Т. А. – Алматы, 2024. – 139 с.
- [9] Сводный аналитический отчет о состоянии и использовании земель Республики Казахстан за 2023 год. Комитет Республики Казахстан по управлению земельными ресурсами. – Астана, 2024. – 337 с.
- [10] Экологический кодекс Республики Казахстан от 2 января 2021 года № 400-VI ЗРК. [Электронный ресурс]. – URL: <https://adilet.zan.kz/rus/docs/K2100000400> (дата обращения: 08.04.2025).
- [11] Национальный доклад о состоянии окружающей среды в Республике Казахстан в 2023 году. – Астана, 2024. – 448 с.
- [12] Информационный бюллетень о состоянии окружающей среды Республики Казахстан за 2023 год. – Астана, 2024. – 158 с.
- [13] Сборник временных методических указаний по оценке земель Казахской ССР. – Алма-Ата: МСХ КазССР, 1979. – 123 с.
- [14] Приказ министра здравоохранения Республики Казахстан № 26 от 20 февраля 2023 года «Санитарно-эпидемиологические требования к водоисточникам, местам водозабора для хозяйственно-питьевых целей, хозяйственно-питьевому водоснабжению и местам культурно-бытового водопользования и безопасности водных объектов. [Электронный ресурс]. – URL: <https://adilet.zan.kz/rus/docs/V2300000026> (дата обращения: 09.04.2025).
- [15] Приказ министра здравоохранения Республики Казахстан № ҚР ДСМ-70 от 2 августа 2022 года «Гигиенические нормативы к атмосферному воздуху в городских и сельских населенных пунктах, на территориях промышленных организаций». [Электронный ресурс]. – URL: <https://adilet.zan.kz/rus/docs/V22R0000706> (дата обращения: 10.04.2025).
- [16] Методические указания по проведению оценки воздействия хозяйственной деятельности на окружающую среду: утверждены Приказом МООН РК от 29 октября 2010 года № 270-п. – Астана, 2010.
- [17] Приказ министра экологии, геологии и природных ресурсов Республики Казахстан № 280 от 30 июля 2021 года «Инструкции по организации и проведению экологической оценки». [Электронный ресурс]. – URL: <https://adilet.zan.kz/rus/docs/V2100023809> (дата обращения: 12.04.2025).
- [18] Верещака Т. В., Добс А. Р. Методика комплексной картографической оценки экологического состояния территории по интегральным показателям // Геодезия и картография. – 1997. – № 4. – С. 34-39.
- [19] Чибилев А. А., Гулянов Ю. А., Мелешкин Д. С. Оценка ландшафтно-экологической устойчивости земледельческих регионов Урала и Западной Сибири // Юг России: экология, развитие. – 2022. – Т. 17, № 1. – С. 109-118.
- [20] Zhao Y. et al. Construction and restoration of landscape ecological network in urumqi city based on landscape ecological risk assessment // Sustainability. – 2022. – Vol. 14, No. 13. – С. 8154.
- [21] Краснотарова Б. А., Орлова И. В., Плуталова Т. Г., Шарбарина С. Н. Ландшафтно-экологическая оценка засушливых земель российско-казахстанского приграничья для устойчивого землепользования // Аридные экосистемы. – 2019. – Т. 25, № 3(80). – С. 11-18.
- [22] Кочуров Б. И. География экологических ситуаций (экодиагностика территорий). – М.: ИГ РАН, 1997. – 156 с.
- [23] Astuto M. C. et al. In silico methods for environmental risk assessment: Principles, tiered approaches, applications, and future perspectives // In Silico Methods for Predicting Drug Toxicity. – NY: Springer US, 2022. – P. 589-636.
- [24] Liu P. et al. Ecological security assessment based on remote sensing and landscape ecology model // Journal of Sensors. – 2021. – Vol. 2021, No. 1. – P. 6684435.
- [25] Трифонова Т. А., Мищенко Н. В., Краснощеков А. Н. Геоинформационные системы и дистанционное зондирование в экологических исследованиях. – М., 2005. – 350 с.
- [26] Дмитриев В. В., Огурцов А. Н. Подходы к интегральной оценке и ГИС-картографированию устойчивости и экологического благополучия геосистем // Вестн. СПбГУ. Серия 7. Геология. География. – 2012. – Вып. 3. – С. 65-78.
- [27] Гродзинский М. Д. Устойчивость геосистем: теоретический подход к анализу и методы количественной оценки // Известия АН СССР. Сер. география. – 1987. – № 6. – С. 5-14.
- [28] Национальный атлас Республики Казахстан. Т. 3: Окружающая среда и экология. – Алматы, 2006. – 154 с.

REFERENCES

- [1] Geldyeva G. V., Bassova T. A., Skorintseva I. B. et al. Landscape-ecological problems of nature management of border territories of the Republic of Kazakhstan. Almaty, 2011. 284 p. (in Russ.).
- [2] Assessment of natural-resource potential as the main factor of development of natural-economic systems of the West Kazakhstan region. Section. Feed resources: Research report; scientific supervisor N. H. Sergaliyev. Oral, 2024. 153 p. (in Russ.).
- [3] Sustainable development of natural-economic and socio-economic systems of the West Kazakhstan region in the context of green growth: complex analysis, concept, forecast assessments and scenarios. Section. Assessment of land resources: Research report; scientific supervisor Pachikin K. M. Almaty, 2024. 173 p. (in Russ.).

- [4] Sustainable development of natural-economic and socio-economic systems of the West Kazakhstan region in the context of green growth: complex analysis, concept, forecast assessments and scenarios. Subprogramme No. 1. Assessment of natural-resource potential as the main factor of development of natural-economic systems of the West Kazakhstan region. By assignment: Caspian Sea level and regime: Research report; scientific supervisor Syrlybekkyzy S. 2024. 204 p. (in Russ.).
- [5] Sustainable development of natural-economic and socio-economic systems of the West Kazakhstan region in the context of green growth: complex analysis, concept, forecast assessments and scenarios. Subprogramme No. 5. To assess surface and groundwater pollution in the West Kazakhstan region in the context of sustainable development: Research report; scientific supervisor A. S. Aktymbayeva. Almaty: al-Farabi KazNU, 2024. 112 p. (in Russ.).
- [6] Sustainable development of natural-economic and socio-economic systems of the West Kazakhstan region in the context of green growth: complex analysis, concept, forecast assessments and scenarios. Subprogramme No. 2. To assess the biodiversity of the West Kazakhstan region in the context of sustainable development and green growth: Research report (interim); scientific supervisor A. Ismagulova. Almaty, 2024. 311 p. (in Russ.).
- [7] Sustainable development of natural-economic and socio-economic systems of the West Kazakhstan region in the context of green growth: complex analysis, concept, forecast assessments and scenarios. Subprogramme No. 6. To assess the landscape-ecological condition of the West Kazakhstan region to ensure sustainable development: Research report; scientific supervisor Tokbergenova A. A. Almaty: al-Farabi KazNU, 2024. 126 p. (in Russ.).
- [8] Sustainable development of natural-economic and socio-economic systems of the West Kazakhstan region in the context of green growth: complex analysis, concept, forecast assessments and scenarios. Subprogramme No. 4. To assess soil contamination of the West Kazakhstan region by toxic chemicals as a result of industrial activities: Research report; scientific supervisor Bazarbayeva T. A. Almaty, 2024. 139 p. (in Russ.).
- [9] Consolidated analytical report on the condition and use of lands of the Republic of Kazakhstan for 2023. Committee of the Republic of Kazakhstan on Land Resources Management. Astana, 2024. 337 p. (in Russ.).
- [10] Ecological Code of the Republic of Kazakhstan from 2 January 2021 № 400-VI ZRC. [Electronic resource]. – URL: <https://adilet.zan.kz/rus/docs/K2100000400> (date of access: 08.04.2025) (in Russ.).
- [11] National report on the state of the environment in the Republic of Kazakhstan in 2023. Astana, 2024. 448 p. (in Russ.).
- [12] Information Bulletin on the State of the Environment of the Republic of Kazakhstan for 2023. Astana, 2024. 158 p. (in Russ.).
- [13] Collection of temporary methodological guidelines for the assessment of lands of the Kazakh SSR. – Alma-Ata: Ministry of Agriculture of the Kazakh SSR, 1979. 123 p. (in Russ.).
- [14] Order of the Minister of Health of the Republic of Kazakhstan № 26 from 20 February 2023 Sanitary and epidemiological requirements for water sources, places of water intake for household and drinking purposes, household and drinking water supply and places of cultural and domestic water use and safety of water bodies. [Electronic resource]. – URL: <https://adilet.zan.kz/rus/docs/V2300000026> (date of access: 09.04.2025) (in Russ.).
- [15] Order of the Minister of Health of the Republic of Kazakhstan № KR DSM-70 from August 2, 2022 ‘Hygienic norms to the atmospheric air in urban and rural settlements, on the territories of industrial organizations. [Electronic resource]. – URL: <https://adilet.zan.kz/rus/docs/V22R0000706> (date of access: 10.04.2025) (in Russ.).
- [16] Methodological guidelines for assessment of the impact of economic activities on the environment: approved by the Order of the Ministry of Environmental Protection of the Republic of Kazakhstan dated October 29, 2010 No. 270-p. Astana, 2010 (in Russ.).
- [17] Order of the Minister of Ecology, Geology and Natural Resources of the Republic of Kazakhstan No. 280 of 30 July 2021 ‘Instructions on the organisation and conduct of environmental assessment’. [Electronic resource]. – URL: <https://adilet.zan.kz/rus/docs/V2100023809> (date of access: 12.04.2025) (in Russ.).
- [18] Vereshchaka T. B., Dobs A. R. Methodology of complex cartographic assessment of the ecological state of the territory by integral indicators // *Geodesy and Cartography*. 1997. No. 4. P. 34–39 (in Russ.).
- [19] Chibilev A. A., Gulyanov Yu. A., Meleshkin D. S. Assessment of landscape-ecological sustainability of agricultural regions of the Urals and Western Siberia // *South of Russia: ecology, development*. 2022. V.17, № 1. P. 109–118 (in Russ.).
- [20] Zhao Y. et al. Construction and restoration of landscape ecological network in urumqi city based on landscape ecological risk assessment // *Sustainability*. 2022. Vol. 14, No. 13. P. 8154.
- [21] Krasnoyarskaya B. A., Orlova I. V., Plutalova T. G., Sharabarina S. N. Landscape-ecological assessment of arid lands of the Russian-Kazakh border area for sustainable land use // *Arid Ecosystems*. 2019. Vol. 25, No. 3 (80). P. 11-18 (in Russ.).
- [22] Kochurov B. I. Geography of ecological situations (ecodiagnoses of territories). M.: Institute of Geography of the Russian Academy of Sciences, 1997. 156 p. (in Russ.).
- [23] Astuto M. C. et al. In silico methods for environmental risk assessment: Principles, tiered approaches, applications, and future perspectives // *In Silico Methods for Predicting Drug Toxicity*. NY: Springer US, 2022. P. 589-636.
- [24] Liu P. et al. Ecological security assessment based on remote sensing and landscape ecology model // *Journal of Sensors*. 2021. Vol. 2021, No. 1. P. 6684435.
- [25] Trifonova T. A., Mishchenko N. V., Krasnoshchekov A. N. Geoinformation systems and remote sensing in environmental studies. M., 2005. 350 p. (in Russ.).
- [26] Dmitriyev V. V., Ogurtsov A. N. Approaches to integral assessment and GIS-mapping of sustainability and environmental well-being of geosystems. // *Herald of St. Petersburg University. Series 7. Geology. Geography*. 2012. Vol. 3. P. 65-78 (in Russ.).
- [27] Grodzinsky M. D. Stability of geosystems: theoretical approach to the analysis and methods of quantitative assessment // Publisher: «Izvestia» by Russian Academy of Sciences. Geography. 1987. No. 6. P. 5-14 (in Russ.).
- [28] National Atlas of the Republic of Kazakhstan. Vol. 3: Environment and Ecology. Almaty, 2006. 154 p. (in Russ.).

А. А. Тоқбергенова¹, Т. А. Басова², А. А. Кудерин^{3*}, А. Н. Мусағалиева⁴, Б. Біләлов⁵, Б. К. Ақмолдаева⁶

¹ Г. ғ. к., доцент, география, жерге орналастыру және кадастр кафедрасының меңгерушісі
(Өл-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университеті, Алматы, Қазақстан; aigul.tokbergenova@kaznu.edu.kz)

² Б. ғ. к., бас ғылыми қызметкер
(«География және су қауіпсіздігі институты» АҚ, Өл-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университеті, Алматы, Қазақстан; tbassova@mail.ru)

^{3*} PhD, Ландшафттану және табиғатты пайдалану мәселелері зертханасының меңгерушісі
(«География және су қауіпсіздігі институты» АҚ, Өл-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университеті, Алматы, Қазақстан; kuderin@list.ru)

⁴ PhD, география, жерге орналастыру және кадастр кафедрасының доценті
(Өл-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университеті, Алматы, Қазақстан; aizhan.mussagaliyeva@kaznu.edu.kz)

⁵ География, жерге орналастыру және кадастр кафедрасының докторанты
(Өл-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университеті, Алматы, Қазақстан; bilalov.bekzat@mail.ru)

⁶ География, жерге орналастыру және кадастр кафедрасының докторанты
(Өл-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университеті, Алматы, Қазақстан; b.akhmoldaeva2016@gmail.com)

БАТЫС ҚАЗАҚСТАН Өңірінің ландшафттық-экологиялық жағдайын картографиялық бағалау

Аннотация. Мақалада далалық зерттеулер мен қашықтықтан зондау деректері негізінде жүргізілген Батыс Қазақстан облысының ландшафты-экологиялық жағдайын бағалау нәтижелері берілген (2023-2025 жж.). Облыстың ландшафттық-экологиялық жағдайының картасы 1:1500000 масштабта жасалды. Аймақтың экологиялық жағдайына картографиялық талдау жүргізу көрсеткендей, ең үлкен аумақтарды қанағаттанарлық экологиялық жағдайдағы ландшафттар (облыс ауданының 57,8%) алып жатыр, олар барлық анықталған табиғи кешендерде кездеседі, мұнда антропогендік әсердің басым түрлері жайылымдық, агрогендік, агроөнеркәсіптік және су шаруашылығы болып табылады. Қолайлы және салыстырмалы түрде қолайлы экологиялық жағдайдағы табиғи кешендер облыс аумағының 32,8%-ын алып жатыр және жайылымдық мал шаруашылығымен айналысатын шөлейт және шөлейт аймақтармен шектелген. Ландшафттардың шиеленіскен және сыни экологиялық жағдайы облыс аумағының 9,4%-ында байқалады және ландшафтшілік байланыстардың елеулі бұзылуымен және табиғи-ресурстық әлеуеттің айтарлықтай жоғалуымен сипатталады. Жоғарыда айтылғандар мұнай және газ өндіру аймақтарына қатысты.

Түйін сөздер: картаға түсіру, табиғи кешендер, антропогендік әсер, ландшафттық-экологиялық жағдай.

А. А. Tokbergenova¹, Т. А. Bassova², А. А. Kuderin^{3*}, А. Н. Mussagaliyeva⁴, B. Bilyalov⁵, B. K. Akmoldayeva⁶

¹ Candidate of Geographical Sciences, Associate Professor, Head of the Department of Geography, Land Management and Cadastre (Al-Farabi Kazakh National University, Almaty, Kazakhstan; aigul.tokbergenova@kaznu.edu.kz)

² Candidate of Biological Sciences, Chief Researcher («Institute of Geography and Water Security» JSC, Al-Farabi Kazakh National University, Almaty, Kazakhstan; tbassova@mail.ru)

^{3*} PhD, Head of the Laboratory of Landscape Science and Nature Management Problems («Institute of Geography and Water Security» JSC, Al-Farabi Kazakh National University, Almaty, Kazakhstan; kuderin@list.ru)

⁴ PhD, Associate Professor of the Department of Geography, Land Management and Cadastre (Al-Farabi Kazakh National University, Almaty, Kazakhstan; aizhan.mussagaliyeva@kaznu.edu.kz)

⁵ Doctoral student of the Department of Geography, Land Management and Cadastre (Al-Farabi Kazakh National University, Almaty, Kazakhstan; bilalov.bekzat@mail.ru)

⁶ Doctoral student of the Department of Geography, Land Management and Cadastre (Al-Farabi Kazakh National University, Almaty, Kazakhstan; b.akhmoldaeva2016@gmail.com)

CARTOGRAPHIC ASSESSMENT OF THE LANDSCAPE AND ECOLOGICAL STATE OF THE WEST KAZAKHSTAN REGION

Abstract. This article presents the results of a cartographic assessment of the landscape and ecological state of the West Kazakhstan region, based on field surveys and remote sensing data collected between 2023 and 2025. A landscape-ecological map of the region at a scale of 1:1,500,000 was developed. Cartographic analysis revealed that the largest portion of the region, 57.8%, is occupied by landscapes in a satisfactory ecological condition. These areas span all identified natural complexes and are predominantly influenced by pasture use, agrogenic activity, agro-industrial operations, and water management. Landscapes in favorable and relatively favorable ecological condition account for 32.8% of the territory and are mostly found in semi-desert and desert zones affected by grazing livestock. Landscapes in a tense or critical ecological state cover 9.4% of the region, exhibiting severe disruption of intra-landscape relationships and substantial degradation of natural resource potential, primarily in areas associated with oil and gas extraction.

Keywords: mapping, natural complexes, anthropogenic impact, landscape-ecological state.

<https://doi.org/10.55764/2957-9856/2025-2-64-72.21>

MRNTI 38.61.31

UDC 551.4:556.3:550.837.82

V. A. Smolyar¹, D. K. Adenova^{*2}, V. S. Rakhimova³, D. S. Sapargaliev⁴

¹ Doctor of Geological and Mineralogical Sciences, Chief Researcher («Institute of Hydrogeology and Geoecology named after U. M. Akhmedsafin» LLP, Almaty, Kazakhstan; v_smolyar@mail.ru)

^{2*} PhD, Chief Researcher («Institute of Hydrogeology and Geoecology named after U. M. Akhmedsafin» LLP, Almaty, Kazakhstan; adenovadinara@gmail.com)

³ PhD, Leading Researcher («Institute of Hydrogeology and Geoecology named after U. M. Akhmedsafin» LLP, Almaty, Kazakhstan; salybekova_v@mail.ru)

⁴ Doctoral Student, Researcher («Institute of Hydrogeology and Geoecology named after U. M. Akhmedsafin» LLP, Almaty, Kazakhstan; rgzgroup1@gmail.com)

ASSESSMENT OF IRRIGATED AGRICULTURE AVAILABILITY DUE TO GROUNDWATER DEPOSITS EXPLORED FOR LAND IRRIGATION IN SOUTHERN AND EASTERN KAZAKHSTAN

Abstract. This article analyzes the current state of water supply for irrigated lands and examines the potential use of explored groundwater deposits for irrigation purposes. Irrigated agriculture remains one of the most effective forms of agricultural production, enabling increased yields of grain and vegetable crops regardless of precipitation levels. However, a major issue in Kazakhstan's agricultural water use is the significant loss of water resources. The regions of Kazakhstan can be categorized into three groups based on their level of dependence on transboundary surface water inflow: the first group includes areas with high dependency, the second group with moderate dependency, and the third group consists of regions independent of external water sources. For each groundwater deposit identified for irrigation, the design irrigation area was calculated using the average hydromodule value. The greatest potential for irrigation using groundwater is found in the southern regions of Kazakhstan.

Keywords: groundwater deposits, water supply for irrigated lands, Southern and Eastern Kazakhstan.

Introduction. In the current century, the scarcity of surface water resources has forced many states to make greater use of groundwater for various purposes, including land irrigation. At the same time, fresh groundwater is used primarily for domestic and drinking water supply to the population.

Currently, the regions of Central Asia, including Kazakhstan, are already experiencing a deficit of water resources. According to experts' estimates, natural water resources of surface waters formed on the territory of Kazakhstan and neighboring countries are decreasing every year due to wide use, which entails difficulties in providing the necessary volumes of fresh water for the needs of the agrarian sector of the country [1, 2].

Integrated approaches to water resources management, combining groundwater and surface water, can significantly reduce human vulnerability to extreme climatic events and changes, and contribute to strengthening water and food security. According to expert estimates, conjunctive use of groundwater and surface water, where surface water is used for irrigation and water supply during wet periods and groundwater during drought periods, is of paramount importance [2].

Irrigated farming is one of the most efficient methods of agricultural production, allowing to increase production of grain and vegetable crops regardless of precipitation. Most of the territory of Kazakhstan belongs to arid zones with low precipitation [3, 4].

In the conditions of Kazakhstan land reclamation is one of the most important conditions for reducing the dependence of farming on unfavorable weather conditions and stability in the production of vegetable and gourds, technical, grain, forage crops, and, consequently, livestock products. Creation of a zone of guaranteed production of grain and fodder for livestock is the main task of irrigated lands. Along with this, it is envisaged to implement a set of measures to combat water and wind erosion of soils, integrated mechanization, electrification and chemicalization of agricultural production, creation of the necessary base and development of industrial methods of construction of irrigation systems [3].

It should be noted that in 1985 the total area of irrigated land in Kazakhstan was more than 3.2 million hectares, including the area of estuaries was about 900 thousand hectares. More than 96% of irrigated lands were developed. Due to salinization or conversion, 87 thousand ha, or less than 4%, were not used. Irrigated lands were available in 17 out of 19 regions of the Kazakh SSR, except for Mangyshlak and Turgai regions. The largest areas of irrigated lands were in Chimkent region – 483.0 thousand ha, in Almaty region – 349.7 thousand ha, in Taldy-Korgan region – 306.6 thousand ha, in Kyzylorda region – 287.3 thousand ha, in Zhambyl region – 216.8 thousand ha and in Semipalatinsk region – 124.7 thousand ha. Annual water withdrawal for irrigation alone was 23.4 billion cubic meters. Irrigated lands were irrigated on the area of 2.2 million ha. Irrigation by sprinkling machines was carried out on the area of almost 700 thousand ha [5].

Materials and Methods. In 2022 in Kazakhstan irrigated lands occupied an area of 2.2 million ha, while only 1,557.6 thousand ha or less than 70% were used, and more than 30% were not used [3, 6]. The main reason for underutilization of irrigated lands is significant deterioration and failure of irrigation and drainage systems, accompanied by deterioration of land reclamation condition. This is due to the fact that many irrigation and drainage systems were left without organized maintenance and care on irrigation areas divided among many peasant, farmer and other farms. In terms of irrigation water productivity (i.e. the amount of agricultural products produced per 1 cubic meter of water used), Kazakhstan lags behind foreign countries by 6-8 times: if abroad 2.5-6.0 kg of agricultural products are produced per 1 cubic meter of water, in Kazakhstan 0.4-0.8 kg. Yields of all types of crops (cotton, sugar beet, rice, corn, vegetables, grapes) cultivated on irrigated lands in Kazakhstan are 2-4 times lower than in advanced countries.

Today, the largest areas of irrigated land are in Almaty region (with Zhetysu region) – 584.6 thousand hectares, in Turkestan region – 550.5 thousand hectares, Kyzylorda region – 254.1 thousand hectares and Zhambyl region - 230.9 thousand hectares. Among other regions, the largest irrigated massifs are located in East Kazakhstan region (with Abai region) – about 220 thousand ha (within its current boundaries) [3, 6, 7]. Irrigated agriculture in the Republic of Kazakhstan is the largest water consumer. It previously accounted for more than 70% of fresh water withdrawals. Water use in irrigated agriculture includes regular and inundative irrigation needs. Regular irrigation is sufficiently developed in the south of the Republic – these are Turkestan, Almaty (with Zhetysu region), Zhambyl and Kyzylorda regions. Inundative irrigation has also received certain development in the Republic, especially in the northern regions. Water-saving technologies are applied on the area 2.5 times less than the 1988 level – almost 280 thousand ha, or 18% of the total irrigated area. Including: sprinkling – more than 200 thousand hectares, drip irrigation – almost 80 thousand hectares.

More than 70% of regular irrigated lands are located in the basins of the Syr Darya, Shu, Talas, Ile Rivers and Lake Balkhash, belonging to South Kazakhstan, Kyzylorda, Zhambyl and Almaty regions (with Zhetysu region). Irrigated farming has existed here since ancient times and is the basis of agricultural production. The sources of irrigation of existing irrigated lands are mainly surface water. During this period, the runoffs of the Syrdarya, Arys, Keles, Assa, Talas, Shu, Ili and other rivers were practically fully utilized. Irtysh-Karaganda Canal, Big Almaty Canal were put into operation, nonsaline and partially saline lands in the basins of SyrDarya, Ili, Karatal, Shu, Talas, Tentek, Assa rivers and in the zone of Irtysh-Karaganda were fully developed. Large works were carried out in the Irtysh River basin, where the area of regular irrigation amounted to 447.0 thousand hectares, and inundative irrigation - 309.0 thousand hectares. As a result, the volume of water consumption outweighed the volume of available water resources by 25%, i.e. there was a deficit of water resources.

Due to increase of irrigated land area in all regions and water basins of Kazakhstan at the expense of saline lands, specific volume of water consumption, i.e. irrigation norm of irrigated lands has increased. At the same time, the irrigation rate of agricultural lands in comparison with the evaporation capacity of the natural system in specific water basins is 40% higher, and its value has been constantly increasing, which has led to changes in the regime of permanent and temporary watercourses of river systems; geochemical flows have increased manifold due to the involvement in the active cycle of huge masses of salts previously “buried” by nature; microclimate, soil, biological, hydrogeological and hydrological conditions have changed within the agro-landscapes and adjacent territories. As a result, technogenically disturbed agro-landscapes appeared, requiring functional-component and structural reconstruction of their restoration and normalization, and most importantly, the deficit of water resources necessary for land irrigation increased [3, 6].

According to the optimal scenario of development it is envisaged to bring all irrigated areas to 2210 thousand hectares by the end of 2040, including regular irrigation – 1800.0 thousand hectares and inundative irrigation – 410 thousand hectares to fully meet the domestic needs of the population in agricultural products and livestock fodder. In this scenario, the area of irrigated land will increase up to 40%. However, there is an acute problem of providing additional irrigated areas with water resources. And this despite the fact that the Republic has more than 17 thousand rivers, 4 thousand lakes, 2.6 thousand glaciers with a total area of about 1 million km² and a volume of more than 187 km³, as well as more than 300 reservoirs, only about 3% of its territory is covered with water, and two thirds are arid zones. Most importantly, 44% of water resources of the Republic are formed in neighboring, bordering countries. Therefore, the issue of utilization of transboundary rivers is of vital importance for the Republic. For example, while the Western region of the country receives water from rivers flowing from Russia, Kyzylorda receives water from the Syr Darya from Uzbekistan. And in Zhambyl region there is the Shu which connects with the Talas River (Kyrgyzstan), in the east – the Irtysh and Ile rivers flowing from China [3, 6]. Since seven of the eight water basins are transboundary, Kazakhstan is largely dependent on the water policies of neighboring countries.

In the medium and long term, the country's water supply is expected to decrease due to a drop in river flow and an increase in water consumption. Environmentalists believe that by 2040, surface water shortages will increase in 6 of the nation's 8 water basins. International experts predict that Kazakhstan's water consumption will grow by 56% by 2040, and the deficit of water resources may reach 15 km³ per year, i.e. about 15%. And if no urgent measures are taken, the water situation will irreversibly deteriorate by 2040. According to experts' estimates, natural water resources formed on the territory of Kazakhstan and neighboring countries are decreasing every year due to wide use, which entails difficulties in providing the necessary volumes of fresh water for the needs of the agrarian sector of the country.

One of the main problems of agricultural water consumption in Kazakhstan is significant water losses. The main share of water losses falls on inter-farm and on-farm canals. Experts have estimated that, on average, from 2020 to 2022, mainline canal transportation has lost about 20 percent of the water withdrawn. And taking into account losses in inter-farm and on-farm canals on fields aggravated by outdated irrigation methods, water losses reach 40% [5, 6].

Kazakhstan is among the countries most affected by global climate change processes on the planet. In general, Kazakhstan's climate is warming almost twice as fast as the global climate. Severe droughts are expected to occur more frequently in Kazakhstan, contributing to land degradation, desertification, leading to dust storms throughout the country. Already now about 70% of lands in Kazakhstan are at risk of moisture deficit during the growing season. At 2–3-year intervals, the country faces serious problems with drought and crop failure.

Irrigated farming may be a way out. But this requires water resources, and their availability in the future is also questionable. The situation with water availability for Kazakhstan is aggravated by the fact that the country is seriously dependent on river runoff from neighboring countries. Namely: The Republic of Kazakhstan has total river water resources of 100 cubic kilometers per year, of which 56 cubic kilometers are formed on the territory of Kazakhstan. The remaining volume of 44 cubic kilometers comes from contiguous states: China – 21 cubic kilometers, Uzbekistan – 13 cubic kilometers, Russia – 7 cubic kilometers, Kyrgyzstan – 3 cubic kilometers [4, 5, 6].

Results and Discussion. The regions of Kazakhstan can be divided into three groups according to the degree of dependence on surface water inflow from neighboring countries [2, 3, 4, 6]:

1. The first group with a high degree of dependence is the areas included in the Aral-Syrdarya, Shu-Talas and Zhaiyk-Caspian water management basin zones, which depend on water inflow from neighboring countries by 84%, 74% and 62%, respectively. This group includes Atyrau, Zhambyl, West Kazakhstan, Kyzylorda, Turkestan regions.

2. The second group with average degree of dependence is the areas included in the Balkhash-Alakol, Ertis, Tobol-Torgai water management basin zones, which depend on 41%, 23% and 5%, respectively, on water inflow from neighboring countries. This group includes Abai, Almaty, Zhetysay, East Kazakhstan, Kostanay, Pavlodar regions.

3. The third group is the areas included in the Esil and Nura-Sarysu water management basin zones, which do not depend on water inflow from neighboring states. This group includes Akmola, Karaganda, North Kazakhstan, Ulytau regions.

An important measure aimed at rational use of water resources and saving surface runoff is involvement of groundwater in economic use. Volume of groundwaters suitable for land irrigation in the republic is 7.76 km³/year. Groundwater utilization opens up opportunities for increasing irrigated areas in the Republic of Kazakhstan and, to some extent, covering the deficit in water resources [7, 8, 9].

During the Soviet period, 0.9 million hectares were irrigated with groundwater during the implementation of the Food Program in the XI Five-Year Plan (1981-1985). During this period, exploration and preparation for exploitation of fresh and slightly saline (up to 1.5 g/l, and often up to 3.0 g/l) groundwater reserves were carried out at an accelerated pace. However, the development of explored GDs for IL has been unsatisfactory. Thus, in 1982, only 33.4% of exploitable groundwater reserves were supplied for irrigation [30].

In Kazakhstan in 2000 it was planned to irrigate 350 thousand hectares of lands. As of 1983, under irrigation of 43.07 thousand ha and supply of 7.15 m³/s or 0.225 km³/year of groundwater, the value of actual hydromodule was estimated at 0.165 l/s per 1 ha. Under such hydromodule for irrigation of 350 thousand hectares of lands 58 m³/s of groundwater will be required, whereas already in 1987 170 m³/s (5.3 km³/year) was approved for the Republic. Thus, at that period undeveloped reserves of fresh and slightly saline (up to 2-3 g/l) groundwater could be used to plan irrigation in the area of 500 thousand ha, and this value can be considered as guaranteed. The determining factor of groundwater utilization for LI is its use during low water periods [30].

However, in 1990-2023, groundwater abstraction for irrigation and pasture watering has sharply decreased in Kazakhstan. For example, for 2023, groundwater uses for these purposes amounted to less than 140 thousand m³/d, which corresponded to about 1% of the previously approved exploitable groundwater reserves. At present, the deposits explored for irrigation of lands on the territory of Southern and Eastern Kazakhstan are practically not used. All deposits located in the territory of South and East Kazakhstan are confined to aquifers with fresh groundwater suitable in quality for domestic and drinking water supply [7, 9, 10, 11].

It should be noted that according to the legislation of Kazakhstan, and many other countries, the use of groundwater of potable quality for needs not related to domestic and drinking water supply, as a rule, is not allowed. And only in areas where there are no necessary surface water sources, or their resources are insufficient and there are sufficient reserves of groundwater of drinking quality, it is allowed to use these waters for other purposes, including land irrigation, with the permission of authorities on regulation of water use and protection [6, 8].

For Kazakhstan, fresh groundwater of potable quality is a strategic resource and part of the main elements of environmental and water security. Republic of Kazakhstan. Additional studies are needed to assess the availability of fresh groundwater in Kazakhstan in order to obtain sufficiently justified and reliable results based on the principles of long-term use of groundwater resources primarily for domestic and drinking water supply.

The advantages of groundwater irrigation are: the possibility of receiving water directly at irrigated areas, which reduces the length of the irrigation network and increases its efficiency; water purity; frequent combination of irrigation and drainage purposes. The use of artesian self-discharging groundwater is particularly valuable because it requires no energy expenditure or this expenditure is significantly lower [4, 7, 8]. Disadvantages of groundwater use as irrigation sources are: high cost of water lifting, absence of fertilizing silt particles in water, danger of depletion of groundwater reserves, especially of drinking quality.

As for operational costs, they are higher under groundwater irrigation than under surface water irrigation. For 1 ha 400-500 kW of electric power is spent when water is lifted from wells from depths of 30 m and up to 1500-1600 kW at a depth of 100 m. In addition, to increase the irrigated area it is necessary to arrange regulating reservoirs (accumulating basins). At the same time, the experience of groundwater irrigation of vegetable crops in neighboring countries shows that the cost of construction of an irrigated area, including the construction of a closed irrigation network, storage basin with impervious cover and drilling of wells, pays for one or two years of operation [4, 8].

Analysis of the results of assessment of the degree of availability of operational groundwater reserves has shown that in all deposits explored for land irrigation on the territory of administrative regions of South and East Kazakhstan, operational reserves are fully provided with natural resources and natural reserves. Therefore, climatic changes in the groundwater level regime of individual deposits, due to low

water years, will not significantly affect the values of exploitable reserves of groundwater deposits explored for irrigation. Thus, exploitable groundwater reserves of these deposits can provide certain areas for irrigation of lands after construction of irrigated massifs with construction of necessary irrigation systems adjacent to a particular deposit explored for irrigation.

The whole irrigation system is designed usually in relation to the features of the irrigated massif. Such factors as: relief, soil condition, hydrogeology, engineering geology, determine the composition, quantity and structure of irrigation system elements. Therefore, first of all, within the planned irrigation massifs it is necessary to conduct complex hydrogeological and engineering-geological studies on the scale of 1:50,000 in order to solve the following main tasks: 1) study of hydrogeological and engineering-geological conditions of the territory and their ameliorative assessment for selection and justification of composition and methods of ameliorative measures; 2) obtaining necessary design values of parameters for aeration and saturation zones used in designing irrigation and drainage system structures, as well as forecasting their operation conditions; 3) study of groundwater regime and balance and obtaining initial data for forecasting groundwater regime and water-salt balance under irrigation conditions; 4) assessment of groundwater quality and degree of its suitability for irrigation, etc.

Design irrigation areas were determined for each groundwater deposit explored for irrigation, based on the average value of the irrigation modulus that takes into account its flow rate for irrigation without taking into account losses in the irrigation network. For Central Asia and Kazakhstan, the irrigation modulus is usually in the range of 1.0-0.5 l/s per 1 ha. An average module value of 0.7 l/s per 1 ha (0.0007 m³/s per 1 ha) was used for the calculations [3, 4].

Area calculations were made for each groundwater deposit within the administrative regions of South and East Kazakhstan. The results are presented in table.

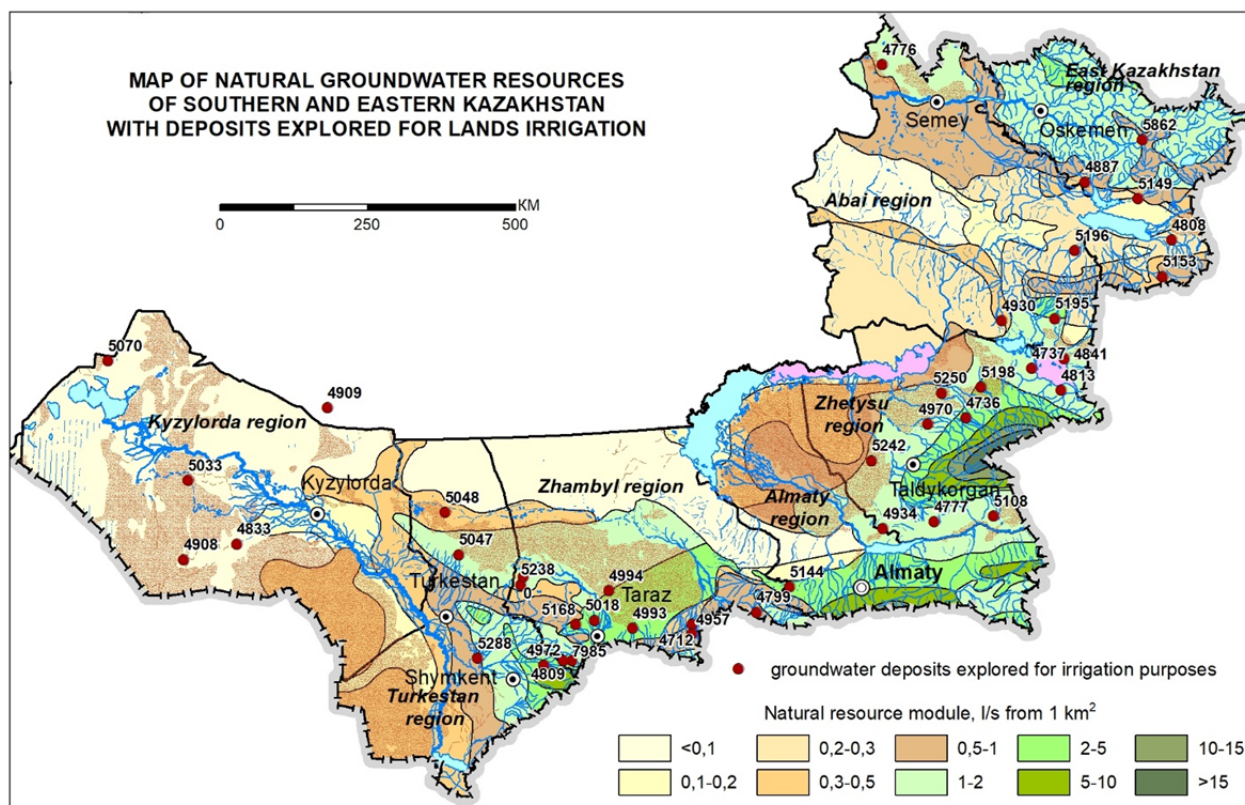
Irrigation areas provided with exploitable reserves of groundwater deposits explored for irrigation in Southern and Eastern Kazakhstan

Administrative region. Cadastre GD code	Name of GD	Geological index of aquifer (complex)	Salinity, g/l	EGWR value for irrigation			Coefficient of EGWR availability $K_{availability} = \frac{Q_{availability}}{Q_{exploitation}}$	Approximate area of groundwater irrigation, ha
				thous. m ³ /day	km ³ /year	m ³ /s		
1	2	3	4	5	6	7	8	9
Almaty		South Kazakhstan						
4849	Issyk-Turgen	ap Q	0.1-0.7	583.2	0.2128	6.7500	2.29	9 642.8571
4878	Karadala	N ₂ K	0.2-0.7	776.1	0.2832	8.9826	1.12	12 832.2857
4881	Karoi	ap Q _I	0.1-0.3	12.9	0.0047	0.1493	3.75	213.2857
5056	Talgar	ap Q	0.2-0.4	288.72	0.1053	3.3416	4.17	4 773.7142
5089	Uzun-Agach	ap Q _{I-II}	0.1-0.9	257	0.0938	2.9745	2.06	4 249.2857
5112	Chilik	ap Q	0.2-0.7	1341	0.4894	15.5208	1.86	22 172.5714
5144	Yuzhno-Kopinskoe	ap Q _I / N ₁	0.2-0.9	73	0.0266	0.8449	4.37	1 207.0000
Total GD, reserves, irrigated areas	7			3331.92	1.2158	38.5637		55 091.0000
Zhetysu								
4736	Aksu	ap Q _{I-II}	0.1-0.5	1497.5	0.5465	17.3321	1.261	24 760.1428
4737	Alakol	ap Q-alQ _{I-II}	0.2-0.4	864.7	0.3156	10.0081	2.64	14 297.2857
5250	Baskan	ap Q	0.2-0.8	259.2	0.0946	3.0000	2.06	4 285.7142
4777	Bashi	dp Q _I -ap Q _{II}	0.1-0.8	116.6	0.0425	1.3495	3.21	1 927.8571
4813	Djungar	Q _{I-II}	0.2-0.4	802.6	0.2929	9.2893	1.40	13 270.4285
5242	Karatal	Q _I / N ₂	0.8-0.9	311	0.1135	3.5995	3.83	5 142.1428
4934	Kerbulak	Q _{I-II} / N ₂	0.5-0.8	140.2	0.0511	1.6226	2.11	2 318.0000
4970	Molaly	a Q _{I-II} -ap Q _{I-II}	0.4-0.7	457.7	0.167	5.2874	1.53	7 553.4285

Continuation of the table								
1	2	3	4	5	6	7	8	9
5108	Khorgos	ap Q _{I-II} -a Q	0.2-0.3	2643.9	0.965	30.6006	1.47	43 715.1428
5198	Shilikta	ap Q _{I-II}	0.2-0.6	755.1	0.2756	8.7395	1.61	12 485.0000
Total GD, reserves, irrigated areas	10			7 848.6	2.8643	90.8286		129 755.1428
Zhambyl								
5238	Akzhar	P ₁ - P ₂	0.4-0.6	43.2	0.0157	0.5000	2.09	714.2857
4712	Aspara	Q _I ap Q _{II-III} -N	0.2-0.4	129.6	0.0473	1.5000	6.78	2 142.8571
5168	Biylikol	a Q _{III} -N ₂	0.3-0.7	293.7	0.1072	3.3993	1.23	4 856.1428
4799	Georgievs- koye- Talpty	a Q _{III-IV}	0.3-0.5	46.6	0.017	0.5393	1.55	770.4285
4809	Zhualyn	ap Q _{II-III}	0.2-0.5	292.1	0.1066	3.3807	2.24	4 829.5714
4957	Merken	ap Q _{II-III}	0.1-0.2	116.7	0.0425	1.3506	8.05	1 929.4285
4993	Podgornen- skoye	ap Q _{II-III}	0.2-0.8	330	0.1204	3.8194	1.54	5 456.2857
4994	Predpesko- voye	a Q-N ₂	0.3-0.8	294.9	0.1076	3.4131	2.33	4 875.8571
4944	Lugovskoye	ap Q _{II-III}	0.2-0.8	500	0.1825	5.7870	3.76	8 267.1428
5018	Talas-Assin (North)	ap Q _{III-IV} - N ₂	0.4-0.7	228.1	0.0832	2.6400	4.38	3 771.4285
5144	Yuzhno- Kopinskoe	ap Q _I - N ₁	0.2-0.9	18.3	0.0066	0.2118	18.08	302.5714
7985	Shakpakata	C ₁	0.3-0.5	0.740	0.00027	0.00856	3.50	12.2285
Total GD, reserves, irrigated areas	12			1 793.94	0.6543	26.5497		37 928.2285
Kyzylorda								
4833	Zhanadarya	K	1.0-2.0	21.6	0.0078	0.2500	3.52	357.1428
4908	Kuvandarya	K ₂	1.3-1.4	72.5	0.0264	0.8391	2.56	1 198.7142
4909	Kyzylkum	K ₂	1.6-2.0	71.5	0.026	0.8275	5.05	1 182.1428
5033	Sarybulak	K ₂	1.5-3.0	21.1	0.0077	0.2442	6.10	348.8571
5070	Tolagai	P ₂	0.5-1.0	4.8	0.0017	0.0555	60.0	79.2857
Total GD, reserves, irrigated areas	5			191.5	0.0696	2.2163		3 166.1428
Turkestan								
5288	Bugun	Q _{II} - N ₂	0.6-2.0	302.4	0.1103	3.5000	1.33	5 000.0000
4972	Michurinskoe	ap Q _{II-III}	0.5	42.9	0.0156	0.4965	5.13	709.2857
5048	Suzak	N ₂ - P ₂ ¹⁻² , K ₂	0.3-1.8	138.6	0.0505	1.6041	4.99	2 291.5714
5047	Suykbulak- Intymak	K ₂	0.5	23.3	0.0085	0.2696	5.56	385.1428
Total GD, reserves, irrigated areas	4			507.2	0.1849	5.8702		8 386.0000
East Kazakhstan								
4808	Dairov	a Q _{II} N ₂ -Q ₁	0.2-0.7	667.3	0.2435	7.7233	1.38	11 033.2857
5149	Kalgutin	ap Q	0.2-0.8	45	0.0164	0.5208	4.03	744.0000
4887	Kuludzhun	ap Q	0.2-0.8	136.7	0.0498	1.5821	1.77	2 260.1428
5862	Narym	aQ _{II-III}	0.2-0.4	85.7	0.0312	0.9918	1.09	1 416.8571

End of table								
1	2	3	4	5	6	7	8	9
5153	Chilikta	apQ _{II} - N ₂ -Q ₁	0.2-0.3	139.1	0.0505	1.6099	2.25	2 299.8571
Total GD, reserves, irrigated areas	5			1073.8	0.3914	12.4279		17 754.1428
Abai								
4776	Balapanovskoye	aQ _{II-III} , N ₂ -Q ₁ , P ₂₋₃	0.2-0.6	85.794	0.0313	0.9929	1.25	1 418.4285
4841	Zharbulak	apQ ₁ , ap Q _{II-III}	0.1-0.5	1071.3	0.391	12.3993	1.86	17 713.2857
4930	Karakol	aQ-apQ	0.4-1.0	216	0.0788	2.500	1.30	3 571.4285
5195	Katynsu	aQ-apQ _{I-IV}	0.2-0.5	483.8	0.1765	5.5995	1.5	7 999.2857
5196	Kurailin	aQ-apQ _{I-IV}	0.3-0.8	380.12	0.1387	4.3995	1.79	6 285.0000

Deposits explored for irrigation in Southern and Eastern Kazakhstan are reflected in the Map of natural groundwater resources, which confirms a high degree of availability of exploitable reserves in the deposits with natural resources figure.



Map of natural groundwater resources of Southern and Eastern Kazakhstan with deposits explored for irrigation

Southern Kazakhstan: total area of lands for possible irrigation due to groundwater use amounted to 234,326.51 thousand ha. In the context of administrative regions, it appears as follows: in Almaty region the total area of possible irrigation by groundwater amounted to 55,091.00 ha; in Zhetysay region – 129,755.14 ha; in Zhambyl region – 7,928.23 ha; in Kyzylorda region – 3,166.14 ha, in Turkmenistan region – 8,386.00 ha.

Eastern Kazakhstan: the total area of lands for possible irrigation through the use of groundwater amounted to 54,741.57 ha, at that, in East Kazakhstan region the total area of possible irrigation by groundwater amounted to 17,754.14 ha; in Abai region – 36,987.43 ha.

Conclusion. The analysis of the results of the completed study allowed us to draw the following conclusions:

- studies have shown that it is possible to irrigate significant areas of land at the expense of groundwater deposits explored for land irrigation;
- an average module value of 0.7 l/s per 1 ha (0.0007 m³/s per 1 ha) was used for the calculations;
- the largest areas of possible irrigation of lands at the expense of groundwater are confined to the territory of Southern Kazakhstan (234,326.51 ha), and among administrative regions – to the Zhetysu region (129,755.14 ha);
- on the territory of Eastern Kazakhstan, the largest areas of irrigated lands at the expense of groundwater are confined to Abai region (36,987.43 ha);
- it is possible to provide specified areas with exploitable groundwater reserves of these deposits for land irrigation after construction of irrigated massifs with construction of necessary irrigation systems adjacent to a specific deposit explored for irrigation, after studying hydrogeological and engineering-geological conditions of the territory of the selected areas and their ameliorative assessment for selection and justification of composition and methods of reclamation measures.

Funding. This research is funded by the Committee for Science of the Ministry of Science and Higher Education of the Republic of Kazakhstan (grant No. BR 21882211).

REFERENCES

- [1] Resource potential of groundwater in Kazakhstan as a source of sustainable drinking water supply / Edited by Absametov M. K. Almaty: Print express, 2023. 304 p. (in Russ.).
- [2] Smolyar V. A., Burov B. V., Mustafaev S. T. Groundwater in Kazakhstan: availability and use // Water resources of Kazakhstan: assessment, forecast, management. Almaty, 2012. Vol. XIX. 402 p. (in Russ.).
- [3] Ibatullin S. R., Balgabaev N. N. et al. Irrigated farming in Kazakhstan: status and prospects // Water resources of Kazakhstan: assessment, forecast, management. Almaty, 2012. Vol. X. 366 p. (in Russ.).
- [4] Averyanov S. F. Management of water regime of reclaimed agricultural lands // Under the general editorship of Y. N. Nikolsky. M.: Publishing house of Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy, 2015. 542 p. (in Russ.).
- [5] Mukhamedzhanov M. A., Makyzhanova A. T., Kulagin V. V. Justification and determination of perspective objects on groundwater use for land irrigation, fodder production and watering of pastures in Kazakhstan // Proceedings of NAS RK. Geology and Technical Sciences Series. 2017. No. 3(423). P. 72-83 (in Russ.).
- [6] General scheme of integrated use and protection of water resources. Approved by Resolution of the Government of the Republic of Kazakhstan No. 200 dated 08.04.2016 (in Russ.).
- [7] Absametov M. K., Mukhamedzhanov M. A., Sydykov Zh. S., Murtazin E. Zh. Groundwater of Kazakhstan – a strategic resource of water security of the country. Almaty, 2017. 220 p. (in Russ.).
- [8] State and perspectives of groundwater use for irrigation / Editor-in-Chief, Prof. Zektser I.S. M.: Science, 1988. 206 p. (in Russ.).
- [9] Underground waters of Kazakhstan – reserve of irrigated agriculture. Almaty: Science, 1988. 128 p. (in Russ.).
- [10] Reference book “Groundwater Deposits of Kazakhstan”. Vol. I, part 1. Western and Southern Kazakhstan. Almaty, 2019. 426 p. (in Russ.).
- [11] Reference book “Groundwater Deposits of Kazakhstan”. Vol. II, part II. Eastern Kazakhstan Almaty, 2019. 154 p. (in Russ.).
- [12] Kontsebovsky S. Ya., Minkin E. L. Groundwater resources in water balances of irrigated areas. M.: Science, 1986. 197 p. (in Russ.).

В. А. Смоляр¹, Д. К. Аденова^{*2}, В. С. Рахимова³, Д. С. Сапарғалиев⁴

¹ Геология-минералогия ғылымдарының докторы, Бас ғылыми қызметкер («У. М. Ахмедсафин атындағы гидрогеология және геоэкология институты» ЖШС, Алматы, Қазақстан; v_smolyar@mail.ru)

^{2*} PhD, Аға ғылыми қызметкер («У. М. Ахмедсафин атындағы гидрогеология және геоэкология институты» ЖШС, Алматы, Қазақстан; adenovadinara@gmail.com)

³ PhD, жетекші ғылыми қызметкер («У. М. Ахмедсафин атындағы гидрогеология және геоэкология институты» ЖШС, Алматы, Қазақстан; salybekova_v@mail.ru)

⁴ Докторант, ғылыми қызметкер («У. М. Ахмедсафин атындағы гидрогеология және геоэкология институты» ЖШС, Алматы, Қазақстан; rgzgroup1@gmail.com)

ОҢТҮСТІК ЖӘНЕ ШЫҒЫС ҚАЗАҚСТАН АЙМАҒЫНДА ЖЕРДІ СУАРУ ҮШІН ЗЕРТТЕЛГЕН ЖЕРАСТЫ СУ КЕНДЕРІНІҢ СУАРМАЛЫ ШАРУАШЫЛЫҒЫНЫҢ ҚАУІПСІЗДІГІН БАҒАЛАУ

Аннотация. Суармалы жерлерді сумен қамтамасыз ету көздеріне талдау жасалып, барланған жер асты суларының кен орындарын суару үшін пайдалану мүмкіндіктері қарастырылған. Суармалы егіншілік жауын-шашын мөлшеріне қарамастан астық және көкөніс дақылдарын өндіруді арттыруға мүмкіндік беретін ауыл шаруашылығы өндірісінің тиімді әдістерінің бірі болып табылады. Қазақстандағы ауылшаруашылық суды тұтынудың негізгі проблемаларының бірі судың айтарлықтай жоғалуы болып табылады. Қазақстан аймақтарын көршілес елдерден жер үсті суларының келуіне тәуелділік дәрежесі бойынша үш топқа бөлуге болады: бірінші топ – тәуелділік дәрежесі жоғары, екінші топ – орташа тәуелділік, үшінші топ – көршілес елдерден келетін су ағынына тәуелді емес аймақтар. Суару үшін барланған жер асты суларының әрбір кен орны үшін гидромодульдің орташа жас шамасының негізінде жобалық суару аландары анықталды. Жер асты суларын пайдалана отырып, жерді суарудың ең үлкен аумақтары Оңтүстік Қазақстанда орналасқан.

Түйін сөздер: жер асты суларының кен орындары, суармалы жерлерді сумен қамтамасыз ету, Оңтүстік және Шығыс Қазақстан.

В. А. Смоляр¹, Д. К. Аденова^{*2}, В. С. Рахимова³, Д. С. Сапарғалиев⁴

¹ Доктор геолого-минералогических наук, главный научный сотрудник (ТОО «Институт гидрогеологии и геоэкологии им. У. М. Ахмедсафина», Алматы, Казахстан; v_smolyar@mail.ru)

^{2*} PhD, старший научный сотрудник (ТОО «Институт гидрогеологии и геоэкологии им. У. М. Ахмедсафина», Алматы, Казахстан; adenovadinara@gmail.com)

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

⁴ Докторант, научный сотрудник (ТОО «Институт гидрогеологии и геоэкологии им. У. М. Ахмедсафина», Алматы, Казахстан; rgzgroup1@gmail.com)

ОЦЕНКА ОБЕСПЕЧЕННОСТИ ОРОШАЕМОГО ЗЕМЛЕДЕЛИЯ ЗА СЧЕТ МЕСТОРОЖДЕНИЙ ПОДЗЕМНЫХ ВОД, РАЗВЕДАННЫХ В ЮЖНОМ И ВОСТОЧНОМ КАЗАХСТАНЕ

Аннотация. Приведен анализ источников водоснабжения орошаемых земель и рассмотрены возможности использования разведанных месторождений подземных вод для орошения. Орошаемое земледелие является одним из наиболее эффективных методов ведения сельскохозяйственного производства, позволяющим увеличить производство зерновых и овощных культур независимо от количества осадков. Одной из основных проблем сельскохозяйственного водопотребления в Казахстане являются значительные потери воды. Регионы Казахстана можно разделить на три группы по степени зависимости от поступления поверхностных вод из соседних стран: первая группа с высокой степенью зависимости, вторая группа со средней степенью зависимости, третья группа – районы, не зависящие от поступления воды из соседних стран. Для каждого месторождения подземных вод, разведанного для орошения, были определены проектные площади орошения исходя из средневозрастного значения гидромодуля. Наибольшие площади возможного орошения земель с использованием подземных вод расположены в Южном Казахстане.

Ключевые слова: месторождения подземных вод, водообеспечение орошаемых земель, Южный и Восточный Казахстан.

Климатология и метеорология

Климатология және метеорология

Climatology and meteorology

<https://doi.org/10.55764/2957-9856/2025-2-73-85.22>

FTAMP 37.23.29
ӨОЖ 551.583

Э. К. Талипова¹, А. С. Нысанбаева², А. А. Тұрсынбай^{*3}

¹ PhD («География және су қауіпсіздігі институты» АҚ, Өл-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университеті, Алматы, Қазақстан; elmira_280386@mail.ru)

² Г.ғ.к., доцент (Өл-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университеті, Алматы, Қазақстан; ayman.nysanbaeva@kaznu.edu.kz)

^{3*} Магистрант (Өл-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университеті, Алматы, Қазақстан; ayazhan.0200@bk.ru)

ҚАЗАҚСТАННЫҢ ОҢТҮСТІГІНДЕГІ ҚҰРҒАҚШЫЛЫҚТЫҢ ҚАРҚЫНДЫЛЫҒЫ МЕН ЖИІЛІГІНЕ КЛИМАТТЫҚ ӨЗГЕРІСТЕРДІҢ ӘСЕРІН БАҒАЛАУ

Аннотация. Климаттың өзгеруі құрғақшылыққа бейім өңірлер үшін барған сайын елеулі қауіпке айналады. Соңғы онжылдықтарда Қазақстанның оңтүстік және бастыс аймақтарында орташа жылдық температураның жоғарылауы, жауын-шашынның азаюы және құрғақшылықтың қайталануы басқа аймақтарға қарағанда анық байқалуда. Бұл процестер ауыл шаруашылығына, су ресурстарына және экожүйелерге теріс әсер етіп, экономикалық және азық-түлік қауіпсіздігіне қауіп төндіреді. Құрғақшылық өнімділіктің төмендеуіне, топырақтың деградациясына және су тапшылығының жоғарылауына әкеледі, бұл шөлейттену мәселесін күшейтеді.

Бұл мақалада Қазақстанның оңтүстік аймағындағы заманауи климат өзгерістеріне талдау жүргізіліп, оның құрғақшылықтың қарқындылығы мен жиілігіне әсері бағаланған. Зерттеудің негізгі мақсаты – 1950-2023 жылдар аралығындағы жауын-шашын мен ауа температурасының мәндерін пайдалана отырып стандартталған жауын-шашын (SPI) және булану (SPEI) индекстерін пайдалана отырып, құрғақшылықтың қарқындылығы мен жиілігіне талдау жүргізілді. Сонымен қатар, зерттеу барысында климаттың өзгеру тенденциялары мен құрғақшылық сипаттамаларын бағалау үшін Манн-Кендалл тесті қолданылды. Зерттеу нәтижесі бойынша SPEI нәтижелері 1990 жылдардан кейін құрғақшылық кезеңдерінің қарқындылығы мен жиілігінің SPI көмегімен алынған нәтижелерге қарағанда артуы байқалады. Жалпы екі индекс бойынша да 2019 жылдан бастап құрғақшылықтың күшті және экстремалды деңгейлері тіркеліп келеді.

Түйін сөздер: климат өзгерісі, құрғақшылық, ауа температурасы, атмосфералық жауын-шашын, стандартталған жауын-шашын индексі, Манн-Кендалл тесті.

Кіріспе. Қазіргі уақытта климаттың өзгеруі планетаның әрбір тұрғынына әсер ететін әлемдік қауіпке айналып, ең күрделі мәселелердің бірі болып тұр. Барлық мемлекеттер қазірдің өзінде соңғы жылдардағы ауа температурасының айтарлықтай өзгеруінен орын алған климаттық өзгерістердің салдарын көруде. Жер бетіндегі температураның өзгерісі бүкіл әлемде байқалып, ауа температурасының жаһандық орташа деңгейінің жоғарылауы дәлелденген факт болып саналады. ДМҰ-ның 2022 жылғы жаһандық климаттың жай-күйі туралы мәлімдемесінде жаһандық климаттың өзгеруі туралы ең соңғы деректер келтірілген, атап айтқанда, 2022 жылғы орташа жаһандық температура 1850-1900 жылдардағы орташа температурадан 1,15 °C жоғары болды. 2015-2022 жылдар 1850 жылдан бергі аспаптық бақылау тарихындағы ең жылы сегіз жылды құраған.

Себебі, 1800 жылдардан бастап антропогендік белсенділік климаттың өзгеруінің негізгі қозғаушы факторы болып табылады [1].

Климаттың өзгеруі қарқыны бүкіл әлемде бірдей емес. Еуразия құрлығының орталығында орналасқан және мұхиттан едәуір қашықтыққа алыс орналасқан Қазақстан аумағы жер шарының орташа мәніне қарағанда жылдам қарқынмен жылынуда. 1976-2022 жылдар кезеңінде ауаның орташа жылдық температурасының көтерілу жылдамдығы жер шары үшін әр 10 жыл сайын $+0,18^{\circ}\text{C}$ құрады, ал Қазақстан үшін бұл мән айтарлықтай жоғары: әр 10 жылдыққа $+0,33^{\circ}\text{C}$ тең [2]. Оңтүстік Қазақстан аумағы континентальды климатымен және жоғары температураны қамтамасыз ететін кең дала жазықтарымен ерекшеленеді. 2022 жылы шілде айында аталған аймақта рекордтық жоғары температура мәні тіркелген ($+48^{\circ}\text{C}$). Бұл өз кезегінде Оңтүстік Қазақстандағы климаттың барған сайын экстремалды және қауіпті болып бара жатқанын көрсетеді.

Қазақстан аумағының көп бөлігі қуаң аймақ болып табылады, бірақ эпизодтық құрғақшылық елдің барлық өңірлерінде байқалады. Әртүрлі қарқындылықтағы және ұзақтықтағы құрғақшылықтар жыл сайын дерлік кездеседі [3]. Құрғақшылықты төрт түрге бөлуге болады: метеорологиялық, ауылшаруашылық, гидрологиялық және әлеуметтік-экономикалық [4]. Метеорологиялық құрғақшылық жауын-шашынның аз мөлшерде түсуімен сипатталады. Ауылшаруашылық құрғақшылығы су қорларының ауыл шаруашылығы қажеттіліктерін қанағаттандыруға жеткіліксіз болғанда туындайды. Ал гидрологиялық құрғақшылық кезінде жауын-шашынның жетіспеушілігі ұзақ уақыт сақталып, топырақтағы жер үсті және жер асты су қорларының сарқылуына әкеледі [5].

Құрғақшылық - бұл табиғи құбылыс, және оны туындататын, таралуына және тоқтауына негіз болатын табиғи процестер жеткілікті түрде зерттелмеген. Себебі құрғақшылық әртүрлі формада, қарқындылықта және ұзақтықта пайда болуы мүмкін. Соңғы бірнеше онжылдықта табиғи факторлармен қатар антропогендік қызмет құрғақшылықтың сипаты мен қарқындылығына әсер етті. Құрғақшылықтың табиғи себептеріне мыналар жатады: мұхит температурасының ауытқулары (Эль-Ниньо және Ла-Нинья), құрлықтағы температураның өзгеруі (жер беті температурасының өзгеруі ішкі экожүйелердегі ауа айналымының сипатына әсер етіп, жауын-шашынның сипатын өзгертеді), топырақ ылғалдылығының төмендеуі (бұлттардың қалыптасуына әсер етіп, жауын-шашын болмаған жағдайда жердің қатты құрғауына әкеледі), су тапшылығы кезеңдері. Антропогендік себептеріне мыналар жатады: ауыл шаруашылығы қызметі, су ресурстарын тиімсіз пайдалану, жердің деградациясы және т.б. [6, 7, 8].

Құрғақшылықты дәл және уақтылы бағалау тиімді басқару мен бейімделу шараларын қабылдау үшін өте маңызды. Құрғақшылықты бақылаудың ең жақсы тәсілі – оның басталу және аяқталу уақытын, кезеңділігін анықтау үшін құрғақшылық индекстерін пайдалану. Құрғақшылықты бағалауға арналған көптеген индекстер бар, бірақ зерттеу аймағына және мақсаттарына сәйкес келетін дұрыс индексті таңдау маңызды, себебі әрбір индекс әртүрлі өңірлер үшін және гидрометеорологиялық деректердің қолжетімділігіне байланысты өзгеше болады. Ең танымал индекстер қатарына стандартталған жауын-шашын индексі (SPI), ауа температурасы ескерілетін жауын-шашын және булану стандартталған индексі (SPEI), Палмер құрғақшылық индексі (PDSI) жатады. Бұл индекстер көптеген зерттеулерде кеңінен қолданылады [9, 10, 11].

Бұл жұмыста SPI және SPEI индекстерін қолданылды, себебі олар стандартты және әртүрлі уақыт диапазонында салыстыруға және талдауға оңай. SPI тек жауын-шашын деректерін пайдаланады, ал SPEI температураның мәнін ескереді. Осы индекстер бойынша есептеулер метеорологиялық станциялардың бақылау деректерін пайдалана отырып орындалды.

Бұл зерттеудің негізгі мақсаты – 1950-2023 жылдардағы бақылау кезеңіндегі құрғақшылықты бағалау. Яғни, жауын-шашын мен ауа температурасының ұзақ мерзімді айлық деректерін пайдалана отырып, SPI және SPEI индекстерін есептеп Оңтүстік Қазақстандағы құрғақшылықтың қарқындылығы мен қайталануына климаттың өзгеруінің әсерін зерттеу болып табылады.

Зерттеу нысаны. Оңтүстік Қазақстан дала, шөлейттер мен шөлдерді қоса алғанда, әртүрлі табиғи аймақтарды қамтитын аймақ. Бұл аймақ Өзбекстан, Қырғызстан және Түркменстанмен шектеседі. Оңтүстік Қазақстанның негізгі экономикалық қызметі – ауыл шаруашылығы, оның ішінде суармалы егіншілік, сондай-ақ тау-кен және энергетика өнеркәсібі.

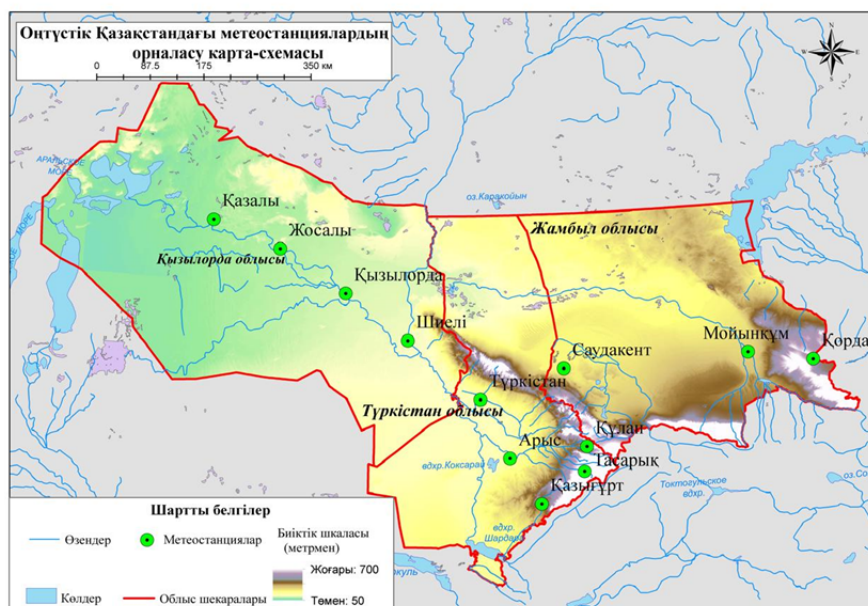
Аймақ батысында Арал теңізінен шығысында Жоңғар қақпасына дейін, солтүстігінде Балқаш көлі мен Бетпақдала шөлді үстіртінен, оңтүстігінде Қазақстан Республикасының шекарасына дейін

созылып жатыр. Оған Қызылқұм шөлінің солтүстік бөлігі, Тянь-Шаньның батыс және солтүстік сілемдері, сондай-ақ Жоңғар Алатауының жоталары кіреді. Аймақтың батыстан шығысқа қарай ұзындығы шамамен 2000 км, ал солтүстіктен оңтүстікке қарай – 700 км [12].

Климаты күрт континенталды және құрғақ. Жылдық жауын-шашын мөлшері 200 мм-ден аспайды. Оңтүстік Қазақстандағы жаз жылдың ең ыстық кезеңдерінің бірі болып саналады. Әсіресе температура 40 °C жоғары болатын шілде-тамыз аралығы Оңтүстік Қазақстан аймағы үшін өте ыстық айлар болып табылады.

Оңтүстік Қазақстанның экономикасы негізінен ауыл шаруашылығына тәуелді. Алайда, су тапшылығы және климаттық өзгерістер суарма жүйелерінің тиімділігін төмендетеді, бұл ауыл шаруашылығы өндірісінің тұрақтылығына қатер төндіреді. Аймақтағы су ресурстары шектеулі, бұл су ресурстарын басқару және құрғақшылықпен күресу мәселелерін аймақтың тұрақты дамуы үшін маңызды етеді.

Құрғақшылық Оңтүстік Қазақстан үшін ұзақ уақыттан бері өзекті проблема болып табылады. Әсіресе жаз айларында, температураның жоғары болуы және жауын-шашынның тапшылығы аймақтың экосистемасы мен ауыл шаруашылығына кері әсер етеді. Құрғақшылықтың негізгі салдары – су тапшылығы, топырақтың құрғауы және егіннің өнімділігінің төмендеуі. Осыған байланысты, климаттың өзгеруі мен құрғақшылықтың қарқындылығы мен жиілігін болжау, сонымен қатар бұл құбылыстардың ауыл шаруашылығына, экожүйелерге және әлеуметтік-экономикалық жағдайға әсерін зерттеу өте маңызды болып табылады [12].



1-сурет – Зерттеу аймағының карта-схемасы

Figure 1 – Map of the study area

Зерттеу материалдары мен әдістері. Ғылыми зерттеуде Оңтүстік Қазақстан аймағындағы құрғақшылықты талдау үшін 1950 жылдан 2023 жылға дейінгі кезеңге арналған РГП «Қазгидромет» мәліметтері қолданылды. Метеорологиялық деректер ретінде 12 метеорологиялық станциядан алынған ауа температурасының (максималды және минималды) және атмосфералық жауын-шашынның тәуліктік қатарлары пайдаланылды.

Стандартталған жауын-шашын индексі (SPI). 2009 жылы Дүниежүзілік метеорологиялық ұйым (ДМУ) 70-тен астам елде зерттеу жұмыстарында қолданылатын құрғақшылықты бақылау үшін стандартталған жауын-шашын индексі (SPI) пайдалануды ұсынды [13]. SPI артықшылықтарына жауын-шашынның мөлшерін ғана ескеретін ыңғайлылықты жатқызуға болады. SPI индексі есептеу әдістемесі өлшенетін бастапқы деректердің географиялық орналасу туралы мәліметтерін пайдалануды көздемейді. Стандартталған жауын-шашын индексі жауын-шашынның көпжылдық таралуын ғана ескереді.

Есептеу жолы жауын-шашынның уақыттық қатарларын гамма таратылымын қолдану арқылы түрлендіруді және одан кейін алынған ықтималдықтарды стандартталған жауын-шашын индексіне нормалауды қамтиды:

$$SPI = F^{-1}G(R), \quad (1)$$

мұндағы G – гамма таратылымының интегралдық функциясы; R – жауын-шашын мөлшері; F^{-1} – кері нормаланған гаусс таратылымы.

SPI индексінің оң мәндері ылғалды жағдайларды сипаттайды. Ал теріс мәндер құрғақшылық жағдайларын білдіреді, және SPI мәні неғұрлым төмен болса, зерттелетін кезең соғұрлым құрғақ болады. SPI есептеу үшін жауын-шашынның уақыттық қатарлары жеткілікті ұзақ болуы керек, кемінде 30 жыл. Стандартталған жауын-шашын индексі ықтималдықтармен байланысты болғандықтан, әрбір нақты нүкте үшін әртүрлі қарқындылықтағы құрғақшылықтың пайда болу ықтималдығын анықтауға болады. Құрғақшылықтың басталуы, егер SPI мәні -1.0-ден төмен болса, белгіленеді, ал құрғақшылықтың аяқталуы индекстің оң мәнге ауысу уақытымен анықталады. Құрғақшылықтың қарқындылығын есептеу үшін құрғақшылық кезеңіндегі барлық SPI мәндерінің сомасы есептеледі.

Стандартталған жауын-шашын және булану индексі (SPEI). $SPEI$ құрғақшылықты анықтауда жауын-шашын мен потенциалды булануды (эвапотранспирацияны) ескеруге мүмкіндік береді. Потенциалды булану (ПБ) – бұл белгілі бір температура мен ылғалдылық жағдайында өсімдіктер мен топырақтан буланып шығатын судың мөлшері. Потенциалды булану температураның жоғарылауымен ұлғаяды, бұл климаттың өзгеруі мен жылынуына байланысты өте маңызды көрсеткіш болып табылады. Сондықтан $SPEI$ индексі температураның әсерін де ескеріп, тек жауын-шашынға ғана емес, жалпы су балансына қатысты дұрыс бағалау жасауға мүмкіндік береді. SPI -ден айырмашылығы, жауын-шашын және булану индексі ($SPEI$) температураның жоғарылауының өсімдіктердің суға қажеттілігіне негізгі әсерін көрсетеді, себебі температура жоғарылаған сайын булану артады, бұл су ресурстарына әсер етеді. $SPEI$ климаттық индексі есептеу әдістемесі жауын-шашын мен булану айырмашылығы мәндерінің таралу тығыздығы функциясын пайдалануға негізделген [10].

Берілген стандартталған жауын-шашын мен булану индексі ($SPEI$) есептеу жолы SPI есептеу процесіне ұқсас. Алайда, $SPEI$ есептеу үшін (2) формуласына жауын-шашынның (R) және потенциалды эвапотранспирацияның (PET) айлық жиынтықтарының айырмашылықтары (D) қолданылады:

$$D_i = R_i - PET_i, \quad (2)$$

мұндағы i – есептеу айының реттік нөмірі.

$SPEI$ индексі жауын-шашын мен булану арасындағы айырмашылықты негізге ала отырып есептеледі және климаттық жағдайлардың өзгеруіне байланысты су тапшылығы мен артықшылығын анықтауға көмектеседі. Сәйкесінше оң мәнді $SPEI$ индексі жауын-шашынның артық болуын көрсетеді. Теріс мәндері су тапшылығын, яғни құрғақшылықты білдіреді.

Құрғақшылықтың қарқындылығын анықтау үшін 1-кестеде көрсетілген SPI және $SPEI$ индекстерінің мәндерінің жіктелуі қолданылады.

Индекс мәндері белгілі бір кезеңдегі жауын-шашынды (1, 3, 6, 9, 12 және 24 айлық немесе одан да ұзақ мерзім) талдауға енгізілген барлық жылдардағы сол кезеңнің жауын-шашын мөлшерімен салыстыруды қамтамасыз етеді. Қысқа мерзімді SPI және $SPEI$ (1-3 ай) жауын-

1-кесте – Стандартталған жауын-шашын индексінің мәндеріне сәйкес құрғақшылық деңгейлері

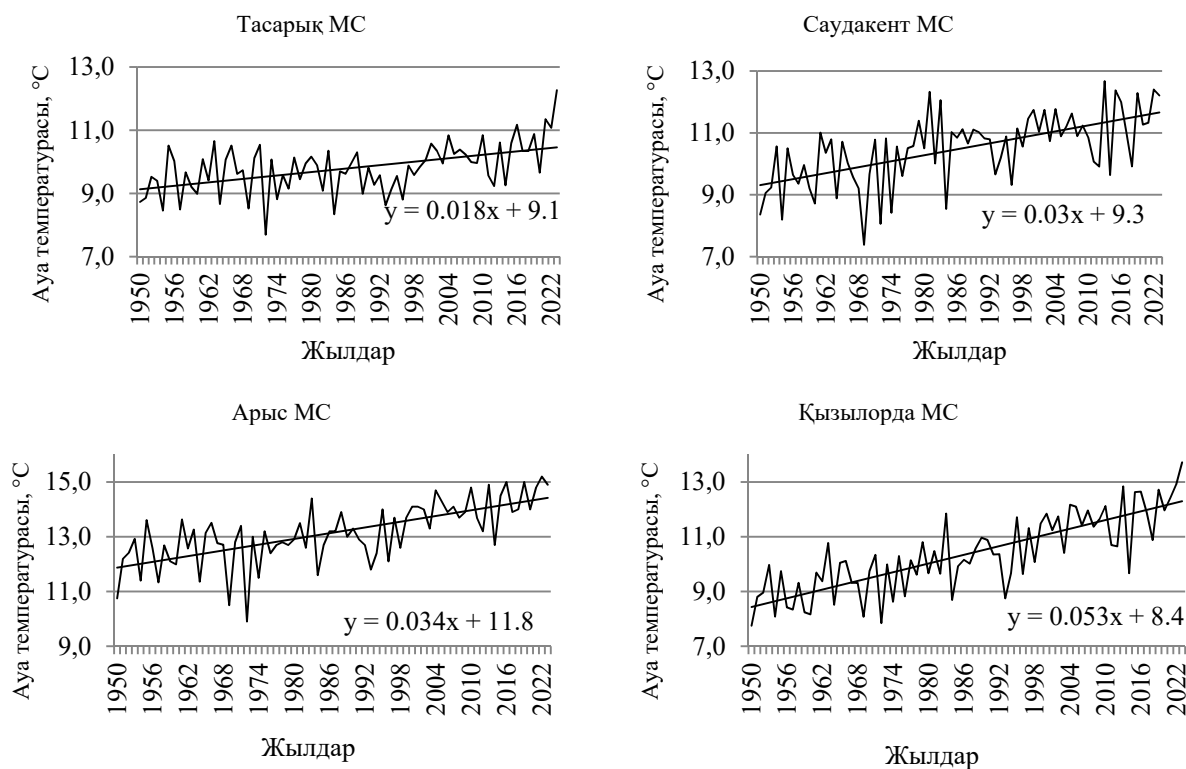
Table 1 – Drought severity levels according to Standardized Precipitation Index (SPI) values

SPI мәні	Құрғақшылық деңгейі
0-ден -0,99 дейін	Әлсіз құрғақшылық
-1,00-ден -1,49 дейін	Орташа құрғақшылық
-1,50-ден -1,99 дейін	Қатты құрғақшылық
-2,00 және одан төмен	Экстремалды құрғақшылық

шашынның қысқа мерзімді ауытқуларын бағалау үшін қолданылады. Сондай-ақ, ауыл шаруашылығы дақылдарына әсер ететін топырақ ылғалдылығын бақылауға пайдаланылады. Орта мерзімді (3-12 ай) маусымдық және жылдық жауын-шашынды талдайды және өзендер мен су қоймаларындағы су қорының әсерін анықтауға мүмкіндік береді. Ұзақ мерзімді (12 ай және одан көп) су ресурстарының ұзақ мерзімді өзгерістерін, мысалы, жерасты сулары мен гидрологиялық циклдерді бағалау үшін қолданылады. Көпжылдық құрғақшылық пен ұзақ мерзімді климаттық үрдістерді талдау үшін пайдаланылады. SPI және SPEI мәндері Climpack бағдарламасын пайдалану арқылы есептелді (<https://ccrc-extremes.shinyapps.io/climpack>).

Манн-Кендалл тесті. Манн-Кендалл тесті – бұл уақыттық қатарлардың трендтерін талдау үшін кеңінен қолданылатын статистикалық параметрлік емес тест. Осы тестке сәйкес, нөлдік гипотеза H_0 трендтің жоқтығын болжайды (деректер тәуелсіз және кездейсоқ реттелген), ал бұл гипотеза альтернативті гипотеза H_1 -ге қарсы тексеріледі, ол трендтің бар екендігін болжайды. Z тест статистикасы трендтің маңыздылығының өлшемі ретінде қолданылады. Оң Z мәні өсу тенденциясын көрсетеді, сәйкесінше теріс Z мәні төмендеу тенденциясын көрсетеді [14].

Нәтижелер және оларды талқылау. Құрғақшылықтың негізгі себептері – жаһандық жылыну және климаттың өзгеруі, бұл кейбір өңірлерде аномальды жоғары температуралардың пайда болуына және атмосфералық жауын-шашынның азаюына әкеліп отыр. Оңтүстік Қазақстанда орташа жылдық температураның өсу тенденциялары артты, яғни 1950-2023 жж. ауа температурасының өзгеру қарқыны $0,18\text{ }^{\circ}\text{C}/10$ жыл (Тасарық МС) және $0,53\text{ }^{\circ}\text{C}/10$ жыл (Қызылорда МС) аралығын құраған (2-сурет).

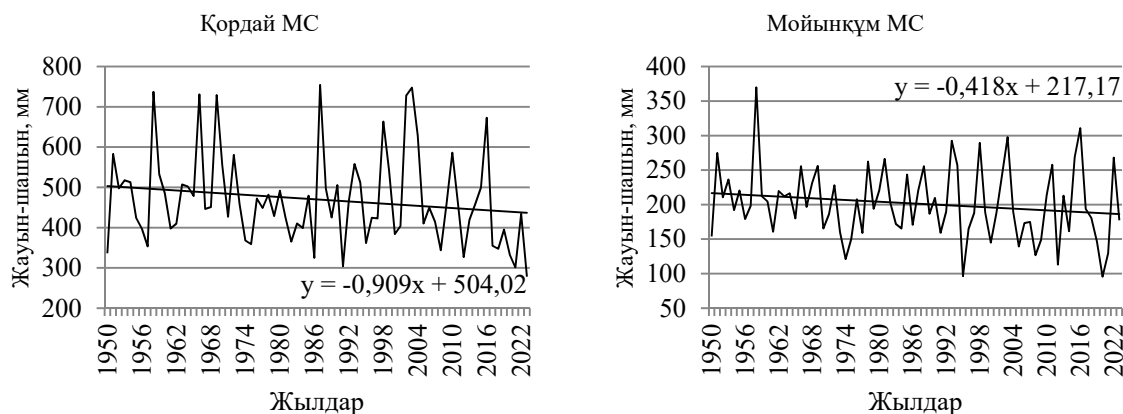


2-сурет – Оңтүстік Қазақстандағы ауа температурасының көпжылдық орташа жүрісі

Figure 2 – Long-term average trend of air temperature in Southern Kazakhstan

Атмосфералық жауын-шашынның зерттелген метеостанциялардағы сызықтық тренд коэффициенттері көпшілік метеостанцияларда елеусіз өзгерістерді сипаттайды. Жылдық жауын-шашын мөлшерінің маңызды теріс трендтері Қордай ($9,09\text{ мм}/10$ жыл) және Мойынқұм метеостанцияларында ($4,18\text{ мм}/10$ жыл) байқалды.

Сызықтық трендтің визуалды талдауы көпжылдық орташа метеорологиялық параметрлердің төмендеу немесе көтерілу тенденциясының бар екенін болжауға мүмкіндік береді. Негұрлым сенімді қорытындыларға монотонды трендтерді анықтауға арналған статистикалық әдістерді



3-сурет – Атмосфералық жауын-шашынның көпжылдық орташа жүрісі

Figure 3 – Long-term average trend of atmospheric precipitation

қолдану арқылы қол жеткізуге болады. Ауа температурасының онжылдық сырғымалы графиктерін тұрғыза отырып, қарқынды жылыну жылдарын анықтау арқылы қарастырылған уақыт аралығы екі кезеңге бөлінді: 1950-1972 және 1973-2022 жж. Екі кезеңдегі трендтің маңыздылығы Манн-Кендалл параметрлік емес тестінің Z-статистикасы бойынша жүргізілді.

Тест нәтижелеріне сәйкес, 1973-2022 жж. ауа температурасының тренді алдыңғы кезеңмен салыстырғанда әлдеқайда маңызды екені анықталды. 1950-1972 жж. керісінше кейбір айларда ауа температурасының төмендеу тенденциясы орын алған. Z-статистикасы бойынша температураның өсу тренді наурыз, мамыр және маусым айларында айқын байқалған (99 % маңыздылық дәрежесі). 1973-2022 жж. берілген аймақтағы Z-статистикасының мәндері Саудакент станциясының 2,76 және Қазығұрт станциясының 6,32 мәндері аралығында өзгерген (2-кесте). Яғни, аймақтың батыс және оңтүстік-батысындағы станцияларында ауа температурасының өсу тенденциясы қарқынды байқалған.

Z мәнінің оң болуы арту тенденциясын, ал теріс болуы төмендеу тенденциясын көрсетеді. 0,1, 0,05 және 0,001 мәнді деңгейлерінде $|Z| > 1,64$, $|Z| > 1,96$ және $|Z| > 2,58$ болған жағдайда елеулі тенденция бар деп есептеледі. Осылайша, берілген зерттеуде гипотезаны талдау үшін 90, 95 және 99% сенімділік деңгейлері қолданылды. 1950-2023 жылдар аралығындағы ауа температурасы деректері бойынша Манн-Кендалл Z-тестінің нәтижелері барлық қарастырылған станцияларда арту тенденциясының елеулі екенін көрсетті.

2-кесте – Ауа температурасының айлық және жылдық мәндері бойынша Манн-Кендалл тестінің Z-статистикасы

Table 2 – Mann-Kendall test Z-statistics for monthly and annual air temperature values

Айлар	Z-статистикасы											
	Қазалы		Қызылорда		Түркістан		Тасарық		Қазығұрт		Саудакент	
	1950-1972	1973-2022	1950-1972	1973-2022	1950-1972	1973-2022	1950-1972	1973-2022	1950-1972	1973-2022	1950-1972	1973-2022
Қаңтар	0,11	1,22	-0,69	1,66	-1,24	2,00	-0,69	2,54	-0,98	3,31	-1,56	1,35
Ақпан	-0,40	2,4	-0,40	2,84	-0,32	3,00	-0,34	2,44	-0,18	2,89	-0,79	1,94
Наурыз	0,58	3,38	0,11	3,61	0,95	3,28	1,00	3,87	1,35	4,04	0,26	2,69
Сәуір	0,26	1,63	0,42	2,18	0,40	0,91	0,40	0,03	1,06	0,95	0,26	1,32
Мамыр	-0,77	2,60	-0,87	4,13	-1,48	4,13	-1,53	2,53	-0,79	3,64	-0,61	2,80
Маусым	0,53	1,65	1,51	3,75	0,03	3,24	0,00	1,36	0,79	3,67	0,42	2,15
Шілде	-0,05	0,00	-0,13	2,30	-2,04	1,38	-1,43	-0,34	-0,93	2,54	-1,77	-0,56
Тамыз	-1,22	1,62	-0,61	4,31	-1,80	2,84	-0,58	1,01	-0,13	3,56	-1,30	1,49
Қыркүйек	0,29	0,36	0,71	2,82	0,05	2,89	0,50	1,46	1,59	3,79	-1,32	0,23
Қазан	0,95	1,77	1,06	2,66	1,38	2,35	1,14	0,15	2,27	1,97	1,62	1,30
Қараша	3,04	-0,23	2,88	0,45	3,09	0,44	2,93	-0,59	3,04	0,03	2,33	-0,10
Желтоқсан	1,35	-0,97	1,19	-0,08	1,77	0,32	1,27	-0,88	1,61	0,29	0,85	-0,31
Жыл	1,06	3,70	1,16	5,44	0,95	4,89	1,19	3,60	1,77	6,32	0,32	2,76

3-кесте – Жауын-шашын мөлшерінің айлық және жылдық мәндері бойынша Манн-Кендалл тестінің Z-статистикасы

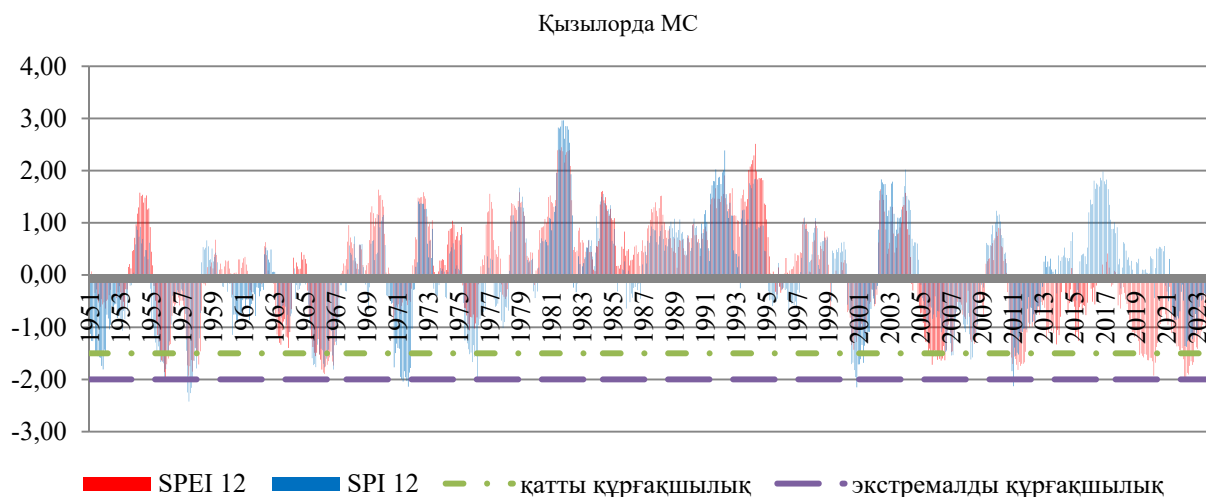
Table 3 – Mann-Kendall test Z-statistics for monthly and annual precipitation values

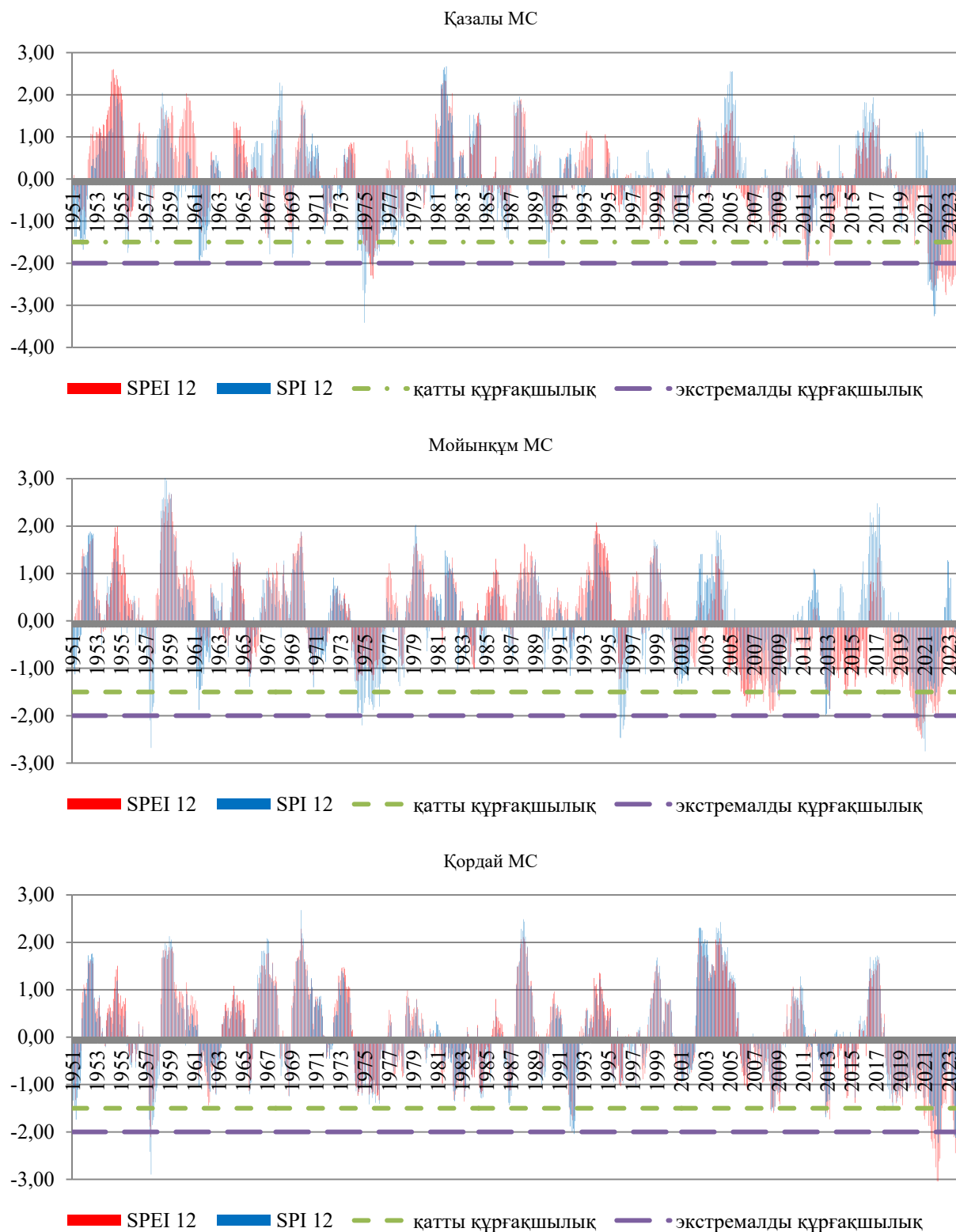
Айлар	Z-статистикасы											
	Қазалы		Қызылорда		Түркістан		Тасарық		Қазығұрт		Саудакент	
	1950-1972	1973-2022	1950-1972	1973-2022	1950-1972	1973-2022	1950-1972	1973-2022	1950-1972	1973-2022	1950-1972	1973-2022
Қаңтар	0,11	-0,42	-0,82	0,23	-1,16	1,55	-0,16	-0,60	-0,50	-0,03	-0,90	2,47
Ақпан	0,05	2,0	-1,67	-0,78	-0,90	-0,39	-0,21	1,05	0,53	1,30	0,69	0,38
Наурыз	-0,50	0,10	0,98	-0,09	-0,63	1,82	0,11	1,62	0,00	1,00	-0,90	0,55
Сәуір	1,03	0,86	0,59	0,78	2,91	-0,33	2,01	0,00	0,95	0,12	1,16	-0,18
Мамыр	-0,51	0,65	-0,39	-1,79	-0,16	-1,00	1,32	-0,15	0,50	0,49	0,48	-0,62
Маусым	0,63	-0,30	-0,48	-1,00	-0,34	1,59	-1,24	2,44	-0,42	2,01	-2,09	1,51
Шілде	-1,27	0,79	-0,24	-1,42	1,60	-0,95	0,29	0,92	0,61	0,72	1,01	0,10
Тамыз	-1,23	0,21	-0,79	-2,10	1,15	1,02	-0,61	1,42	-0,50	1,76	0,03	1,75
Қыркүйек	-1,43	-1,23	0,32	-1,71	0,79	-0,69	-0,03	-0,50	0,81	0,35	0,42	-1,75
Қазан	0,79	-1,71	0,77	-2,27	0,16	0,42	1,16	-0,06	0,55	0,23	0,37	-0,09
Қараша	2,38	-0,57	0,82	-0,19	0,00	0,64	0,37	0,47	0,48	0,90	-0,08	0,63
Желтоқсан	-0,42	0,03	-0,29	-0,29	1,00	-1,03	0,95	-0,35	1,06	-0,19	2,06	-0,85
Жыл	0,00	0,28	1,11	-1,25	0,42	0,17	0,74	0,95	1,37	1,32	0,63	1,46

Құрғақшылықтың басталуы, аяқталуы және қарқындылығы метеостанциялардың тарихи деректеріне негізделген екі индекс арқылы бағаланды. SPI және SPEI көрсеткіштері теріс мәндерге жеткен кезде құрғақшылық басталады және олар оң мәндерге жеткенге дейін жалғасады. Бұл индекстердің оң мәндері ылғалды кезеңдерді көрсетеді. Мысал ретінде кейбір метеостанциялардағы SPI, SPEI индекстерінің көпжылдық динамикасы көрсетілген (4-сурет).

Берілген станцияларда SPI индексі бойынша төменгі мәндер 1957, 1975 және 2021 жылдары байқалды. Мысалы, Қызылорда метеостанциясында 1957 жылы -2,42 мәнімен, Қазалы метеостанциясында 1975 жылы -3,41 және 2021 жылы -3,26 мәндерімен, Мойынқұмда 1957 жылы -2,68 және 2021 жылы -2,75 мәндерімен, сондай-ақ Қордай метеостанциясында 1957 жылы -2,90 мәнімен экстремалды құрғақшылық орын алған. Ал SPEI теріс мәндері барлық станцияларда дерлік 2000 жылдардан бастап байқалады. Яғни SPEI индексі арқылы ауа температурасының соңғы жылдарда қарқынды өсуі салдарынан құрғақшылықтың қарқындылығы мен жиілігінің арта түскенін анық көрсетеді.

Келесі кестеде барлық метеорологиялық станцияларда байқалған орташа деңгейден экстремалды деңгейге дейінгі құрғақ жылдардың каталогы көрсетілген, яғни SPI және SPEI жылдық мәндері -1-ден төмен болған жылдар.





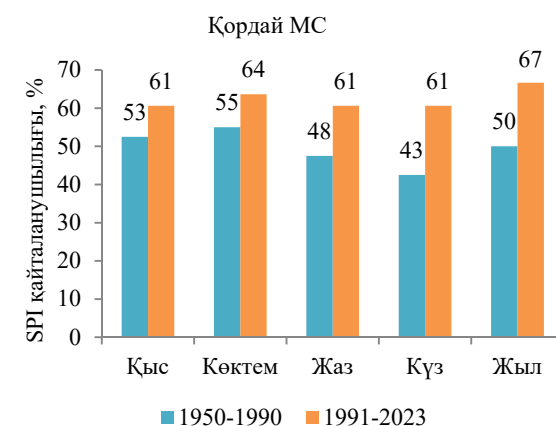
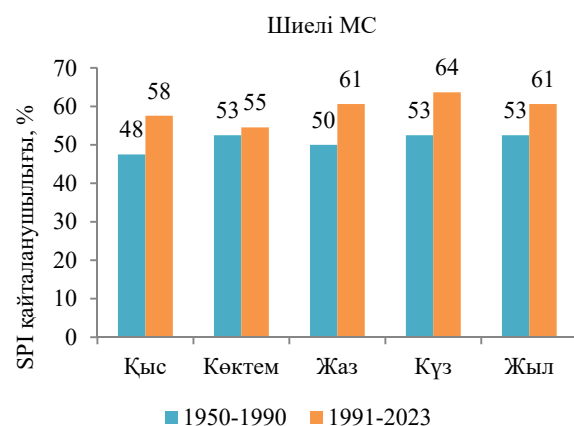
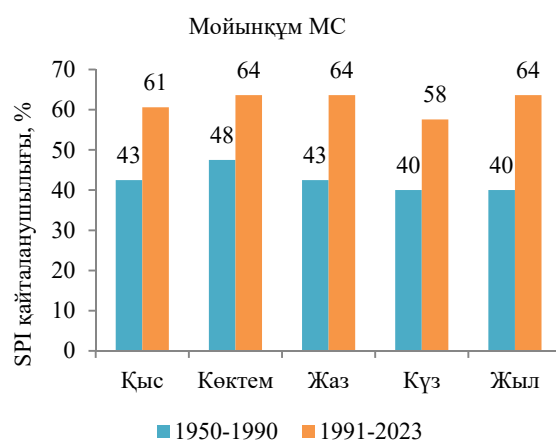
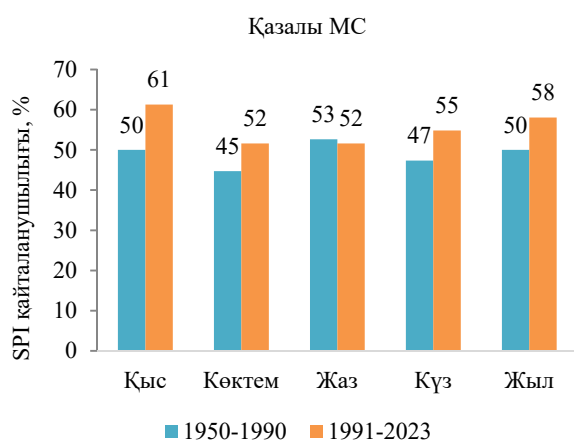
4-сурет – Оңтүстік Қазақстан метеостанцияларындағы
SPI 12 және SPEI 12 индекстерінің көпжылдық динамикасы

Figure 4 – Long-term dynamics of SPI-12 and SPEI-12 indices
at meteorological stations in Southern Kazakhstan

4-кесте – SPI және SPEI -1-ден төмен болған жылдар

Table 4 – Years with SPI and SPEI values below -1

Станциялар	SPI	SPEI
Қазалы	1951, 1961, 1974-1977, 2011, 2021, 2022	1975, 2011, 2021-2023
Қызылорда	1951, 1955, 1957, 1965, 1966, 1971, 2001, 2006, 2011, 2022	1955, 1957, 1963, 1966, 2005, 2006, 2011, 2019-2022
Жосалы	1951, 1955-1957, 1963, 2006, 2011	1955, 1956, 1966, 1975, 1979, 1980, 1986, 1995, 1999, 2000
Шиелі	1951, 1961, 1971, 1996, 2000, 2001, 2012, 2018	1996, 1997, 2000, 2001, 2008, 2011, 2018, 2021-2023
Арыс	1961, 1965, 1971, 1977, 1986, 1989, 1996, 2018, 2020, 2021	1966, 1971, 1986, 1989, 1996, 2000, 2001, 2006, 2011, 2018, 2020, 2021
Қазығұрт	1951, 1957, 1965, 1986, 1989, 1996, 2008, 2021	1951, 1955, 1957, 1961, 1962, 1966, 1975, 1984, 1986, 1989, 1995, 1996, 2008
Тасарық	1951, 1957, 1961, 1962, 1975, 1986, 2008, 2021	1957, 1961, 1975, 1986, 2001, 2008, 2011, 2021
Түркістан	1951, 1957, 1996-2000	1951, 1955, 1957, 1961, 1966, 1975, 2011
Қордай	1957, 1965, 2008, 2018, 2021-2023	1957, 2008, 2018-2023
Құлан	1957, 1965, 1983, 1991, 1996, 2008, 2012	1957, 1983, 1996, 1997, 2008, 2012
Саудакент	1951, 1961, 1965, 1975, 1976, 1983, 1989, 2008, 2020	1965, 1975, 2000, 2006, 2008, 2013, 2018, 2020, 2022
Мойынқұм	1957, 1961, 1974, 1975, 1996, 2008, 2020, 2021	2006-2008, 2013, 2014, 2018-2022

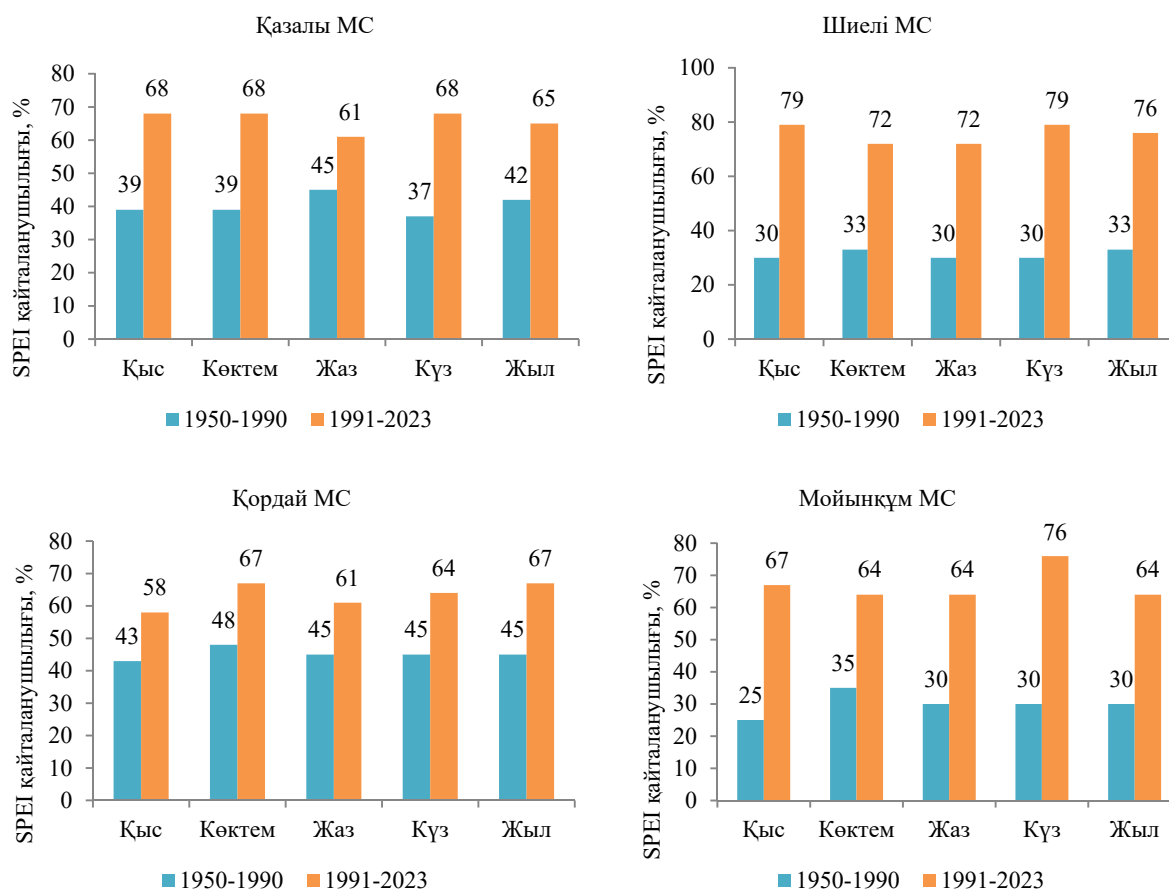


5-сурет – Оңтүстік Қазақстан станцияларындағы SPI индексінің маусымдық қайталанушылығы

Figure 5 – Seasonal recurrence of the SPI index at stations in Southern Kazakhstan

Кесте мәліметтеріне сәйкес барлық станциялардан 1950-1960 жылдардағы құрғақшылық кезеңін байқауға болады. Сонымен қатар, 1990-жылдардан кейін қатты және экстремалды құрғақшылық кезеңдері байқалады, әсіресе аймақта 1999-2000 жж., 2008-2009 жж. және 2021-2022 жж. экстремалды құрғақшылықтар тіркелген. SPEI индексі бойынша құрғақшылық санының көп болуының себебі – жоғары температуралардың буланудың қарқынын арттыруы, бұл өз кезегінде құрғақшылықтардың жиілеуіне және күшеюіне әкеледі.

SPI және SPEI индекстері бойынша қарастырылып отырған метеостанциялар үшін 1950-1990 және 1991-2023 жылдар кезеңінің әр мезгіліне қатысты құрғақшылық жиілігі есептелді және төмендегі суреттерде (5, 6-суреттер) көрсетілген.



6-сурет – Оңтүстік Қазақстан станцияларындағы SPEI индексінің маусымдық қайталанушылығы

Figure 6 – Seasonal recurrence of the SPEI index at stations in Southern Kazakhstan

1950–1990 жылдармен салыстырғанда 1991–2023 жылдары қарастырылған аймақта SPI индексінің қайталанушылығының артуы байқалады. Екі кезеңді салыстырсақ, 1991-2023 жж. көктемгі және жазғы маусымдарда қарастырылған метеостанциялардың көпшілігінде құрғақшылық жиілігі 1950-1990 жж. салыстырғанда 2-3 есе өскен. Мезгілдер бойынша құрғақшылықтың артуы Қордай және Шиелі станцияларында жаз бен күз уақытына, Мойынқұм станциясында көктем және жаз айларына сәйкес келеді. Ал Қазалы станциясында керісінше жаз мезгілінде аздап төмендеу байқалады. Жылдық орташа мәндер бойынша да барлық станцияларда SPI индексінің қайталанушылығы артты, ең үлкен өсім Мойынқұмда тіркелді (40 %-дан 64 %-ға дейін). Жалпы, зерттелген кезеңде барлық станцияларда құрғақшылықтың қайталанушылығының артуы байқалып, бұл климаттың өзгеруінің айқын белгісі ретінде қарастырылуы мүмкін.

SPEI индексі бойынша да екі кезеңді салыстыра отырып соңғы уақытта құрғақшылықтың қарқынды қайталануын байқауға болады. Алынған мәліметтер қазіргі кезеңде құрғақшылықтың қайталану жиілігі 60-70 %-ға дейін артқанын көрсетеді. Әсіресе, Шиелі және Мойынқұм станцияларында айтарлықтай өсім орын алады.

Қорытынды. Осы зерттеудің нәтижелері 1950-2023 жылдар аралығында Оңтүстік Қазақстан аймағында ауа температурасының айтарлықтай статистикалық өсуін көрсетеді, яғни ауа температурасының өсу қарқыны $0,18-0,53\text{ }^{\circ}\text{C}/10$ жыл шегінде екені анықталды. Құрғақшылықтың жиілігі мен қарқындылығының өзгеруі осы мәселенің маңызды аспектісі болып табылады. Бұл зерттеудің негізгі мақсаты – климаттық өзгерістердің Оңтүстік Қазақстан аймағындағы құрғақшылықтың қарқындылығы мен жиілігіне әсерін стандартталған жауын-шашын индексі (SPI) және булануды есепке алатын индекс (SPEI) көмегімен бағаланды. SPEI индексі су теңгерімінің өзгерістеріне неғұрлым сезімтал екені анықталды, себебі ол жауын-шашынның әсерін ғана есепке алатын SPI индексіне қарағанда, атмосфералық жауын-шашын мен буланудың әсерін бірге қарастырады. SPEI деректері бойынша, 1990 жылдардан кейін құрғақшылық кезеңдерінің қарқындылығы мен жиілігінің SPI деректеріне қарағанда артуы байқалады. Жалпы екі индекс бойынша да 2019 жылдан бастап құрғақшылықтың қатты және экстремалды деңгейлері тіркеліп келеді.

Қаржыландыру. Бұл ғылыми зерттеу «Жасыл даму контекстінде Батыс Қазақстан өңірінің табиғи-шаруашылық және әлеуметтік-экономикалық жүйелерінің тұрақты дамуы: кешенді талдау, тұжырымдама, болжамдық бағалау және сценарийлер» 1-кіші бағдарлама «Батыс Қазақстан облысының табиғи-шаруашылық жүйелерінің дамуының негізгі факторы ретінде табиғи-ресурстық әлеуетті бағалау» 1.1.3 тапсырма: «Шет елдерде (бірінші кезекте АҚШ, Қытай), сондай-ақ отандық қолданыстағы климаттық әлеуетті бағалаудың (температура, жауын-шашын) әдістерін талдау, алынған мәліметтерді жүйелеу» 1.1.4 тапсырма: «Қазақстанның климаттық белдеулері мен рельефтерінің әртүрлілігін ескере отырып, оның климаттық әлеуетін бағалау әдістемесін әзірлеу» аясында BR21882122 бағдарламалық-мақсатты қаржыландыру негізінде жасалды.

ӘДЕБИЕТ

- [1] Дүниежүзілік метеорологиялық ұйым. 2022 жылғы жаһандық климат жағдайы. – Женева: ДМҰ, 2023.
- [2] Қазақстан Республикасының Климаттың Өзгеруі туралы БҰҰ Негіздемелік Конвенциясы бойынша 8-ші Ұлттық хабарламасы және 5-ші екіжылдық есебі. – Астана, 2022. – 491 б.
- [3] Mukherjee S., Mishra A., Trenberth K.E. Climate Change and Drought: A Perspective on Drought Indices // Curr. Clim. Chang. Rep. – 2018. – Vol 4. – P. 145-163.
- [4] Niranga A. Mahesh E. A comprehensive assessment of remote sensing and traditional based drought monitoring indices at global and regional scale // Geomatics, Natural Hazards and Risk. – 2022. – Vol. 13, No. 1. – P. 762-799. – DOI: 10.1080/19475705.2022.2044394.
- [5] Isia I., Hadibarata T., Jusoh M.N.H., Bhattacharjya, R.K., Shahedan N.F., Bouaissi A., Fitriyani N.L., Syafrudin M. Drought Analysis Based on Standardized Precipitation Evapotranspiration Index and Standardized Precipitation Index in Sarawak, Malaysia // Sustainability. – 2023. – Vol. 15. Article 734. <https://doi.org/10.3390/su15010734>.
- [6] Wilhite D.A. Drought as a natural hazard: concepts and definitions // Wilhite D.A. ed. Droughts: Global Assessment. – London: Routledge, 2000. – P. 3-18.
- [7] Dai A. Drought under global warming: A review // Wiley Interdisciplinary Reviews: Climate Change. – 2011. – Vol. 2. – P. 45-65 <https://doi.org/10.1002/wcc.81>.
- [8] Zhang T., Su X., Zhang G., Wu H., Wang G., & Chu J. Evaluation of the impacts of human activities on propagation from meteorological drought to hydrological drought in the Weihe River Basin, China // Science of the Total Environment. – 2022. – Vol. 819. Article 153030 <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.153030>.
- [9] Zargar A., Sadiq R., Naser B., Khan F.I. A review of drought indices // Environmental Reviews. – 2011. – Vol. 19. – P. 333-349.
- [10] Vicente-Serrano S.M., Beguería S., López-Moreno J.I. A Multiscalar Drought Index Sensitive to Global Warming: The Standardized Precipitation Evapotranspiration Index // J. Climate. – 2010. – Vol. 23. – P. 1696-1718.
- [11] Dubey S.K., Sharma D. Spatio-Temporal Trends and Projections of Climate Indices in the Banas River Basin, India // Environmental Processes. – 2018. – Vol. 5. – P. 743-768.
- [12] Оңтүстік Қазақстанның шаруашылық географиясы [Электрондық ресурс]. – URL: https://el.kz/content-5164_4419/.
- [13] Стандартталған жауын-шашын индексі. Пайдаланушы нұсқаулығы. № 1090. – Женева: ДМҰ, б.ж. – 18 б.
- [14] Blain G.C. Removing the influence of the serial correlation on the Mann–Kendall test // Rev. Bras. Meteorol. – 2014. – Vol. 29. – P. 161-170.

REFERENCES

- [1] World Meteorological Organization. Global Climate Overview for 2022. Geneva: WMO, 2023. (in Kaz.).
- [2] The Eighth National Communication and Fifth Biennial Report of the Republic of Kazakhstan under the UN Framework Convention on Climate Change. Astana, 2022. 491 p. (in Kaz.).
- [3] Mukherjee S., Mishra A., Trenberth K.E. Climate Change and Drought: A Perspective on Drought Indices. *Curr. Clim. Chang. Rep.* 2018. Vol. 4. P. 145-163.
- [4] Niranga A. Mahesh E. A comprehensive assessment of remote sensing and traditional based drought monitoring indices at global and regional scale, *Geomatics, Natural Hazards and Risk.* 2022. Vol. 13, No. 1. P. 762-799. DOI: 10.1080/19475705.2022.2044394.
- [5] Isia I., Hadibarata T., Jusoh M.N.H., Bhattacharjya R.K., Shahedan N.F., Bouaissi A., Fitriyani N.L., Syafrudin M. Drought Analysis Based on Standardized Precipitation Evapotranspiration Index and Standardized Precipitation Index in Sarawak, Malaysia // *Sustainability.* 2023. Vol. 15. Art. No. 734. <https://doi.org/10.3390/su15010734>
- [6] Wilhite D.A. Drought as a natural hazard: concepts and definitions // Wilhite D.A. ed. *Droughts: Global Assessment* // London: Routledge, 2000. P. 3-18.
- [7] Dai A. Drought under global warming: A review. *Wiley Interdisciplinary Reviews: Climate Change.* 2011. Vol. 2. P. 45-65. <https://doi.org/10.1002/wcc.81>
- [8] Zhang T., Su X., Zhang G., Wu H., Wang G., & Chu J. Evaluation of the impacts of human activities on propagation from meteorological drought to hydrological drought in the Weihe River Basin, China // *Science of the Total Environment.* 2022. Vol. 819. Art. No. 153030. – <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.153030>
- [9] Zargar A., Sadiq R., Naser B., Khan F.I. A review of drought indices // *Environmental Reviews.* 2011. Vol. 19. P. 333-349.
- [10] Vicente-Serrano S.M., Beguería S., López-Moreno J.I. A Multiscalar Drought Index Sensitive to Global Warming: The Standardized Precipitation Evapotranspiration Index // *Journal of Climate.* 2010. Vol. 23. P. 1696-1718.
- [11] Dubey S.K., Sharma D. Spatio-Temporal Trends and Projections of Climate Indices in the Banas River Basin, India // *Environmental Processes.* 2018. Vol. 5. P. 743-768.
- [12] Economic Geography of South Kazakhstan [Electronic resource]. URL: https://el.kz/content-5164_4419/ (in Kaz.).
- [13] Standardized Precipitation Index. User Guide. WMO, No. 1090. 18 p. (in Kaz.).
- [14] Blain G.C. Removing the influence of the serial correlation on the Mann–Kendall test. *Rev. Bras. Meteorol.* 2014. Vol. 29. P. 161-170.

Э. К. Талипова¹, А. С. Нысанбаева², А. А. Тұрсынбай^{3*}

¹ PhD (АО «Институт географии и водной безопасности», КазНУ им. аль-Фараби, Алматы, Казахстан; elmira_280386@mail.ru)

² К. г. н., доцент (КазНУ им. аль-Фараби, Алматы, Казахстан; ayman.nysanbaeva@kaznu.edu.kz)

^{3*} Магистрант (КазНУ им. аль-Фараби, Алматы, Казахстан; ayazhan.0200@bk.ru)

ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ КЛИМАТИЧЕСКИХ ИЗМЕНЕНИЙ НА ИНТЕНСИВНОСТЬ И ЧАСТОТУ ЗАСУХ В ЮЖНОМ КАЗАХСТАНЕ

Аннотация. Изменение климата становится всё более серьёзной угрозой для регионов с жарким и засушливым климатом, включая Южный Казахстан. В последние десятилетия в этом регионе наблюдаются повышение средней годовой температуры, снижение количества осадков и учащение засух. Эти процессы негативно влияют на сельское хозяйство, водные ресурсы и экосистемы, создавая угрозу экономической и продовольственной безопасности. Засуха приводит к снижению урожайности, деградации почв и увеличению дефицита воды, что усугубляет проблему опустынивания.

Исследуются засушливые условия в Южном Казахстане с учётом изменения климата и его влияния на интенсивность и частоту засух. Основная цель – проведение анализа интенсивности и частоты засух с 1950 по 2023 год с использованием стандартных индексов осадков (SPI) и показателей осадков и испаряемости (SPEI), то есть температуры воздуха. Для анализа использовались долгосрочные данные о температуре воздуха и количестве осадков. Кроме того, для оценки тенденций изменения климата и характеристик засух применялся тест Манна-Кендалла.

Ключевые слова: изменение климата, засуха, температура воздуха, атмосферные осадки, стандартизированный индекс осадков, тест Манна-Кендалла.

E. K. Talipova¹, A. S. Nyssanbayeva², A. A. Tursynbay*³

¹ PhD (JSC "Institute of Geography and Water Security", Al-Farabi Kazakh National University, Almaty, Kazakhstan; *elmira_280386@mail.ru*)

² Candidate of Geographical Sciences, Associate Professor (Al-Farabi Kazakh National University, Almaty, Kazakhstan; *ayman.nysanbaeva@kaznu.edu.kz*)

^{3*} Master's student (Al-Farabi Kazakh National University, Almaty, Kazakhstan; *ayazhan.0200@bk.ru*)

**ASSESSMENT OF THE IMPACT OF CLIMATE CHANGE
ON THE INTENSITY AND FREQUENCY OF DROUGHTS
IN THE SOUTHERN KAZAKHSTAN**

Abstract. Climate change poses an increasing threat to regions with hot and arid climates, such as the Southern Kazakhstan. In recent decades, this area has experienced rising average annual temperatures, declining precipitation, and more frequent droughts. These changes adversely affect agriculture, water resources, and ecosystems, posing serious risks to both economic and food security. Droughts result in reduced crop yields, soil degradation, and heightened water scarcity, thereby accelerating desertification processes.

This study investigates drought conditions in the Southern Kazakhstan in the context of climate change, focusing on changes in drought intensity and frequency. The primary objective is to analyze drought trends from 1950 to 2023 using the Standardized Precipitation Index (SPI) and the Standardized Precipitation Evapotranspiration Index (SPEI), which incorporates temperature data. Long-term records of precipitation and air temperature were used, and the Mann-Kendall test was applied to identify trends in climate variables and drought characteristics.

Keywords: climate change, drought, air temperature, atmospheric precipitation, Standardized Precipitation Index (SPI), Mann-Kendall test.

Опасные экзогеодинамические процессы Қауіпті экзогеодинамикалық процестер Dangerous exogeodynamic processes

<https://doi.org/10.55764/2957-9856/2025-2-86-96.23>

МРНТИ 39.01.00; 39.01.94; 39.19.00
УДК 551.4.042; 551.4.02

Е. Е. Халыков¹, М. М. Тоғыс², Ю. Ф. Лый^{*3},
К. С. Оразбекова⁴, Ұ. Р. Алдаберген⁵

¹ PhD, старший научный сотрудник (АО «Институт географии и водной безопасности», Алматы, Казахстан; e.halykov@mail.ru)

² Научный сотрудник (АО «Институт географии и водной безопасности», Алматы, Казахстан; maulenmm@mail.ru)

^{3*} К. г. н., старший научный сотрудник (АО «Институт географии и водной безопасности», Алматы, Казахстан; uisya_lyi77@mail.ru)

⁴ PhD, старший научный сотрудник (АО «Институт географии и водной безопасности», Алматы, Казахстан; kuralay_orazbekova@mail.ru)

⁵ Младший научный сотрудник, PhD докторант (АО «Институт географии и водной безопасности», Казахский национальный университет им. аль-Фараби, Алматы, Казахстан; aldabergen_u@mail.ru)

ИССЛЕДОВАНИЕ ОПОЛЗНЯ В ДОЛИНЕ РЕКИ КАСКЕЛЕН С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ БЕСПИЛОТНОГО ЛЕТАТЕЛЬНОГО АППАРАТА

Аннотация. Исследован оползень скольжения в долине реки Каскелен (Иле Алатау, Казахстан), угрожающий инфраструктуре и дачному массиву, с использованием данных, полученных с беспилотного летательного аппарата (БПЛА). На основе высокоточных цифровых моделей рельефа изучены морфометрические характеристики медленно движущегося оползня, выявлены зоны деформации и рассчитаны параметры устойчивости склонов. Установлено, что оползень развивается в лёссовидных суглинках, теряющих прочность при переувлажнении, с максимальной скоростью смещения до 59 см/год. Расчет коэффициента устойчивости показал критическое состояние участков с уклоном $>15^\circ$. Предложено вести мониторинг с использованием глобальной навигационной спутниковой системы и выполнить такие инженерные решения, как дренажные системы и укрепление георешетками. Результаты подчеркивают необходимость интеграции БПЛА-технологий с другими полевыми методами для прогнозирования оползневых рисков в горных регионах.

Ключевые слова: оползни, река Каскелен, мониторинг, БПЛА, цифровая модель рельефа.

Введение. Горные районы Казахстана, такие, как Иле и Жетысу Алатау, характеризуются сложными геологическими, геоморфологическими и климатическими условиями, что делает их уязвимыми к активному развитию оползневых процессов. В Иле Алатау многочисленные реки играют важную роль в формировании местной рельефной среды, ландшафтов и обеспечении водными ресурсами. К ним относятся Улкен Алматы, Киши Алматы, Каскелен, Талгар и другие. Оползневые процессы широко распространены в долинах рек хребта Иле Алатау вследствие сочетания естественных факторов, таких, как крутые склоны, неустойчивый литологический состав грунта, склонного к оползанию, интенсивная эрозия, сезонные осадки и сейсмическая активность, а также антропогенное воздействие. Это делает их одной из ключевых геодинамических угроз в регионе.

Оползень – гравитационный склоновый процесс, представляющий собой смещение масс горных пород или грунтов вниз по склону (естественному или искусственному) под действием силы тяжести, часто сопровождающееся скольжением по выраженной поверхности или зоне смещения. Оползневые явления относятся к денудационно-аккумулятивным экзогенным процессам, при которых смещение происходит без существенного участия внешних транспортирующих агентов. Этот процесс может быть вызван различными факторами, включая вес пород, давление воды, сейсмические воздействия или техногенные нагрузки. Оползень сохраняет связь с неподвижным основанием и формирует оползневое тело, ограниченное снизу поверхностью скольжения, а сверху земной поверхностью [1-5].

В последние десятилетия в предгорных частях долин рек региона наблюдается рост активизации оползневых процессов, обусловленный как природными факторами, так и антропогенным воздействием. Это явление не только угрожает жизни людей, приводя к трагическим жертвам, но и наносит значительный экономический ущерб, разрушая инфраструктуру, жилые дома и дачные участки.

В этой работе приведены результаты исследования оползня в долине реки Каскелен с использованием современных методов, включая космические снимки и беспилотные летательные аппараты (БПЛА). Применение БПЛА позволило получить ортофотопланы и цифровые модели рельефа (ЦМР) оползневого участка, что обеспечило возможность анализа морфометрических характеристик. Использование этих методов позволило не только оценить текущее состояние оползня, но и выявить ключевые факторы, влияющие на его активизацию, что является важным шагом для разработки мер по снижению рисков и прогнозированию дальнейшего развития оползневых процессов.

Материалы и методы исследования. В последние годы БПЛА стали одним из ключевых методов изучения оползневых процессов, благодаря их способности получать данные высокого разрешения о рельефе и динамике склоновых процессов. БПЛА позволяют оперативно создавать ортофотопланы и ЦМР с разрешением до нескольких сантиметров, что значительно повышает точность мониторинга оползневых участков [6]. Например, исследования в Альпах продемонстрировали, что использование БПЛА для многократной съемки позволяет отслеживать смещение оползневых масс и выявлять зоны повышенной активности оползня [7]. Эти данные особенно важны для прогнозирования дальнейшего развития оползней и оценки рисков для инфраструктуры.

Одним из ключевых преимуществ БПЛА является их способность работать в труднодоступных горных районах, где применение традиционных методов наземных измерений затруднено. В исследовании, проведенном в долине реки Каскелен, применение БПЛА позволило выявить микрорельефные формы, трещины, уступы, оползневое тело и зоны деформации, которые являются индикаторами динамики оползневых процессов. Полученные данные были интегрированы с результатами наземного лазерного сканирования, что обеспечило комплексный анализ морфологии склонов и динамики оползня.

Кроме того, данные БПЛА успешно используются для создания трехмерных моделей оползневых тел, что дает возможность оценивать объемы смещенных масс и прогнозировать потенциальные сценарии развития оползней. Например, в исследовании, проведенном в Австрии, сочетание данных БПЛА и других методов дистанционного зондирования Земли позволило определить границы развития оползневого процесса, установить наличие трещин, направление и скорость потока. Эти результаты подчеркивают важность интеграции данных БПЛА с другими геотехнологиями для повышения точности и надежности мониторинга оползней [8, 9].

Таким образом, применение БПЛА в изучении оползневых процессов открывает новые возможности для мониторинга и анализа опасных геодинамических явлений. Высокая детализация данных, оперативность и возможность работы в сложных условиях делают БПЛА незаменимым инструментом для исследований оползней в горных регионах и разработки мер по снижению рисков.

Оползневые процессы в долине реки Каскелен изучались с помощью инструментов БПЛА DJI Matrice 300 RTK (Китай) и наземного лазерного сканера (НЛС) Riegl VZ-4000 (Австрия). Основные характеристики БПЛА DJI Matrice 300 RTK: промышленный квадрокоптер, съемная камера ZENMUSE P1; размер сенсора (фото): 35,9×24 мм (полный кадр); размер сенсора (макс. область записи видео): 34×19 мм; эффективные пиксели: 45 МП; размер пикселя: 4,4 мкм, размер фото

3:2 (8192×5460); система позиционирования (GPS, BeiDou, Galileo, GLONASS) [10]. Основные характеристики НЛС VZ-4000: дальность съемки – до 4000 м; поле зрения – 60×360°; производительность – до 147 000 точек/с; высокая точность и повторяемость измерения расстояний за счет оцифровки и обработки сигнала в режиме реального времени; оцифровка и обработка сигнала для получения нескольких отражений от множества целей; переносная, портативная и надежная конструкция [11].

На основе аэрофотоснимков, полученных с применением БПЛА, посредством фотограмметрической обработки создаются ортофотопланы и цифровые модели рельефа, обеспечивающие высокоточное представление исследуемого оползня. На первом этапе осуществляется планирование полета с перекрытием снимков не менее 70–80% для обеспечения достаточной стереоскопичности. Качественная обработка требует калибровки камеры и учета атмосферных условий съемки. После полета снимки проходят этап привязки с использованием координат контрольных точек (марок) и данных глобальной навигационной спутниковой системы. Далее выполняется построение облака точек методом сопоставления изображений, из которого генерируются ортофотоплан и далее ЦМР. При этом ортофотоплан формируется путем коррекции снимков на геометрические и рельефные искажения, а ЦМР – через фильтрацию облака точек для выделения поверхности земли. В результате получены детальные данные о рельефе и смещении оползня. Примененные методы позволили оценить текущее состояние оползня, выявить ключевые факторы его активизации и разработать меры по снижению рисков.

Район исследований. Он расположен в центральной части северного склона хребта Иле Алатау, характеризующегося распространением денудационно-тектонического рельефа. К этой категории относятся все горно-складчатые сооружения юга Казахстана, образовавшиеся вследствие активного проявления новейших тектонических движений. Здесь выделяются следующие типы рельефа: высокогорный, среднегорный и низкогорный.

Оползневые процессы наиболее выражены в среднегорьях Иле-Алатауского хребта, преимущественно на высотах от 1000 до 2000 м. В отличие от высокогорья рельеф среднегорья отличается меньшей степенью расчлененности, более пологими склонами и отсутствием ледниковых форм. Амплитуда относительных высот между вершинами и днищами долин обычно не превышает 500–700 м. Долины рек сохраняют V-образную форму с немного расширенными днищами, которые состоят из рыхлого обломочного материала.

Река Каскелен относится к крупным притокам р. Иле и принадлежит бассейну озера Балкаш. Водный режим реки Каскелен тесно связан с высотой и экспозицией склонов, при этом основную роль в ее питании играют талые воды ледников и атмосферные осадки. Река характеризуется сложным гидрологическим режимом, обусловленным сезонными колебаниями стока, интенсивным таянием ледников и осадками, что создает предпосылки для развития опасных геодинамических процессов, включая оползни.

Долина реки Каскелен, с ее крутыми склонами и активной эрозионной деятельностью, представляет собой зону повышенного риска, где оползневые процессы могут приводить к значительным негативным экономическим последствиям, что делает актуальным проведение детальных исследований в этом районе. В долине реки Каскелен оползни являются серьезной угрозой для жизнедеятельности населенных пунктов, транспортной и коммунальной инфраструктуры. Некоторые оползни представляют высокую степень опасности и могут стать реальной угрозой для жизни и здоровья людей, находящихся поблизости.

Формирование оползневых процессов – сложный полигенетический процесс, обусловленный взаимодействием глобальных, региональных и локальных факторов, включая неотектонические движения, сейсмическую активность, климатические условия и антропогенные воздействия. При этом значительную роль в их активизации играет эволюция горных речных долин. Динамичность оползневых процессов характерна для горных долин, где их активизация обусловлена сочетанием климатических (ливневые осадки), сейсмических (глубокие низкочастотные землетрясения) и антропогенных факторов. В горной части долины реки Каскелен было выявлено 18 оползнеопасных участков. Однако для исследования выбран оползень скольжения, расположенный в нижней части долины р. Каскелен, выше экологического поста, рядом с автомобильной дорогой Каскелен – карьер Известковый (рисунок 1). Это древний оползень с активной фронтальной частью. Большинство оползневых процессов в исследуемом районе приурочено к нижнечетвер-

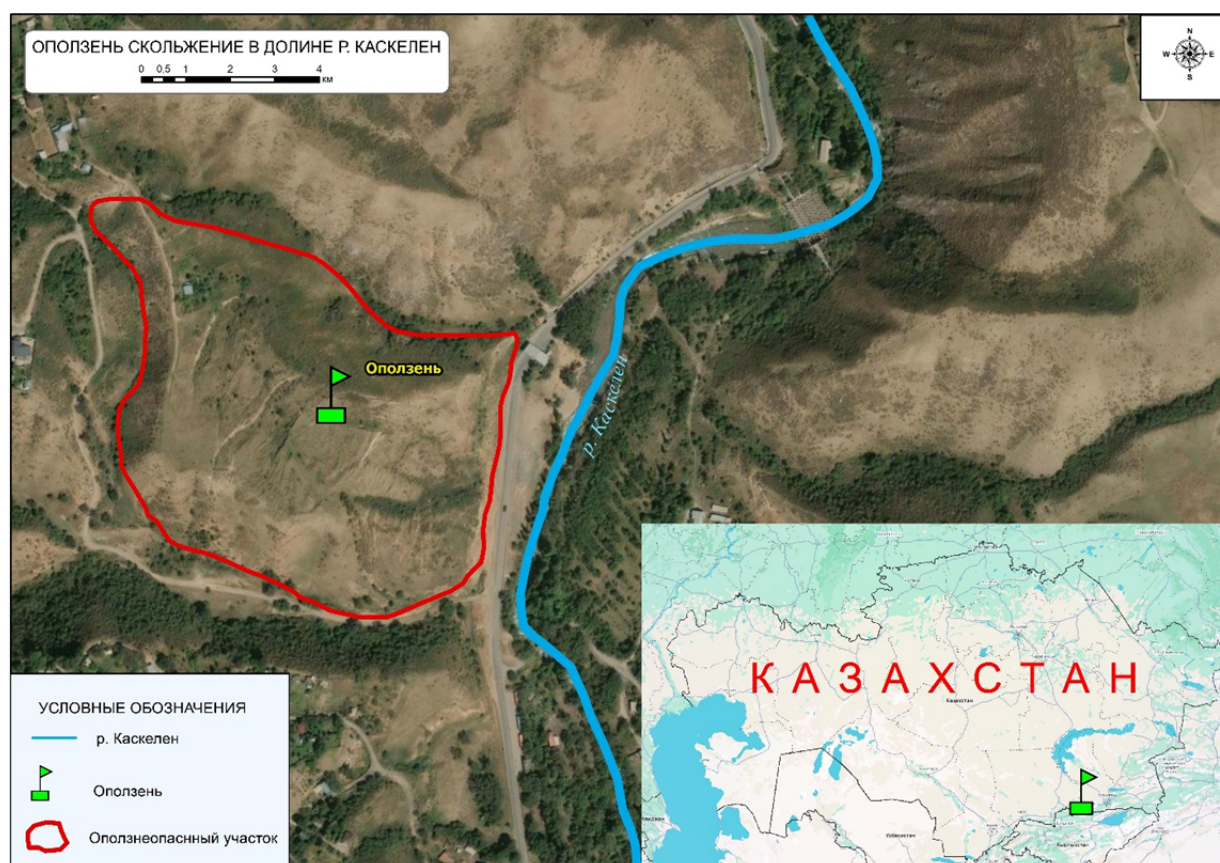


Рисунок 1 – Оползень скольжение в долине реки Каскелен

Figure 1 – Landslide sliding in the Kaskelen River valley

тичным лёссовидным суглинкам, теряющим несущую способность при переувлажнении, также встречаются оползни обрушения сейсмогравитационного происхождения. На участке, где развиты оползневые процессы, выполнены полевое обследование и аэрофотосъёмка с использованием БПЛА.

Результаты и их обсуждение. Исследуемый оползень расположен выше автомобильной дороги Каскелен–Известковый на левом берегу речной долины, в 0,5 км южнее селезащитной плотины (рисунок 2).

Основные характеристики оползня. Положение оползня по отношению к склону – фронтальный уступ вал древнего оползня, подрезанный выемкой для автодороги (рисунок 3), долина левого притока Каскелена. Ориентация склона – восток-юго-восток. Форма оползания в плане извилистая. Высота вершины – 1163 м над ур. м., высота подножия – 1110 м над ур. м., относительное превышение – 53 м. Расположен в огромном оползневом цирке в окружении еще более крупных оползней. В теле оползней активно происходят вторичные оползневые процессы. Характер поверхности оползня ступенчатый, бугристый. Нарушения или смещения на поверхности земли и их характер – наблюдаются оползневые ступени и трещины (высота ступени – 0,2-1,5 м, ширина трещин – до 0,7 м). Происхождение поверхности скольжения – увлажненный слой. Высота стенок срыва – от 0,5 до 10 м. Имеет несколько поверхностей скольжения. Крутизна поверхности скольжения у выхода ее на дневную поверхность – 21° . Относится к типу оползня скольжения. Основные размеры оползнеопасного участка: длина – 1500 м, ширина – 300 м, толщина – 50 м, общий объем – 1,4 млн м^3 , объем отдельных блоков оползней – до 100 м^3 . Основные размеры тела оползня: длина – 370 м, ширина – 250 м, стенка срыва – до 10 м. Продольный профиль выпуклый. Профиль склона изменен искусственно в результате подрезки склона дорогой. Типы оползающих пород – лёссовидные суглинки в верхней части и неогеновые глины в нижней. Характер и форма увлажнения пород участка – атмосферные осадки 1462 мм при норме 1424 мм (2024 год) [12],



Рисунок 2 – Оползень скольжения в долине р. Каскелен
Figure 2 – Sliding landslide in the Kaskelen River valley



Рисунок 3 – Цифровая модель рельефа – тело оползня в естественных цветах
(вид с передней части)

Figure 3 – Digital elevation model of landslide body in natural colors
(view from the front)

выходы грунтовых вод, бытовые жидкости из устройств негерметичных уборных и септиков. Возраст оползня современный. Мера опасности повреждения оползнем инженерных сооружений: ущерб коммуникациям и дачным строениям, заваливает автодорогу на участке длиной 200 м.

По словам сотрудников Казселезащиты, причиной возникновения оползня стал проложенный в начале 2000-х годов трубопровод для подачи воды из русла реки Каскелен. Бесконтрольное и нерациональное использование воды, устройство негерметичных уборных и септиков привели к активизации оползневых явлений в мае 2004 года. Медленное движение оползня фиксировалось дважды при наблюдении за прорывом водопроводной трубы, используемой для дач. Первый раз в 2006 году железная труба разошлась по стыку на 20 см, а во второй раз в 2007 году – на 22 см. Полевые исследования на этом участке проводились с октября 2012 года сотрудниками Института географии. С 2012 по 2014 год в нижней части оползня наблюдалось смещение грунта до 59 см. В 2013 году вся площадь оползня была отсканирована с помощью 3D лазерного сканера RIEGL VZ-4000 и повторно отсканирована в 2014 и 2018 годах. С использованием БПЛА и НЛС ведется мониторинг оползня [13-15]. В рамках исследования планируется организовать сбор данных с применением беспилотной аэрофотосъемки и НЛС для последующего формирования облаков точек. На следующем этапе будет проведена их геодезическая привязка к единой системе координат с использованием сети наземных опорных марок. Затем данные будут подвергнуты предварительной обработке для устранения погрешностей и последующей сшивке с учетом пространственного разрешения и параметров точности используемых технологий. На завершающем этапе предполагается провести комплексный анализ интегрированного облака точек для создания высокоточных цифровых моделей рельефа и объектов, а также для оценки эффективности совместного применения методов.

В ходе обследования 21 сентября 2024 года с применением БПЛА получены аэрофотосъемки оползня. В дальнейшем при обработке данных построены цифровая модель рельефа тела оползня в естественных цветах (рисунок 3), а также цифровая модель местности тела оползня с высотным распределением рельефа (рисунок 4).

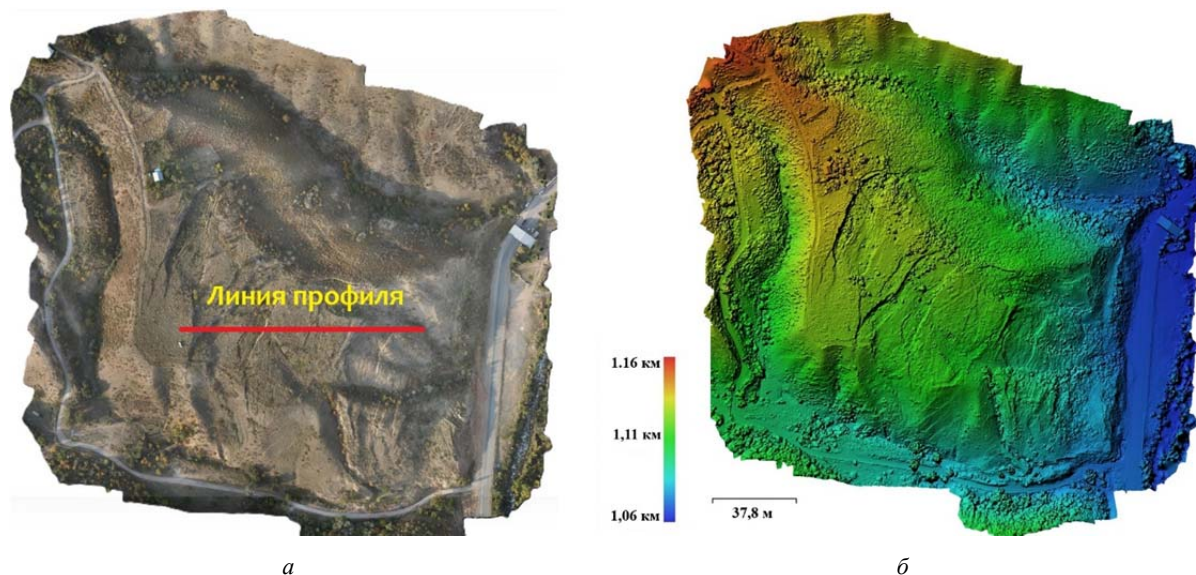


Рисунок 4 – Цифровая модель рельефа тела оползня в естественных цветах с линией продольного профиля (вид сверху) – а; цифровая модель местности тела оползня (вид сверху) – б
Figure 4 – Digital elevation model of landslide body in natural colors with longitudinal profile line (top view) – a;
digital terrain model of the landslide body (top view) – b

ЦМР и ЦММ демонстрирует сложную морфометрическую структуру оползня, сформированного в результате комбинации гравитационных сил, климатических факторов и литологических особенностей местности. Естественная цветовая дифференциация может указывать на различные типы грунтов или степень насыщенности влагой. По результатам ЦМР оползня получили характеристики форм микрорельефа, а также определили зону отрыва (верхняя часть), транзитную

зону (средняя часть) и фронтальную зону (нижняя часть). Морфометрические характеристики микрорельефа оползня: длина – 370 м, ширина – 250 м, стенки срыва – до 10 м, ширина трещин – от 0,2 до 1,5 м, глубина трещин – до 1,5 м, выявлены 6 крупных оползневых ступеней (длина бровки ступеней – от 63 до 136 м), высота стенки срыва – до 8 м, длина оползневых ступеней – от 35 до 70 м.

Механизм движения оползня на основе ЦМР – преобладает блоковое скольжение по криволинейной поверхности с элементами пластического течения. В зонах максимальной деформации поверхности в верхней части оползня наблюдаются вертикальные трещины растяжения (мелкие шириной 0,2-0,5 м и крупные до 1,5 м, глубина достигает 1,5 м), в центральной части отмечаются горизонтальные смещения с образованием ступенчатых террас, по фронту оползня заметно выдавливание переувлажненных масс грунта.

На основе ЦМР оползня был составлен продольный профиль (рисунок 5). Продольный профиль имеет выпуклую форму.

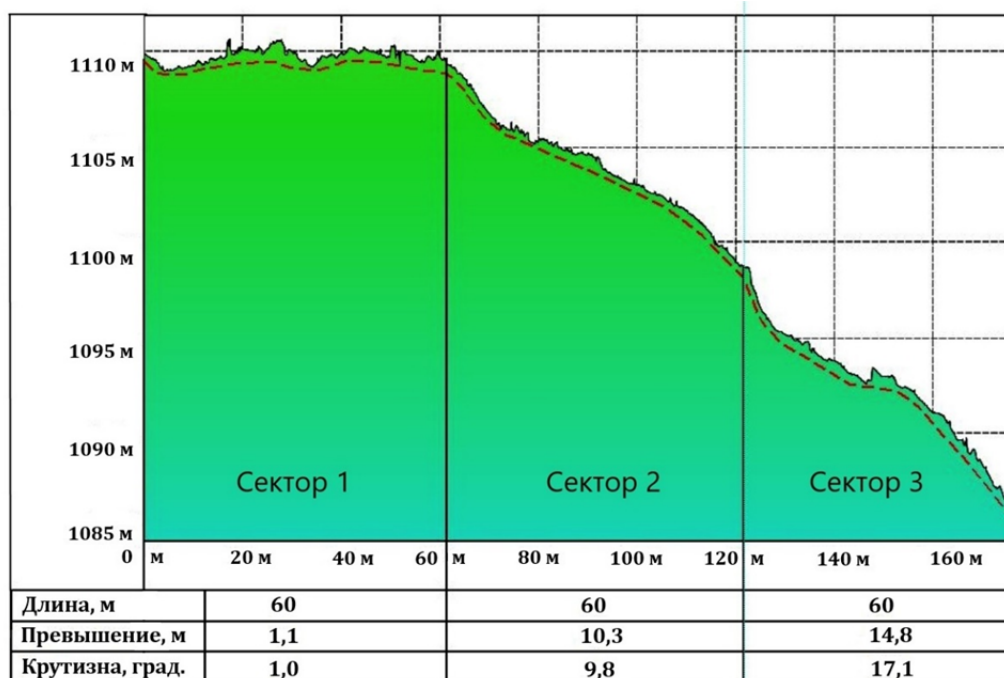


Рисунок 5 – Продольный профиль оползня

Figure 5 – The longitudinal profile of the landslide

Морфометрическая характеристика профиля: общая длина профиля – 168 м (по горизонтали); перепад высот – 1110 м – 1085 м = 25 м, минимальный уклон в пологой части – 1°, средний уклон – 8,5°, максимальный уклон – 17,1°. Сделан секторный анализ продольного профиля (см. таблицу).

Секторный анализ продольного профиля оползня

Sectoral analysis of the longitudinal profile of the landslide

Сектор	Длина, м	Перепад, м	Уклон, град.	Характеристика
1	60	1,1	1,0	Пологий верхний склон
2	60	10,3	9,8	Крутой транзитный участок
3	48	14,8	17,1	Обрыв фронтального уступа

На основе полученных данных рассчитана оценка устойчивости. Коэффициент безопасности (Factor of Safety, FoS) – это ключевой инженерно-геологический параметр, который определяет степень устойчивости склона путем сравнения сопротивления грунта с действующими на него нагрузками [16]. В методах предельного равновесия предполагается, что склон находится на грани

разрушения, а FoS устанавливается из равновесия сил или моментов. Основные алгоритмы включают простое деление сдвигающей прочности на действующее касательное напряжение ($FoS = \tau_{\text{resist}} / \tau_{\text{driving}}$). В контексте оползней оно показывает, насколько склон устойчив против смещения.

Расчет коэффициента безопасности исследуемого оползня (FoS) для сектора 2 (критический участок):

$$FoS = \tan\phi / \tan\alpha = \tan(15^\circ) / \tan(9,8^\circ) \approx 1,53 \text{ (стабильно при сухих условиях).}$$

При насыщении жидкостью ($\phi = 12^\circ$):

$$FoS = \tan(12^\circ) / \tan(9,8^\circ) \approx 1,21 \text{ (предельное равновесие).}$$

$\tan\phi$ – математическое выражение доли трения в устойчивости склона.

$\tan\phi$ – тангенс угла внутреннего трения грунта (ϕ),

где ϕ характеризует способность грунта сопротивляться сдвигу за счет трения между частицами; чем выше ϕ , тем устойчивее склон (например, для гравия $\phi \approx 35\text{--}40^\circ$, для лёссовидных суглинков – $12\text{--}15^\circ$).

$\tan\alpha$ – тангенс угла наклона склона (α),

где α – фактический угол наклона поверхности скольжения (в вашем случае $9,8^\circ$).

$\tan\alpha$ отражает долю силы тяжести, которая «тянет» грунт вниз по склону.

Лёссовидные суглинки резко теряют ϕ при увлажнении:

сухие: $\phi = 15^\circ \rightarrow FoS = 1,53$;

насыщенные: $\phi = 12^\circ \rightarrow FoS = 1,21$.

Крутизна склона (α): даже небольшое увеличение α (например, с $9,8$ до 12°) при $\phi=12^\circ$ даст $FoS = 1,0$ (начало движения).

Предельное равновесие – это состояние склона или грунтового массива, при котором сдвигающие силы (например, вес грунта, внешние нагрузки, гидрологическое давление) уравновешиваются удерживающими силами (сопротивлением грунта сдвигу). В этот момент склон находится на грани потери устойчивости, и даже незначительное воздействие (дождь, вибрация) может спровоцировать смещение. При $FoS=1,0$ склон начнет смещаться. Если FoS снижается до $1,0$, риск обрушения становится критическим. Подводя итоги, можно выделить опасные участки оползня: фронтальный уступ ($17,1^\circ$) – риск прогрессирующего обрушения. В границах секторов 1-2 возможно образование новых трещин.

Оползни в горных склонах и долинах горных рек – одна из самых разрушительных природных угроз, возникающая из-за сочетания естественных факторов (крутые склоны, эрозия, обильные осадки, сейсмичность территории) и антропогенного воздействия (вырубка лесов, строительство дорог, нерациональное землепользование). Последствия оползней в таких районах особенно тяжелы. Они не только уничтожают инфраструктуру, жилые дома и сельскохозяйственные угодья, но и приводят к человеческим жертвам. К примеру, 8 февраля 2024 г. в алматинском микрорайоне «Тау-Самал» сошёл оползень, который разрушил два дома и унёс жизни четырёх человек [17]. В Талгарском районе Алматинской области с 21 на 23 марта 2024 г. произошел самопроизвольный сход грунта со склона горы на территорию двух частных жилых домов в связи с неустойчивыми погодными условиями (осадки в виде дождя и снега) [18].

Для снижения рисков необходимы комплексные меры, включая мониторинг опасных участков, укрепление склонов и строгое регулирование хозяйственной деятельности в уязвимых зонах. Для минимизации рисков от оползня рекомендуются:

1) устройство дренажных систем для отвода поверхностных и грунтовых вод (лотки, штольни, горизонтальные скважины), что снизит насыщение лёссовидных суглинков и повысит коэффициент FoS до безопасных значений;

2) укрепление склонов (дренажные штольни, габионы, посадка деревьев);

3) укрепление фронтального уступа георешетками или габионами, чтобы предотвратить обрушение и выдавливание грунта;

4) мониторинг деформаций оползня с помощью высокоточных ГНСС и замеров трещин, особенно в зонах с $FoS < 1,3$;

- 5) снижение нагрузки на склон – регулирование деятельности строительства в верхней части оползня (зона отрыва) и минимизация вибраций от тяжелого транспорта;
- 6) посадка растений с глубокой корневой системой (ивы, облепиха) для биологической стабилизации склона, контроль вырубок деревьев;
- 7) регулярная аэрофотосъемка (раз в 6 месяцев) для выявления новых смещений оползня;
- 8) системы раннего оповещения для своевременной эвакуации.

Заключение. Проведенное исследование подтвердило высокую эффективность применения БПЛА для изучения оползневых процессов. Их использование позволило получить детальные цифровые модели рельефа с высоким пространственным разрешением, что существенно повысило точность анализа морфометрии при изменении оползневых склонов. Результаты исследования выявили сложный характер деформаций, включая блоковые смещения, образование трещин растяжения и выдавливание переувлажненных масс во фронтальной части.

Полученные ЦМР оползня обеспечили высокодетализированное представление о его морфологии, позволив точно идентифицировать зоны отрыва, транзита и аккумуляции. Данные продольного профиля выявили критические участки склона с уклонами до $17,1^\circ$, находящиеся в состоянии предельного равновесия. Эти результаты имеют важное прикладное значение для прогнозирования развития оползневых процессов и оценки устойчивости склонов. Интеграция полевых морфометрических данных и ЦМР с анализом продольных профилей создает надежную основу для разработки эффективных мер защиты инфраструктуры в горных регионах.

Ключевым фактором активизации оползневых процессов на исследуемом участке является совокупное воздействие антропогенных и природных условий. К ним относятся просачивание в грунт бытовых сточных вод, выходы грунтовых вод, значительная крутизна склонов (до $17,1^\circ$), а также литологический состав лёссовидных суглинков, способствующий снижению устойчивости склонов. Расчеты коэффициента устойчивости (FoS) показали, что участки с уклоном более 15° находятся в состоянии предельного равновесия (FoS=1,21 при насыщении грунтов влагой), что создает высокий риск активизации оползневых процессов. Активизация оползневых процессов на изучаемом участке представляет серьезную угрозу для инфраструктуры. Среди возможных последствий – частичное или полное перекрытие автодороги, что может привести к нарушению транспортного сообщения, а также риск перекрытия русла реки. Это, в свою очередь, может вызвать локальное затопление прилегающих территорий и ускорить деградацию склонов, что потребует дополнительных мер по мониторингу и укреплению стабильности участка.

Полученные данные подчеркивают необходимость комплексного подхода к мониторингу оползневой опасности, сочетающему современные дистанционные методы с традиционными геотехническими исследованиями. Результаты работы вносят вклад в развитие методов прогнозирования оползневых процессов в горных регионах с аналогичными природно-климатическими условиями. Данные исследования могут быть использованы для оценки устойчивости склонов, мониторинга с применением БПЛА и цифрового моделирования рельефа. Кроме того, результаты работы могут быть полезны при планировании инженерных сооружений и инфраструктуры в сейсмоактивных регионах, а также для органов гражданской защиты при разработке мер по предупреждению и минимизации последствий оползней. Дальнейшие исследования должны быть направлены на изучение долгосрочной динамики оползней и оценку влияния климатических изменений на их активизацию.

Финансирование. Исследование выполнено при финансовой поддержке Комитета науки Министерства науки и высшего образования Республики Казахстан по теме «Научно-прикладное обоснование селе-, оползне- и лавинобезопасности в горных районах Иле и Жетысу Алатау Республики Казахстан». Программно-целевое финансирование № BR21881982.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Петров Н. Ф. Оползневые системы. Простые оползни (аспекты классификации). – Кишинев: Штиинца, 1988. – 226 с.
- [2] Гулакян К. А., Кюнтцель В. В., Постоев Г. П. Прогнозирование оползневых процессов. – Москва: Недра, 1977. – 135 с.
- [3] Иванов И. П., Тржцинский Ю. Б. Инженерная геодинамика. – СПб.: Наука, 2001. – 416 с.
- [4] Трофимов В. Т., Калинин Э. В. и др. Инженерная геология России. Инженерная геодинамика территории России. – Т. 2. – Москва: Издательский дом КДУ. – 2013. – 816 с.

- [5] Cruden D. M., Varnes D. J. (1996). Landslide types and processes. In A. K. Turner & R. L. Schuster (Eds.), *Landslides: Investigation and Mitigation* // Transportation Research Board Special Report. – 247. – P. 36-75.
- [6] Eltner A., Kaiser A., Castillo C., Rock G., Neugirg F., Abellán A. Image-based surface reconstruction in geomorphometry – merits, limits and developments // *Earth Surface Dynamics*. – 2016. – Vol. 4, issue 2. – P. 359-389. <https://doi.org/10.5194/esurf-4-359-2016>
- [7] Niethammer U., James M. R., Rothmund S., Travelletti J., Joswig M. (2012). UAV-based remote sensing of the Super-Sauze landslide: Evaluation and results // *Engineering Geology*. – 2012. – Vol. 128. – P. 2-11. <https://doi.org/10.1016/j.enggeo.2011.03.012>
- [8] Zhou J., Jiang N., Li C. et al. A landslide monitoring method using data from unmanned aerial vehicle and terrestrial laser scanning with insufficient and inaccurate ground control points // *Journal of Rock Mechanics and Geotechnical Engineering*. – 2024. – No. 16. – P. 4125-4140.
- [9] Lu Yan et al. Monitoring small-scale mass movement using unmanned aerial vehicle remote sensing techniques // *Catena*. – 2024. – Vol. 238. – 15 April 2024, 107885. <https://doi.org/10.1016/j.catena.2024.107885>
- [10] DJI Matrice 300 RTK – промышленный квадрокоптер https://www.drone.com.kz/products/drony/matrice_300_rtk/
- [11] RIEGL Software News <http://riegl.com>
- [12] Погода и климат // URL: электронный ресурс. <http://www.pogodaiklimat.ru/>
- [13] Jaboyedoff M., Derron M.-H. Chapter 7. Landslide analysis using laser scanners // *Developments in Earth Surface Processes*. – 2020. – Vol. 23. – P. 207-230. <https://doi.org/10.1016/B978-0-444-64177-9.00007-2>
- [14] Geirsson H., Sæmundsson P. (2024). Chapter 13. The role of GNSS monitoring in landslide research // *GNSS Monitoring of the Terrestrial Environment. Earthquakes, Volcanoes, and Climate Change*. – P. 243-255. <https://doi.org/10.1016/B978-0-323-95507-2.00012-8>
- [15] Kemal Özgür Hastaoğlu, Yavuz Gül, Fatih Poyraz, Burak Can Kara (2019). Monitoring 3D areal displacements by a new methodology and software using UAV photogrammetry // *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*. – Vol. 83, November 2019. <https://doi.org/10.1016/j.jag.2019.101916>
- [16] J. Michael Duncan, Stephen G. Wright, Thomas L. Brandon. *Soil Strength and Slope Stability* // Wiley, October, 2014. – 336 p.
- [17] Оползень в Алматы: как выглядит место ЧП с высоты // URL: электронный ресурс. <https://informburo.kz/novosti/opolzen-v-almaty-kak-vyglyadit-mesto-chp-s-vysoty>
- [18] Жителей эвакуируют в безопасное место из-за сошедшего оползня в Алматинской области // URL: электронный ресурс. <https://www.caravan.kz/news/zhitelej-ehvakuiuyut-v-bezopasnoe-mesto-izza-soshedshego-opolznaya-v-almatinskoy-oblasti-992041/>

REFERENCES

- [1] Petrov N. F. *Landslide systems. Simple landslides (classification aspects)*. Kishinev: Shtiintsa, 1988. 226 p. (in Russ.).
- [2] Gulakyan K. A., Kuntzel V. V., Postoev G. P. *Forecasting of landslide processes*. Moscow: Nedra Publ., 1977. 135 p. (in Russ.).
- [3] Ivanov I. P., Trzhtinsky Yu.B. *Engineering geodynamics*. Saint Petersburg: Nauka Publ., 2001. 416 p. (in Russ.).
- [4] Trofimov V. T., Kalinin E. V. et al. *Engineering Geology of Russia. Engineering geodynamics of the territory of Russia*. Vol. 2. Moscow: KDU Publishing House, 2013. 816 p. (in Russ.).
- [5] Cruden D. M., Varnes D. J. (1996). Landslide types and processes. In A. K. Turner & R. L. Schuster (Eds.), *Landslides: Investigation and Mitigation* // Transportation Research Board Special Report. 247. P. 36-75). National Academy Press.
- [6] Eltner A., Kaiser A., Castillo C., Rock G., Neugirg F., Abellán A. Image-based surface reconstruction in geomorphometry – merits, limits and developments // *Earth Surface Dynamics*. 2016. Vol. 4, issue 2. P. 359-389. <https://doi.org/10.5194/esurf-4-359-2016>
- [7] Niethammer U., James M. R., Rothmund S., Travelletti J., Joswig M. UAV-based remote sensing of the Super-Sauze landslide: Evaluation and results // *Engineering Geology*. 2012. Vol. 128. P. 2-11. <https://doi.org/10.1016/j.enggeo.2011.03.012>
- [8] Zhou J., Jiang N., Li C. et al. A landslide monitoring method using data from unmanned aerial vehicle and terrestrial laser scanning with insufficient and inaccurate ground control points // *Journal of Rock Mechanics and Geotechnical Engineering*. 2024. No. 16. P. 4125-4140.
- [9] Lu Yan et al. Monitoring small-scale mass movement using unmanned aerial vehicle remote sensing techniques // *Catena*. 2024. V. 238. 15 April 2024, 107885. <https://doi.org/10.1016/j.catena.2024.107885>
- [10] DJI Matrice 300 RTK – industrial quadcopter https://www.drone.com.kz/products/drony/matrice_300_rtk/
- [11] RIEGL Software News <http://riegl.com>
- [12] Weather and climate // URL: electronic resource. <http://www.pogodaiklimat.ru/>
- [13] Jaboyedoff M., Derron M.-H. Chapter 7. Landslide analysis using laser scanners // *Developments in Earth Surface Processes*. 2020. Vol. 23. P. 207-230. <https://doi.org/10.1016/B978-0-444-64177-9.00007-2>
- [14] Geirsson H., Sæmundsson P. Chapter 13. The role of GNSS monitoring in landslide research // *GNSS Monitoring of the Terrestrial Environment. Earthquakes, Volcanoes, and Climate Change*. 2024. P. 243-255. <https://doi.org/10.1016/B978-0-323-95507-2.00012-8>
- [15] Kemal Özgür Hastaoğlu, Yavuz Gül, Fatih Poyraz, Burak Can Kara. Monitoring 3D areal displacements by a new methodology and software using UAV photogrammetry // *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*. 2019. Vol. 83, November 2019. <https://doi.org/10.1016/j.jag.2019.101916>
- [16] J. Michael Duncan, Stephen G. Wright, Thomas L. Brandon. *Soil Strength and Slope Stability* // Wiley, October, 2014. 336 p.

[17] Landslide in Almaty: what does the emergency site look like from a height? // URL: electronic resource. <https://informburo.kz/novosti/opolzen-v-almaty-kak-vyglyadit-mesto-s-vysoty> (in Russ.).

[18] Residents are evacuated to a safe place due to a landslide in the Almaty region // URL: electronic resource. <https://www.caravan.kz/news/zhitelej-ehvakuiuyut-v-bezopasnoe-mesto-iz-za-soshedshego-opolznaya-v-almatinskoy-oblasti-992041/> (in Russ.).

Е. Е. Халыков¹, М. М. Тоғыс², Ю. Ф. Лый^{*3}, Қ. С. Оразбекова⁴, Ұ. Р. Алдаберген⁵

¹ PhD, аға ғылыми қызметкер («География және су қауіпсіздігі институты» АҚ, Алматы, Қазақстан; e.halykov@mail.ru)

² Ғылыми қызметкер («География және су қауіпсіздігі институты» АҚ, Алматы, Қазақстан; maulenmm@mail.ru)

^{3*} Г. ғ. к., аға ғылыми қызметкер («География және су қауіпсіздігі институты» АҚ, Алматы, Қазақстан; uisya_lyi77@mail.ru)

⁴ PhD, аға ғылыми қызметкер («География және су қауіпсіздігі институты» АҚ, Алматы, Қазақстан; kuralay_orazbekova@mail.ru)

⁵ Кіші ғылыми қызметкер, PhD докторант («География және су қауіпсіздігі институты» АҚ, Әл-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университеті, Алматы, Қазақстан; aldabergen_u@mail.ru)

ҚАСКЕЛЕҢ ӨЗЕНІ АҒАРЫНДАҒЫ СЫРҒЫМАЛАРДЫ ҰШҚЫШСЫЗ ҰШУ АППАРАТЫН ҚОЛДАНА ОТЫРЫП ЗЕРТТЕУ

Аннотация. Бұл мақалада Іле Алатауы (Қазақстан) аумағындағы Қаскелең өзенінің алқабында орналасқан инфрақұрылым мен саяжайларға, сондай-ақ автомобиль жолына қауіп төндіретін сырғыма көшкін ҰҰА (ұшқышсыз ұшатын аппарат) арқылы алынған деректер негізінде зерттелді. Жоғары дәлдіктегі цифрлық биіктік үлгілері негізінде баяу қозғалатын көшкіннің морфометриялық сипаттамалары, деформация аймақтары анықталды, еңіс тұрақтылық параметрлері есептелді. Көшкін шамадан тыс суару кезінде беріктігін жоғалтатын лесс тәрізді саздарда дамиды, жылжу жылдамдығы 59 см/жылға дейін болатыны анықталды. Тұрақтылық коэффициентін есептеу көлбеу >15° аудандар үшін критикалық күйді көрсетті. Ғаламдық навигациялық спутниктік жүйе арқылы аумақты бақылау және дренаждық жүйелер мен геогридті күшейту сияқты инженерлік шешімдерді енгізу ұсынылады. Нәтижелер таулы аймақтардағы сырғыма көшкін қаупін болжау үшін ҰҰА технологияларын интеграциялау қажеттілігін көрсетеді.

Түйін сөздер: сырғымалар, Қаскелең өзені, мониторинг, ҰҰА, Жер бедерінің сандық үлгісі

Ye. Ye. Khalykov¹, M. M. Togys², Yu. F. Lyy^{*3}, K. S. Orazbekova⁴, U. R. Aldabergen⁵

¹ PhD, Senior Researcher (JSC « Institute of Geography and Water Security», Almaty, Kazakhstan; e.halykov@mail.ru)

² Research Associate (JSC « Institute of Geography and Water Security», Almaty, Kazakhstan; maulenmm@mail.ru)

^{3*} Candidate of Geographical Sciences, Senior Researcher (JSC « Institute of Geography and Water Security», Almaty, Kazakhstan; uisya_lyi77@mail.ru)

⁴ PhD, Senior Researcher (JSC « Institute of Geography and Water Security», Almaty, Kazakhstan; kuralay_orazbekova@mail.ru)

⁵ Junior Researcher, PhD Student (JSC « Institute of Geography and Water Security», Al-Farabi Kazakh National University, Almaty, Kazakhstan; aldabergen_u@mail.ru)

INVESTIGATION OF THE LANDSLIDE IN THE KASKELLEN RIVER VALLEY USING AN UNMANNED AERIAL VEHICLE

Abstract. This article presents a study of a slow-moving landslide in the Kaskelen River valley (Ile Alatau, Kazakhstan), which poses a threat to local infrastructure and a dacha settlement. The investigation was conducted using data obtained from an unmanned aerial vehicle (UAV). High-precision digital elevation models were used to analyze the morphometric characteristics of the landslide, identify deformation zones, and calculate slope stability parameters. The landslide occurs in loess-like loams that lose strength when saturated with water, with a maximum recorded displacement rate of up to 59 cm per year. Stability coefficient calculations indicated critical conditions in areas with slopes greater than 15°. Monitoring using global navigation satellite systems (GNSS) is recommended, along with engineering measures such as drainage systems and geogrid reinforcement. The findings highlight the importance of integrating UAV technologies with traditional field methods for effective landslide risk assessment in mountainous regions.

Keywords: landslides, Kaskelen River, monitoring, UAV, digital terrain model.

<https://doi.org/10.55764/2957-9856/2025-2-97-106.24>

IRSTI 39.03.15 39.00.00

UDC 910.3

N. V. Popov¹, S. U. Ranova², A. N. Kamalbekova^{*3}

¹ Candidate of Geographical Sciences, Chief Researcher
(«Institute of Geography and Water Security» JSC, Almaty, Kazakhstan; popovn@mail.ru)

² Candidate of Geographical Sciences, Head of Laboratory
(«Institute of Geography and Water Security» JSC, Almaty, Kazakhstan; sandu2004@mail.ru)

^{3*} PhD student, Junior Researcher (Al-Farabi Kazakh National University,
«Institute of Geography and Water Security» JSC, Almaty, Kazakhstan;
aidana.kamalbekova@gmail.com)

RARE SEISMOGENIC EVENTS IN THE ILE ALATAU

Abstract. In the relatively recent geological history of the Ile Alatau region, large earthquakes have triggered significant disturbances to the earth's surface, including massive seismogenic landslides and debris flows. Through a retrospective analysis of these events and the application of modern research methods, the authors were able to estimate the age and scale of these phenomena. The findings underscore the necessity of considering such large-scale disasters in the planning and development of foothill territories. Given that the region is one of the most seismically active areas in Kazakhstan, the potential for giant landslides and mudflows induced by strong earthquakes represents a tangible and ongoing risk. The study also identified critical gaps in previous research, particularly concerning the timing of past events and methods for quantifying their characteristics. Using data from unmanned aerial vehicle (UAV) imagery, advanced software, and morphometric analysis of solid runoff and mudflow deposits, the authors refined the quantitative parameters of catastrophic natural events that occurred hundreds or even thousands of years ago. A review of previously published datings of rare geologic catastrophes was conducted. The results show that rare seismogenic phenomena have not been adequately considered in existing engineering protection schemes due to insufficient knowledge and gaps in regulatory design standards. Further studies are essential to address these shortcomings and ensure safer land-use planning in seismically active zones.

Keywords: earthquake, landslide, rockfall, mudflow, natural disasters.

Introduction. In this study, rare events are understood as discrete occurrences that are observed extremely infrequently due to the complex of natural processes, whose genetic interconnections are often not statistically confirmed. Seismogenic phenomena such as blocking landslides, secondary mudflows, and floods fall into this category. A regional analysis of large-scale slope deformations of seismogenic origin in the mountainous areas of Kazakhstan has been presented in the works [8, 9]. Modern studies indicate that the Northern Tien Shan region, and in particular its frontal ridge – the Ile Alatau – has repeatedly experienced destructive landslides and mudflows, whose occurrence was directly linked to strong earthquakes. Thus, the catastrophic natural events discussed in this paper represent a consistent pattern in the long sequence of geological processes that have recurred over thousands of years and will inevitably occur again in the future. The conditions for their formation remain unchanged, namely:

- The Ile Alatau region contains large active seismic faults, where heightened seismic activity is regularly observed.

- The foothill terraces of the Ile Alatau are composed of loess-like sediments with poor engineering-geological properties, which, under strong seismic impacts and prior soil moisture saturation, can lead to the large-scale formation of blocking landslides and mudflows.

- The high-mountain zone of the Ile Alatau retains extensive modern glaciation, a vast reserve of unconsolidated deposits from contemporary and Upper Quaternary moraine complexes, and a significant energy potential due to the altitude difference of 3.5–4.0 km from the headwaters to the foothills.

The focus of this study is the largest seismogenic events in the central part of the northern slope of the Ile Alatau (figure 1).

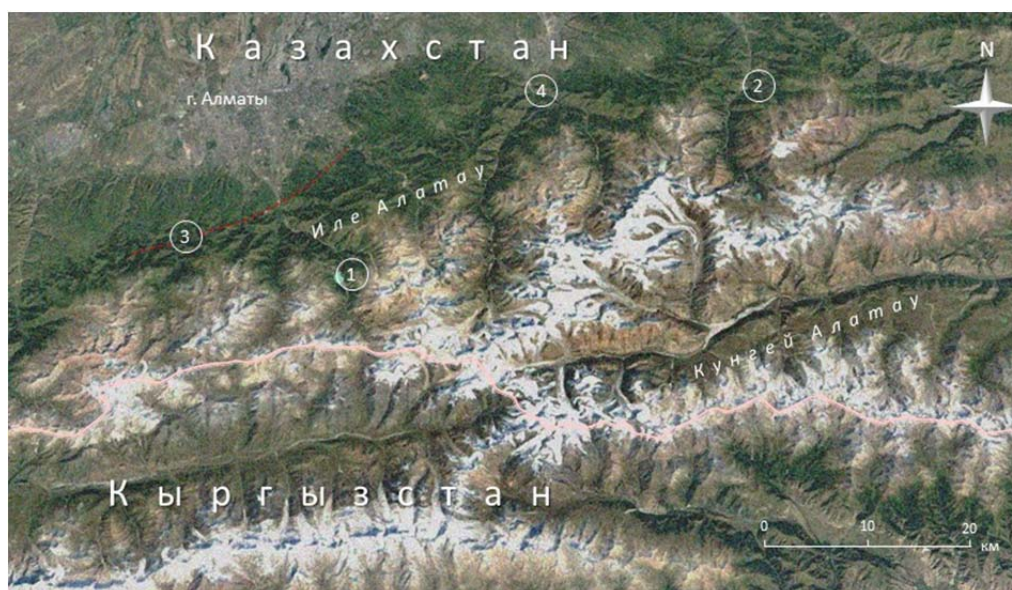


Figure 1 – The area and the objects of the study:

- 1 – Blocking landslide and the Big Almaty Lake; 2 – blocking landslide and the Yesik Lake;
3 – fault zone and the epicenter of the Verny earthquake of 1887; 4 – ancient giant mudflow in the valley of the Talgar River

Materials and Methods. An essential element of any scientific research is accounting for previous studies, with a list of key publications provided in the references. A retrospective analysis of accumulated data, incorporating modern research methods and a more detailed examination of study sites, enables the refinement of seismogenic event characteristics, their quantitative attributes, and chronological framework. In many cases, mountain landslides and rockfalls, in the absence of direct observations, have been assumed to be responsible for a series of mudflow catastrophes. However, further researches have shown that erosion and associated displacement processes in contemporary and Upper Quaternary frontal moraines were the primary drivers in specific cases [6, 8]. Conversely, numerous landslide dams that impound high-mountain lakes were mistakenly identified as ancient moraines, a misinterpretation that could only be corrected through additional modern investigations [9, 8]. The dating of damming landslides remains a particularly challenging issue. Frequently, event timing has been inferred by analogy with similar nearby formations and presumed seismic events. However, in the absence of precise data, this method significantly broadens the potential age range of such phenomena over several millennia [2, 3].

The authors argue that refining the timing of major seismic catastrophes is crucial for assessing current conditions and forecasting future developments. A promising approach to dating damming landslides is the discrete and integral evaluation of unconsolidated debris in landslide dams and mudflow deposits, which form extensive alluvial fans at the entrance to high-mountain basins. Even in the absence of direct data – an expected challenge – chronological constraints can be established using average denudation rates and sediment discharge volumes from mountain regions worldwide. These values are widely accepted, making this method a scientifically justified research tool [4].

A highly informative method for determining the age of large-scale seismic dislocations involves analyzing the volume of unconsolidated landslide or mudflow deposits embedded in the original valley relief. To reconstruct the pre-event topography, researchers compare the continuation of mountain slope and valley floor forms buried beneath landslide or mudflow deposits with the modern surface [8, 6, 4]. In some cases, geophysical methods can help restore buried relief, provided that the boundaries of the original relief and landslide bodies are reliably identified, which is complicated by the homogeneity of loose debris masses.

Remote sensing techniques, including multi-temporal satellite imagery, facilitate the study of seismogenic dislocations, landslides, and mudflows not only at local sites but also across vast, inaccessible regions. The research utilizes satellite imagery from Landsat, Sentinel, Google Earth, and the Shuttle Radar Topographic Mission (SRTM), which provides digital elevation model (DEM) data for Earth's surface.

Results and Discussion. The Ulken Almaty. Fifteen kilometers from Almaty, on the northern slope of the Ile Alatau at approximately 2500 m above sea level, lies the Ulken Almaty (Big Almaty) Lake. Currently, the lake functions as a multipurpose reservoir with a regulated water volume of 14 million m³, serving energy and water supply needs.

According to specialized studies, the lake was formed due to a massive earthquake-induced blocking landslide-rockfall, with a volume of up to 380 million m³, originating from the left slope of the Ozyornaya River valley, a tributary of the Ulken Almaty River [8]. To prevent a potential lake outburst caused by a mudflow entering the lake – similar to the 1963 Yesik event (see this article) – that was formed higher up the valley profile. In the 1980s the crest of the lake dam was increased by 10 m with the construction of an open spillway (figure 2) [5].

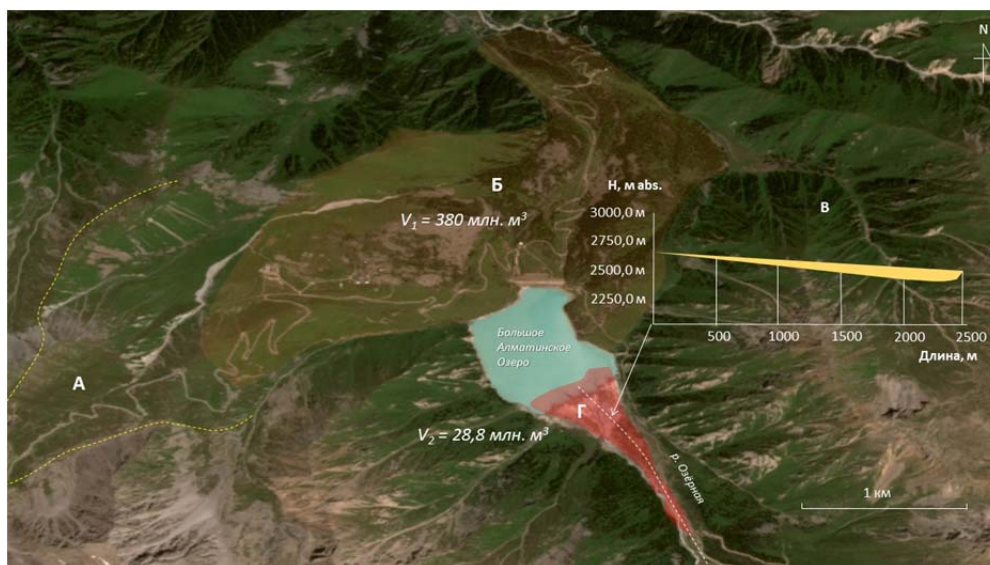


Figure 2 – The situation in the area of blocking of the Ozyornaya River by a landslide:

A – escarpment and separation zone; *B* – landslide body [8]; *C* – profile along the alluvial fan; *D* – mudflow alluvial fan [4]

Although the origin and morphology of the lake's seismogenic dam are well studied, its age remains debated. Some researchers estimate the landslide-rockfall's age to be between 8,000 and 15,000–20,000 years [2, 3]. The only argument given in support of this assumption is the landslide in the Yesik River valley. However, no direct evidence supports this claim. The blockages of the Yesik and Ulken Almaty Rivers occurred at different altitudes (1750 and 2500 m respectively) and are associated with different seismic faults.

On the other hand, there is objective evidence suggesting a significantly younger age for the formation of the lake dam. During the deepening of the water intake in the lake dam, layers of silty lake sediments containing remains of Tien Shan spruce were uncovered. Samples of organic material were collected by A. P. Gorbunov from the Institute of Geography, which were later subjected to radiocarbon dating at a laboratory in Novosibirsk, determining their age to be 1500±200 years. Taking into account the accumulated silty deposits (2.2 m), the formation of the blocking landslide dam was preliminarily estimated at 2200±200 years [1].

To further substantiate the existence period of the lake, a morphological method was later applied, based on obtaining morphometric characteristics of the debris flow fan at the entrance to the lake basin and estimating its formation time.

The volume of unconsolidated deposits in the debris flow fan, determined through partial restoration of the relief profile and considering its glacial modification in the upper section of the lake basin (a characteristic trough), was 28.8 million m³. The volume of sediments, calculated based on the average and maximum values of denudation in mountainous terrain over 2000 years, ranged from 13.0 to 47.7 million m³, averaging 30.35 million m³, which closely aligns with the previously obtained estimate [4]. If we assume that the denudation rate in the central part of the Ile Alatau, including the Ozyornaya River basin, corresponds to the mean value of loose material washout (denudation products) at 0.19 mm/year, then the

volume of the debris flow fan near the lake – given a catchment area of 71.8 km² and a sediment accumulation period of 2000 years – would be 27.3 million m³, which is also very close to the value obtained using the morphometric method.

The volume of deposits can also be estimated using the solid runoff modulus. According to recommendations [12], if we assume that the conditions in the Ozyornaya River basin are similar to the areas composed of ancient sedimentary or igneous rocks, with a maximum solid runoff modulus of 880 t/km²/year, then over 2000 years, 47.7 million m³ of material should have been transported to the blocking area. At an average long-term solid runoff modulus of 240 t/km²/year, this value would be 13 million m³, giving an overall average of 30.35 million m³.

It should be noted that immediately after the seismogenic landslide, the blocking dam enabled the accumulation of a significant volume of water. The initial lake that was formed most likely breached within a few days, triggering a catastrophic outburst flood downstream and creating an erosional incision in the lower part of the natural dam.

The Yesik. The exceptional event of July 7, 1963, in the Yesik River valley stands out among the region's natural disasters. At that time, a large mountain lake, which had been formed due to a landslide dam blocking the river at an elevation of approximately 1750 m, burst as a result of the entry of a catastrophic mudflow into the lake. The mudflow had peak discharges of 7,000-12,000 m³/s (figure 3).



Figure 3 – The Yesik Lake before 1963 (postcard)

The glacial mudflow, with a volume of 5.8 million m³, caused a sharp rise in the lake level (by at least 1.5 m) and generated destructive waves up to 5.5 m high. This led to an increase in outflow discharge, intense retrogressive erosion in the lower part of the dam, subsequent dam failure, and near-complete drainage of the lake basin [6] (figure 4).

A comparison of the 1963 mudflow volume with the total sediment accumulation in front of the blocking landslide throughout the lake's existence is particularly important. The age of the Yesik landslide dam, based on estimates of the maximum thickness of laminated silts deposited in the lake basin, has been assessed at 4,000 years [7]. Through repeated leveling surveys of the longitudinal profile of the alluvial fan, the total volume of mudflow and flood deposits at the lake entrance was determined to be 82 million m³ [6].

By using an analogy-based approach with denudation intensity values from other mountainous regions, the approximate age of the lake – and consequently, the blocking landslide – can be estimated. Interpolating the data obtained for the mudflow fan at the Ulken Almaty Lake, the age of the Yesik River blockage is estimated at 5,700 years.

It is crucial to highlight that this was a highly unusual event: a lake that had existed for thousands of years was completely destroyed by a mudflow – even though the mudflow volume was an order of magnitude smaller than the total sediment volume accumulated in the lake basin throughout its history (figures 3, 4).



Figure 4 – The blocking landslide and the catastrophic mudflow on July 7, 1963 in the Yesik River valley:

A – scarp and landslide detachment zone; *B* – landslide body; *C* – mudflow alluvial fan.

Photo 1 was made by Qazaq TV, Photo 2 is a Sentinel-2 image for July 24, 2021

The powerful lake dam, composed of a landslide body with a volume of 20–25 million m³, was completely breached by the water flow. The resulting catastrophic outburst flood, with a discharge of up to 1000 m³/s, destroyed up to 200 houses, bridges, roads, and infrastructure in the downstream valley. Later, in the 1980s, a mudflow protection dam with a tunnel spillway was constructed at the breach site, partially restoring the Yesik Lake.

The Verny Earthquake of June 9, 1887 ($M = 7.3$, focal depth = 20 km, horizontal rupture length = 35 km) caused numerous surface ruptures and landslides, with a total displaced volume estimated at 440 million m³, some individual landslides exceeding 50 million m³ [9, 11].

Among the most catastrophic consequences of the earthquake, as documented by I. V. Mushketov, were landslides in the Aksay, Kokcheka, and Prokhodnaya (Ulken Almaty) River basins, as well as in Koturbulak (figure 5).

The Akzhar rockfall, with a volume of 60 million m³, occurred in the Aksay River basin, forming two major rupture zones with an escarpment and destroying a lake that previously existed downstream in the valley. The collapsed masses, largely composed of biotite granites and diorites, moved into the main Aksay River valley, creating a temporary dam, which later breached, generating a powerful mudflow that traveled more than 20 km across the piedmont alluvial fan.

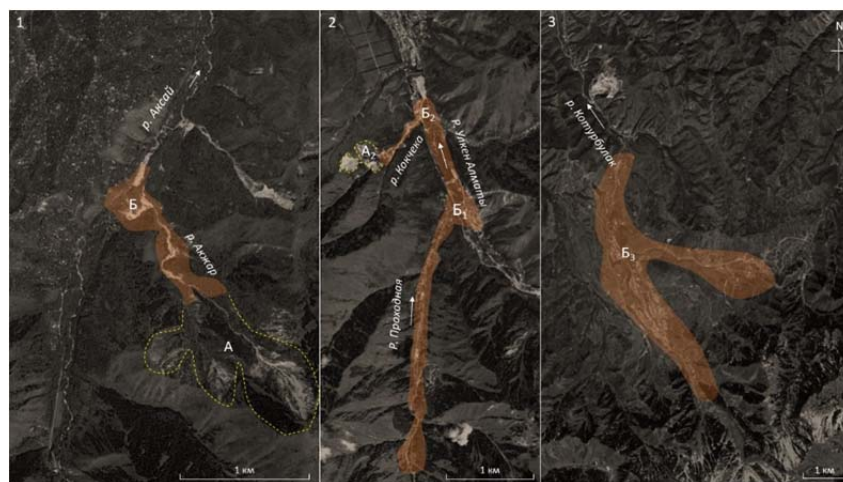


Figure 5 – Landslides triggered by the June 9, 1887 earthquake: 1 – Akzhar landslide (*A* – escarpment and rupture zone, *B* – landslide body, *C* – secondary debris flow zone) [8]; 2 – Landslides in the Ulken Almaty River basin

(*A*² – Kokcheka tributary escarpment and rupture zone, *B*² – landslide body, *B*¹ – Prokhodnaya River landslide body);

3 – Landslide in the Koturbulak River basin (*A*³ – rupture zone, *B*³ – landslide body).

The landslide boundaries were delineated based on markers specified in [9]

Large landslides also occurred in the Ulken Almaty River valley, on its small left tributary, Kokcheka (24 million m³), as well as in the Prokhnodnaya River basin (54 million m³). In the Koturbulak River basin, a landslide of 56 million m³ was formed.

Today, the areas occupied by these ancient landslide bodies have been developed and are used for various economic and social purposes, which raises significant concerns. It is well known that strong earthquakes in this region may reactivate these old landslides, with all the associated negative consequences.

According to topographic and geodetic surveys conducted by F. Brusnitsyn one month after the earthquake, it was possible to reconstruct the conditions in the Aksay River valley as they were on June 9, 1887 [9]. Scheme 1 (figure 6) shows that on this date, a significant portion of the Aksay River valley was filled with liquefied landslide deposits.

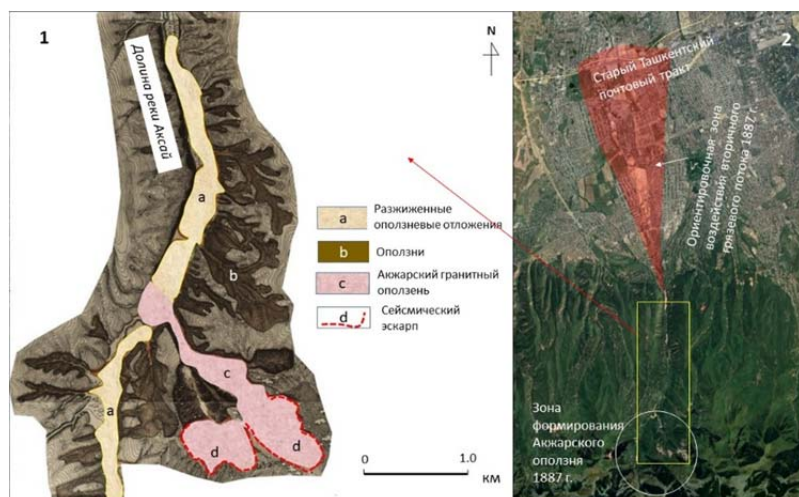


Figure 6 –
Conditions in the Aksay River valley
on June 9, 1887

Eyewitness accounts indicate that the river's flow was completely blocked and was only restored approximately 20-22 hours later, after the breach of the temporary dammed lake. A rough estimate suggests that during this period, the temporary reservoir could have accumulated 0.7–0.8 million m³ of river water.

The sudden water release inevitably led to the movement of unstable liquefied masses, resulting in the formation of a large-scale mudflow, which traveled over 15 km across the gentle piedmont plain. The mudflow covered the old Tashkent postal road for approximately 8 km (scheme 2, figure 6). The mass of mud, spreading over a vast area, destroyed all bridges and rendered the Tashkent road impassable, severing communication between Verny (Almaty) and Kaskelen (Mushketov I., 1890).

Talgar. In the Talgar River valley, at its emergence onto the alluvial fan, traces of an ancient giant mudflow have been identified. These traces remain visible on the right slope of the valley in the form of a distinct boulder line, with some sections located 75 m above the riverbed (figure 7).



Figure 7 –
Traces of an ancient giant debris
flow in the Talgar River valley:
A – maximum debris flow level
on the right valley slope;
B, C – large boulders
(diameter >5 m) marking
the maximum level
of the ancient mudflow

Using modern satellite imagery, it was possible to reconstruct the approximate valley cross-sections at maximum elevations and estimate the approximate cross-sectional area of the ancient mudflow. Based on these rough approximations, the cross-sectional area was determined to be approximately 30,000 m², which, given the previously mentioned flow depth, results in staggering peak discharges exceeding 500,000 m³/s or more (figure 8, table).



Figure 8 – The section of the Talgar River valley where the giant ancient mudflow exited the valley. The marked features include the maximum flow level on the valley slopes, cross-sectional profiles, averaged cross-section, and an 8.5 million m³ mudflow protection dam constructed in 2005 [10]

Drone survey data for cross-sections in the Talgar River valley

Points	Longitude	Latitude	Elevation (m a.s.l.)	Points	Longitude	Latitude	Elevation (m a.s.l.)
Profile 1							
1	77°12'33,330" E	43°15'37,405" N	1192.41	10	77°12'44,911" E	43°15'39,633" N	1120.75
2	77°12'34,735" E	43°15'37,680" N	1176.63	11	77°12'46,316" E	43°15'39,770" N	1119.83
3	77°12'35,866" E	43°15'37,817" N	1172.39	12	77°12'47,653" E	43°15'40,010" N	1119.07
4	77°12'36,996" E	43°15'38,091" N	1150.23	13	77°12'48,920" E	43°15'40,215" N	1120.14
5	77°12'38,333" E	43°15'38,296" N	1138.92	14	77°12'50,359" E	43°15'40,558" N	1130.40
6	77°12'39,463" E	43°15'38,502" N	1131.86	15	77°12'51,661" E	43°15'40,935" N	1156.82
7	77°12'40,800" E	43°15'38,845" N	1126.22	16	77°12'52,998" E	43°15'41,106" N	1162.59
8	77°12'42,102" E	43°15'39,084" N	1125.82	17	77°12'54,128" E	43°15'41,312" N	1177.16
9	77°12'43,369" E	43°15'39,324" N	1122.45	18	77°12'55,225" E	43°15'41,551" N	1192.66
Profile 2							
1	77°13'00,040" E	43°15'34,459" N	1209.99	10	77°12'47,054" E	43°15'32,026" N	1135.30
2	77°12'58,053" E	43°15'34,082" N	1191.94	11	77°12'45,889" E	43°15'31,820" N	1134.40
3	77°12'56,408" E	43°15'33,808" N	1177.03	12	77°12'44,484" E	43°15'31,512" N	1133.16
4	77°12'55,003" E	43°15'33,602" N	1158.55	13	77°12'43,148" E	43°15'31,272" N	1137.20
5	77°12'53,736" E	43°15'33,362" N	1155.11	14	77°12'41,812" E	43°15'31,067" N	1137.83
6	77°12'52,262" E	43°15'33,122" N	1144.55	15	77°12'40,612" E	43°15'30,792" N	1143.43
7	77°12'50,994" E	43°15'32,814" N	1139.30	16	77°12'39,276" E	43°15'30,518" N	1166.14
8	77°12'49,692" E	43°15'32,540" N	1135.74	17	77°12'37,974" E	43°15'30,347" N	1180.38
9	77°12'48,390" E	43°15'32,300" N	1133.13	18	77°12'36,535" E	43°15'29,999" N	1207.01
Profile 3							
1	77°12'39,499" E	43°15'19,755" N	1244.11	10	77°12'53,684" E	43°15'22,541" N	1156.01
2	77°12'41,107" E	43°15'20,074" N	1223.20	11	77°12'55,025" E	43°15'22,828" N	1155.33
3	77°12'42,994" E	43°15'20,439" N	1195.99	12	77°12'56,387" E	43°15'23,072" N	1159.39
4	77°12'44,715" E	43°15'20,773" N	1170.11	13	77°12'57,788" E	43°15'23,355" N	1176.20
5	77°12'46,509" E	43°15'21,122" N	1151.90	14	77°12'58,944" E	43°15'23,560" N	1185.08
6	77°12'48,180" E	43°15'21,456" N	1154.45	15	77°13'00,088" E	43°15'23,804" N	1201.11
7	77°12'49,686" E	43°15'21,749" N	1153.97	16	77°13'10,244" E	43°15'24,010" N	1217.13
8	77°12'51,186" E	43°15'22,047" N	1153.41	17	77°13'20,015" E	43°15'24,151" N	1228.01
9	77°12'52,512" E	43°15'22,304" N	1151.24	18	77°13'20,735" E	43°15'24,305" N	1238.29

A key distinguishing feature confirming this event as a mudflow rather than a landslide is the presence of boulder deposits along the upper edge of the flow. Given the relatively low channel gradients, a landslide would have completely filled the river valley with its mass, which is not observed in this case. There are no historical records of such a colossal mudflow catastrophe, suggesting that the event occurred thousands of years ago.

The aftermath of this prehistoric mudflow includes the formation of an enormous alluvial fan, now occupied by the city of Talgar and numerous other settlements across an area of at least 400 km².

The exact genesis of this event remains speculative, but the regional conditions, particularly its proximity to one of the largest glaciated high-altitude centers in the Ile Alatau (Talgar Peak, 4979 m), suggest the involvement of both seismic and glaciological factors. This region is characterized by active seismic faults and extensive glaciation, which could have triggered ice-rock avalanches that transformed into mudflows, similar to the 1970 Huascarán event in Peru [13, 14].

Importantly, arguments presented by the authors regarding this ancient mudflow were not considered during the design of the mudflow protection dam on the Talgar River, as no existing engineering regulations accounted for such extreme events.

Conclusion. Over the past several millennia, the geological history of the Ile Alatau has been shaped by massive landslides and mudflow disasters triggered by strong earthquakes.

There remains the possibility of a breaching of the dammed lakes in the event of the collapse of large seismogenic landslides into the water area and further negative developments with the displacement of water from the basins. This study has established that landslide deposits formed by major seismic events have been extensively developed, with dozens of major recreational, commercial, and infrastructure projects now operating in mountain valleys. Many of these structures are located in areas of heightened landslide and mudflow risk, often without proper consideration of the geological hazards.

A particularly critical finding from this research is the discovery of the ancient giant mudflow in the Talgar River valley, which occurred several thousand years ago. The scale of this event – in terms of cross-sectional area, average depth, and peak discharge – surpasses all known mudflows in the Ile Alatau. Irrefutable evidence of this ancient mudflow includes maximum flow level markers on the valley slopes, represented by large boulders deeply embedded in the ground. The mudflow formed a massive alluvial fan, which was later inhabited and developed by settlements, agricultural land, and infrastructure.

Currently developed engineering protection plans for the region do not account for seismogenic landslides and mudflows. This highlights an urgent need to develop methodologies for assessing and calculating the quantitative characteristics of seismogenic landslides and mudflows, making it one of the most pressing research priorities.

When conceptually formulating the authors' vision of the development pathways for a methodology to assess the quantitative characteristics of seismogenic landslides and debris flows, several important aspects should be noted. At present, predictive quantitative assessments of seismogenic landslides and debris flows are lacking due to the high uncertainty surrounding the occurrence of such events. However, by employing the method of analogs, it becomes possible to identify potential locations and scales of seismogenic phenomena in the event of a recurrence of large earthquakes.

For instance, the Verny earthquake of 1887 ($M = 7.3$) triggered widespread seismogenic landslides and debris flows, with a total volume amounting to 440 million cubic meters. The main seismotectonic dislocations occurred along active tectonic faults, the locations of which are well known and have been mapped. Therefore, in the case of large earthquakes comparable to or exceeding the Verny event in magnitude, the occurrence of widespread landslides and debris flows can be expected. This, in turn, enables the modeling of such phenomena and the formulation of long-term forecasts.

Large-scale landslides may occur as a result of seismotectonic dislocations on the slopes of mountain river valleys. Particularly hazardous situations may arise from river blockages and the collapse of large volumes of material into mountain lakes, potentially leading to lake outburst floods.

Strong earthquakes can also trigger glacier collapses or accelerate glacial surges. Empirical evidence demonstrates that such phenomena can be identified through the use of monitoring techniques and remote sensing methods.

Funding. This research was conducted with financial support from the Committee of Science of the Ministry of Science and Higher Education of the Republic of Kazakhstan under the project “Scientific and applied justification of mudflow, landslide, and avalanche safety in the mountainous regions of the Ile and Zhetysay Alatau, Republic of Kazakhstan”. Program-targeted funding No. BR21881982.

REFERENCES

- [1] Gorbunov A. P. On the age of the Big Almaty Lake in the Zailiyskiy Alatau // Proceedings of the Academy of Sciences of the Kazakh SSR. Geological Series. 1979. No. 4. P. 25-29 (in Russ.).
- [2] Stepanov B. S., Khaidarov A. Kh., Yafyazova R. K. Occurred and potential post-seismic disasters in the Northern Tien Shan: Problems of preventing the consequences of destructive earthquakes // Proceedings of the Second Kazakhstan-Japan Seminar. September 23-25, 2002. Almaty: Evero, 2003. P. 88-94 (in Russ.).
- [3] Yafyazova R. K. The nature of mudflows in the Zailiyskiy Alatau. Adaptation problems. Almaty, 2007. 158 p. (in Russ.).
- [4] Mochalov V. P., Popov N. V., Talanov E. A. Assessment of the volume of loose clastic deposits above the dam of the Big Almaty Lake // Bulletin of KazNU. Geographical Series. 2000. No. 1(10). P. 26-34 (in Russ.).
- [5] Khegai A. Yu., Popov N. V., Kozmynikh E. R. Anti-mudflow service in Kazakhstan. Alma-Ata, 1990. 31 p. (in Russ.).
- [6] Zems A. E. Some quantitative characteristics of the Zharsai mudflow of 1963 on the Issyk River // Mudflow Streams. Moscow, 1976. No. 1. P. 75-85 (in Russ.).
- [7] Kalmykina E. M., Gorbunov A. P. Causes of occurrence and relief-forming role of the Issyk mudflow of July 7, 1963 // Proceedings of the USSR Academy of Sciences. Geographical Series. 1967. P. 85-90 (in Russ.).
- [8] Medeu A. R., Blagoveshchenskiy V. P., Gulyayeva T. S., Zhdanov V. V., Ranova S. U. Hazard of seismically induced exogenous processes in mountainous regions of Kazakhstan. Almaty, 2017. 83 p. (in Russ.).
- [9] Mushketov I. V. Vernensky earthquake of May 28 (June 9), 1887 // Proceedings of the Geological Committee. 1890. Vol. X, No. 1. 154 p. (in Russ.).
- [10] Blagoveshchenskiy V. P., Medeu A. R. Experience of mudflow protection in Kazakhstan. <https://territoryengineering.ru/bez-rubriki/opyt-zashchity-ot-selej-v-kazahstane/> (in Russ.).
- [11] Nurmagambetov A. Seismic history of Almaty. Almaty, 2015. 69 p. (in Russ.).
- [12] Surface water resources. 1970. Vol. 13, issue 2. 645 p. (in Russ.).
- [13] Lliboutry L., Morales A. B., Pautre A., Schneider B. Glaciological problems set by the control of dangerous lakes in Cordillera Blanca, Peru. I. Historic failure of morainic dams, their causes and prevention // J. Glaciol. 1977. Vol. 18. P. 239-254.
- [14] Evans S. G., Bishop N. F., Smoll L. F., Murillo P. V., Delaney K. B., Oliver-Smith A. A reexamination of the mechanism and human impact of catastrophic mass flows originating on Nevado Huascarán, Cordillera Blanca, Perú, in 1962 and 1970 // Engineering Geology. 2009. Vol. 108. P. 96-118.
- [15] <https://industrial-disasters.ru/disasters/vajont-dam/>
- [16] Medeu A., Naizabekov B. Features of landslide processes manifestation in the mountainous regions of Tien Shan and Dzhungarian Alatau. Problems of mountain nature management. Part 3. Barnaul, 1989. P. 63-79 (in Russ.).
- [17] Bochkarev V. P., Medeuov A.R. Slope processes in the mountains of South-Eastern Kazakhstan // Engineering Geology. Moscow, 1990. No. 6. P. 63-79 (in Russ.).

Н. В. Попов¹, С. У. Ранова², А. Н. Камалбекова^{*3}

¹ География ғылымдарының кандидаты, бас ғылыми қызметкер
(«География және су қауіпсіздігі институты» АҚ, Алматы, Қазақстан; popovn@mail.ru)

² География ғылымдарының кандидаты, зертхана меңгерушісі
(«География және су қауіпсіздігі институты» АҚ, Алматы, Қазақстан; sandu2004@mail.ru)

^{3*} PhD докторант, кіші ғылыми қызметкер (Әл-Фараби атындағы ҚазҰУ,
«География және су қауіпсіздігі институты» АҚ, Алматы, Қазақстан; aidana.kamalbekova@gmail.com)

ІЛЕ АЛАТАУЫНДАҒЫ СЕЙСМОГЕНДІК ҚҰБЫЛЫСТАР

Аннотация. Іле Алатауының салыстырмалы түрде жаңа геологиялық тарихында ірі жер сілкіністері жер бетінің бұзылуына және орасан зор сейсмогендік көшкіндер мен селдерге әкелді. Авторлардың осы оқиғаларды ретроспективті талдауы және қолданылған заманауи зерттеу әдістері аймақтағы сейсмогендік көшкіндер мен сел тасқындарының жасын негізді түрде бағалауға және олардың ауқымын бағалауға мүмкіндік берді, бұл тау бөктерлерін одан әрі игеру кезінде осындай ауқымды апаттарды ескеру қажеттігін көрсетеді. Өңірдегі аумақтардың, объектілердің және тұрғындардың қауіпсіздігін зерттеу және бағалау кезінде облыстың Қазақстанның ең сейсмикалық белсенді аймағында орналасқанын және күшті жер сілкінісі салдарынан болатын алып көшкіндер мен сел тасқындарының қауіп объективті шындық екенін ескеру қажет. Алдыңғы зерттеулердің нәтижелерін талдау осы табиғи апаттардың уақытында және олардың сандық сипаттамаларын

бағалау әдістерінде олқылықтарды анықтады. Сонымен қатар, ұшқышсыз ұшатын аппараттардың (ұшқышсыз ұшу аппараттарының) мәліметтерін, заманауи бағдарламалық кешендерді, сондай-ақ қатты ағынды және сел шөгінділерін бағалаудың морфометриялық әдісін пайдалана отырып, жүздеген және мыңдаған жылдар бұрын болған ежелгі табиғи апаттардың сандық сипаттамалары нақтыланды. Бұрын әртүрлі басылымдарда жарияланған сирек кездесетін апатты геологиялық құбылыстардың мерзімі бағаланды. Зерттелетін аумақты игеру кезінде ерекше сирек кездесетін сейсмогендік құбылыстар осы құбылыстар туралы жеткілікті білімнің жоқтығынан және жобалауға қойылатын нормативтік талаптарда олқылықтардың болуына байланысты кешенді инженерлік қорғау сызбаларында есепке алынбағаны анықталды. Анықталған олқылықтарды толтыру үшін сирек кездесетін сейсмогендік құбылыстарды одан әрі зерттеу қажет.

Түйін сөздер: жер сілкінісі, көшкін, құлау, сел, табиғи апаттар.

Н. В. Попов¹, С. У. Ранова², А. Н. Камалбекова^{*3}

¹ К. г. н., главный научный сотрудник (АО «Институт географии и водной безопасности», Алматы, Казахстан; popovn@mail.ru)

² К. г. н., руководитель лаборатории (АО «Институт географии и водной безопасности», Алматы, Казахстан; sandu2004@mail.ru)

³ *PhD докторант, младший научный сотрудник (КазНУ им. аль-Фараби, АО «Институт географии и водной безопасности», Алматы, Казахстан; aidana.kamalbekova@gmail.com)

РЕДКИЕ СЕЙСМОГЕННЫЕ ЯВЛЕНИЯ В ИЛЕ АЛАТАУ

Аннотация. В относительно недавней геологической истории Иле Алатау в результате крупных землетрясений произошли индуцированные ими нарушения земной поверхности и огромные по своим масштабам сейсмогенные оползни и сели. Выполненный авторами ретроспективный анализ указанных событий, применённые современные методы исследований позволили обоснованно оценить возраст сейсмогенных оползней и селей в регионе, а также оценить их масштаб, что предполагает необходимость учета подобных крупномасштабных катастроф при дальнейшем освоении предгорных территорий. При выполнении исследований и оценок безопасности территорий, объектов и населения в регионе необходимо принимать в расчет то, что район расположен в наиболее сейсмоактивной области Казахстана и риск образования гигантских оползней и селей, вызванных сильными землетрясениями, является объективной реальностью. Анализ результатов предыдущих исследований выявил пробелы, касающиеся времени возникновения указанных природных катастроф, а также методов оценки их количественных характеристик. Кроме того, с использованием данных съемки с беспилотных летательных аппаратов (БПЛА), современных программных комплексов, а также морфометрического метода оценки твердого стока и селевых отложений уточнены количественные характеристики древних природных катастроф, произошедших сотни и тысячи лет назад. Оценена датировка редких катастрофических геологических явлений, ранее опубликованных в различных изданиях. Установлено, что при освоении исследуемой территории в схемах комплексной инженерной защиты не учитывались выдающиеся редкие сейсмогенные явления из-за отсутствия достаточных знаний об этих явлениях и наличия пробелов в нормативных требованиях к проектированию. Для восполнения выявленных пробелов необходимы дальнейшие исследования редких сейсмогенных явлений.

Ключевые слова: землетрясение, оползень, обвал, селевой поток, природные катастрофы.

Рекреационная география и туризм

Рекреациялық география және туризм

Recreational geography and tourism

<https://doi.org/10.55764/2957-9856/2025-2-107-120.25>

IRSTI 87.35.29

39.01.11

UDC 911

A. G. Valeyev^{*1}, G. T. Issanova², K. B. Yegemberdiyeva³, A. N. Mussagaliyeva⁴, E. S. Sarybaev⁵

¹ PhD, Senior researcher (JSC «Institute of Geography and Water Security»,
Almaty, Kazakhstan; adiletv@gmail.com)

² PhD, Associate Professor, Acting Professor (Al-Farabi Kazakh National University,
Almaty, Kazakhstan; gul_nur.777@mail.ru)

³ C. g. s., Head of the Laboratory of Geotourism and Geomorphology (JSC "Institute of Geography and
Water Security", Almaty, Kazakhstan; kamshat.yegemberdiyeva@gmail.com)

⁴ PhD, Associate Professor (Al-Farabi Kazakh National University, Almaty, Kazakhstan; musagaliyeva_a@mail.ru)

⁵ PhD, Senior Lecturer (Al-Farabi Kazakh National University, Almaty, Kazakhstan; edilait@mail.ru)

ASSESSMENT OF PHYSICAL CAPACITY OF THE BEACH AND RECREATIONAL AND GEOMORPHOLOGICAL POTENTIAL OF THE SOUTH-WESTERN SHORE OF ALAKOL LAKE

Abstract. In the last decade in Kazakhstan there has been an increase in the flow of domestic tourism, with poor integration of sustainable development principles into the destination management policy. As a consequence, there is an irrational use of territories and recreational resources. The study is focused at assessing the physical capacity of beaches and recreational and geomorphological potential of the south-western coast of Lake Alakol. Having analyzed the coast using remote sensing (Planet scope, Rapid Eye (Super Dove, Sentinel 2A and Landsat – 8), it was determined that the total physical capacity of beaches of the south-west coast is equal to 75 thousand recreationists per day and 3 862 thousand per season. The length of beaches and spits used for recreation reached 21 km. Score assessment of attractiveness of relief and geomorphological risks based on the criteria, determined that the recreational and geomorphological potential of beaches of the south-west coast of Lake Alakol is optimal. The quantitative parameters of the physical capacity and recreational-geomorphological potential of beaches are proposed to be used by administrative authorities for the rational development of the lake shore.

Keywords: Beach carrying capacity, geomorphologic-recreational potential, Alakol Lake

Introduction. Alakol Lake is a major developing tourist center for beach-bathing tourism during summer period. The largest number of tourists rest on the southwestern coast in the recreational areas of Akshi and Koktuma, located in the Zhetysu region (Kazakhstan) figure 1. At the present stage, the development of domestic tourism in Kazakhstan goes through stages of the use of recreational resources of the country from episodic and local to systemic mass and international. This is supported by the adopted state tourism and regional development programs [1, 2], as well as the consequences of the Covid 19 pandemic, became the reason for active development of domestic tourism.

Over the last 10 years, the transportation, hotel and recreational infrastructure on the lake shore has improved significantly. In the summer season, daily flights and trains from major cities are launched, and the construction of a new highway Almaty-Oskemen allows comfortable access to the lake by buses and cars. The measures taken have contributed to a significant increase in tourist arrivals at the lake. According to local government estimates for 2022 on the southwest coast, the total number of tourists for the season reached more than 1.5 million people [3]. This southwestern coast is the main and most popular tourist destination.



Figure 1 – Akshi and Koktuma recreational zones (Southwest coast of the Lake)

Recreationists spend most of their time on the water body on the coastal territory [4]. Tourists occupy both prepared beaches in recreational areas and beaches located on remote parts of the coast and accumulative pebble spits without standard infrastructural conditions. Sustainable recreational activities depend on the development potential and factors affecting the quality of coastal tourism. Coastal resources that meet tourist expectations are subject to rapid development of coastal areas, which increases the anthropogenic load on the coast [5]. Uncontrolled growth of popularity of local tourist destinations in the summer period goes against the principles of rational use of natural recreational resources. Beaches are the main tourism resource in coastal destinations and any impact on the quantity and quality of beaches will affect tourism [6]. The availability of beaches and the protection of coastal zones play an important role in the development of a tourism sector that ensures the economic sustainability of municipalities. It is therefore important to manage coastal areas based on the trends and conditions of coastal zones to monitor them and determine their vulnerability over time in order to promote sustainable tourism [7]. Northern Adriatic beach ecosystems suffer from high exposure to pollutants due to port activities, aquaculture, shipping, coastal agriculture and discharges into rivers. Ecosystem services including research and analysis are proposed for sustainable management of coastal recreational resources [8]. The World Tourism Organization has identified the need to strike an appropriate balance between the environmental, economic, and socio-cultural aspects of tourism development to ensure its long-term sustainability [9]. Taking into account the limited area of the shore of Alakol Lake, suitable for beach recreation, there is a need for detailed geospatial scientific studies of the physical capacity and recreational-geomorphologic potential of the beaches of the southwestern coast. The recreational potential of beaches is determined by coastal geomorphology, so by geomorphologic analysis it is possible to estimate the physical capacity of beaches. Beaches are classified according to typology, location, shape, level of urbanization and tourism [10].

Previous works have studied the component-based integrated assessment of recreational attractiveness of landscapes of the entire basin of Alakol Lake [11, 12]. Assessment of the vulnerability of the Alakol Lake coast to modern geomorphologic processes of relief formation [12, 13], and the tourist and recreational potential of the Alakol Lake basin were made [14]. Studies have been carried out to assess the tourism and recreational potential of ecotourism in Kazakhstan [15], and the impact of beach tourism on recreational areas of Lake Alakol [11]. The conducted research is a theoretical basis and is directly related to the popularization and development of beach-bathing recreation on Alakol Lake. However, in the current conditions of chaotic land use of the coast, anthropogenic pressure on the natural stability of coastal ecosystems is increasing. Unfortunately, in Kazakhstan there is a lack of knowledge and understanding of how the principles of sustainability and sustainable development should be

integrated into national tourism policy. Misunderstanding of the concept of sustainable development is a common problem among stakeholders in the tourism sector, which hinders the achievement of sustainable Development Goals [16]. The next stage of studies of the lake coast is to determine the physical capacity of different categories of beaches and assess their recreational and geomorphological potential to identify ways of rational use of recreational resources of the coast of Alakol Lake.

Physical capacity (carrying capacity) was measured by the number of visitors or users that a physical environment can serve at a given time [17]. The physical capacity of the receiving environment has a certain forward-looking nature to warn of problems arising from land occupation [18]. The concept of carrying capacity was first developed in the field of population ecology and wildlife management, where it was defined as the number of individuals of a species that can be supported within a given habitat area. This concept has also been applied to managing visitor numbers to national parks and wildlands.

The shore in the recreational areas of Akshi and Koktuma consists of a steep coastal cliff with a height of 1 to 10 meters and a pebble beach. The cliff is a potential threat to the health and life of tourists during the beach-bathing season. On the surface of the ledge is located recreational infrastructure, due to annual abrasion, the ledge is approaching vacation homes and other facilities [19]. Given the prevailing natural and anthropogenic conditions on the coast, tools are needed to manage beaches and preserve the quality and quantity of coastal recreational resources. Therefore, the main objective of the study is to determine the physical capacity of the beach using a scientifically based method, as well as to assess the recreational and geomorphological potential of the southwestern coast.

Materials and methods. Multi-temporal Satellite data in determine of beach area of the lake. High and medium resolution space images were used to obtain the current physical characteristics of the Alakol Lake beach. Composites of Planet scope and Rapid Eye (Super Dove) space images with resolution 3 and 5 m respectively, obtained from Planet.com platform (Real-Time Satellite Monitoring with Planet), Sentinel 2A [20] with resolution 10 m, Landsat – 8 9 (United States Geological Survey) with resolution 30 m. In ArcMap 10.5, the space image composites were assigned natural RGB colors (for Planet scope bands (6,3,2,) for Sentinel bands (4,3,2) and for Landsat bands (4,3,2)) [21].

To understand the location of beach resorts, it is necessary to define the coastline and the different beach zones according to the established norms of coastal geomorphology and coastal engineering [22]. A trained image classification [23] was applied to extract the contours of the lake beach area. A beach raster was extracted from the resulting Landcover by attribute value. The beach raster was converted to vector format and spatial corrections were performed. After overlaying the vector layer of the beach area on the original Planet scope space image, the beach was zoned by location, relative to geographic objects.

ArcMap 10.5 tools were used to calculate the areas of the zoned beach areas. On the territory of the spit, which are located parallel to the beaches on the lake, a strip of land was allocated from the water's edge, which is used by tourists for recreation. According to field studies, tourists mostly use the beach from the water's edge, which is not more than 10 meters wide, rarely 15 meters. For coverage with reserve, we allocated a beach width of 20 meters as a buffer zone.

Physical Carrying Capacity Determination. The recreational physical capacity of the southwestern coast was determined based on the model proposed by Cifuentes M. This model also defines the real carrying capacity and the effective carrying capacity. In the present study, an adapted equation for estimating the physical capacity of beaches [24]. The physical capacity estimation equation is following:

$$PCC \text{ (Physical Carrying capacity)} = \frac{A}{Au} \times R_f,$$

where A – Total available beach area, Au - beach area required for one visitor; R_f – rotation factor or number of visitors per day. The determination of beach area A is described in the first paragraph of the Methods section. The beach area required for one visitor Au by different researchers ranges from 2 to 30 m² per tourist, depending on natural and socio-economic conditions.

Tentatively zoned the beach of Town of Mali Lošinj (Croatia) into 3 categories, where each was given a different Au value:

- 5 m² (2x2.5 m) within populated areas;
- for beaches outside the settlement, the Au is 8 m² (2x4 m);
- for remote beaches accessible only from the sea, the Au is 16 m² (4x4 m). Based on field studies on the beaches of Praia de Faro (Portugal) determined an optimal area of 5 to 10 m² available for each user

[25]. Most of the works repeat the average calculated value of beach area per bather, which is 5 m² [24]. In this study, this figure was taken as the normal standard design value of beach area in a recreational area per bather. Taking into account the main reason for staying on remote beaches, vacationers is the expectation of solitude, in this study it was accepted to increase the indicator of Au on the spit beach within the recreational zone to 10 m² and on remote beaches to 15 m².

Assessment of the recreational-geomorphological potential. To assess the recreational-geomorphologic potential, we used the method of calculating the attractiveness of the relief and geomorphologic risks [26, 27]. The method allows to determine the average score of attractiveness of beach-bathing recreational activity for different classes of beaches. Scoring methods based on developed criteria and their evaluation indicators are widely used in geographical studies. For example, in the evaluation of 'Coastal Scenic Evaluation System' (CSES) [28], Coastal vulnerability index [29].

Determination of the attractiveness of the relief is based on a score (numerical) assessment and includes the following principles [26]. Landscapes and culture have the highest level of motivation among tourists when visiting recreational sites [30]. In order to optimize the component evaluation of the attractiveness of the relief, evaluation criteria with scores for each parameter were developed table 1. In the study, the parameters of morphometric and intensity of coastal events [16] were supplemented with criteria reflecting the recreational natural conditions of the area. These are physical parameters beach face, skyline landforms, vistas, water color and clarity and vegetation cover. These criteria are used to evaluate Coastal Scenic proposed in studies [31].

Table 1 – Criteria for assessing the potential attractiveness of the relief of Alakol Lake coastal recreational areas

№	Site features	Physical parameters	Attractiveness		
			1 (Low)	2 (Medium)	3 (High)
1	Morphometric	Altitude	400-450	450-500	500-550
		Vertical dissection	1-2	2-6	6-10
		Slope gradient	5.5-10	1.8-5.5	0-1.8
2	Beach face	Type	Loams	Pebble/Gravel	Sand
		Width, m	Less 5	5-10	More 10
		Color	Dark	Mix (white and black) Light tan/bleached	Gold
3	Intensity of coastal events		More 5	2-5	Less 2
4	Skyline Landforms		Not visible	Flat/Undulating	Mountainous
5	Vistas		Open on two side	Open on three sides	Open on four sides
6	Water color and clarity		Milky blue/green; opaque	Green/grey blue	Clear blue/dark blue
7	Vegetation cover		Bare (< 10% vegetation only)	Scrub/grass	mature trees, bushes

Assessment criteria have been developed to assess the geomorphological risk. A risk component is identified, for each hazardous landforming process (landslide, abrasion, talus, etc.) and the degree of risk they pose to the site is established table 2. The average value is calculated by the ratio of the sum of the values of variables to the number of variables.

Table 2 – Criteria for assessing the geomorphological risk of the coast of Alakol Lake

№	Hazard – a natural phenomenon that could lead to damage (various genesis)	Risk		
		1 (Low)	2 (Medium)	3 (High)
1	Earthquakes (MSK-64(K))	Less than 6	6-8	More than 8
2	Landslides, quantity on the coast	1	2	3
3	Abrasion, m per year	Less 3	3-5	More 5
4	Coastal dynamics	Low	Medium	High
5	Landfall	Low	Medium	High
6	Talus	Low	Medium	High

The criterion values are obtained from scientific literature sources, processing of SRTM digital elevation model, and field surveys.

In the context of recreational and geomorphological studies, attractiveness of relief is defined as a complex parameter consisting of specific relief properties (morphometry, diversity, aesthetic appeal, etc.). Risk is defined as the probability of adverse impacts on life, health, property or the environment. Attractiveness and risk are assessed using composite indices ranging from 1 to 3 (low, medium and high), which include individual indicators of landform features. Similar composite assessment indices have been used to assess past and future changes in the coastal geomorphology of different UK coastal types [32]. The ratio of the results of the average scores of attractiveness and risk form, according to the author's data, the value of functional suitability of the territory for recreational purposes table 3. This value is the recreational-geomorphological potential (RGP) [26]. A flowchart of the methods for this study is shown in figure 2.

Table 3 – RGP dependence on the risk-attractiveness ratio

Risks	High (2.33–3)	1	1	4	1	Insufficient
	Medium (1.67–2.33)	2	3	3	2	Medium
	Low (1–1.67)	2	3	3	3	Optimal
		Low (1–1.67)	Medium (1.67–2.33)	High (2.33–3)	4	Extreme
				Points	RGP	

Field observation. Field works and monitoring studies were conducted on the south-western shore of Alakol Lake during the summer period in 2011, 2018-2023. They included a walking route along the coast, determination of input variables for the criteria of assessment of attractiveness of relief and geomorphologic risk of the Lake coast. This is the measurement of morphometric parameters of the Lake shore; width and relative height of beaches on the shore and spits, height of the shore cliff. Visual determination of color of accumulative sediments of the beach and lake water, skyline landforms, vistas. Monitoring of shore relief processes, abrasion and accumulation. Description of Saka burial mounds destroyed by half, as a result of abrasion of the coastal cliff.

Figure 2 shows the main stages of the study of physical capacity of beaches and assessment of recreational and geomorphological potential. Using remote sensing data, the first stage was to determine the existing physical capacity of beaches on the south-western shore of the lake. The second phase is the determination of land use changes. The final stage includes assessment of recreational-geomorphological potential on the basis of developed criteria and numerical parameters of physical capacity.

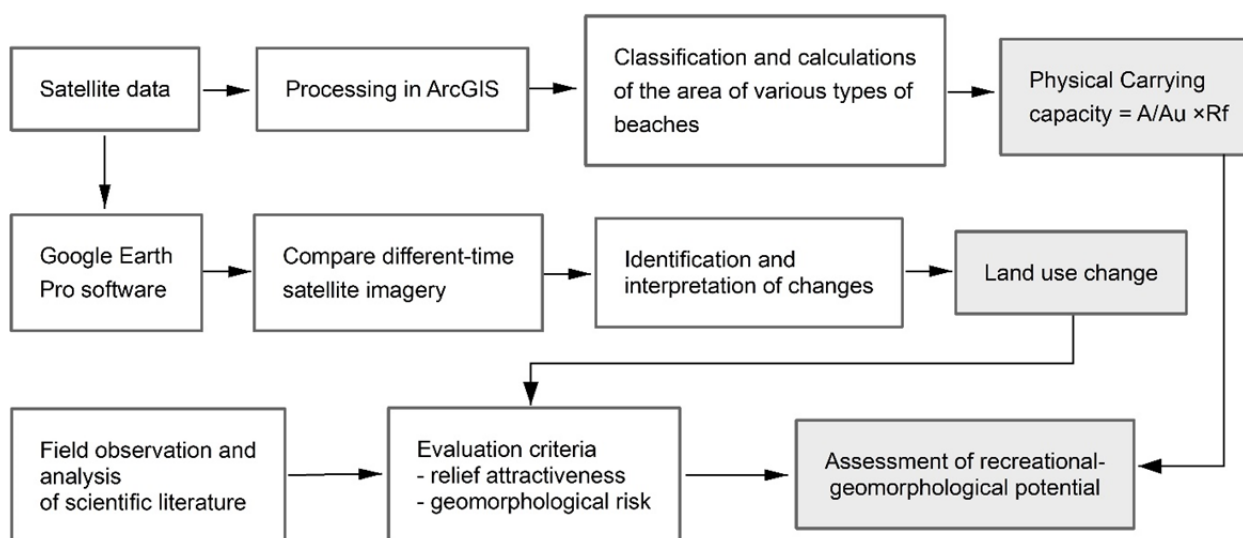


Figure 2 – Graphical scheme of the study steps

Results. Classification of beaches on the southwest shore of Alakol Lake. The total length of the beaches of the south-western coast is more than 32 km. The coastline along its entire length is characterized by varying degrees of involvement of beaches in recreational activities. The geographic location of beaches, access roads and other necessary infrastructure along the coast generally influence the degree of recreational use of beaches. Beaches located near settlements have a higher degree of recreational use, in contrast to beaches located at a distance. Based on these factors, the classification of beaches on the south-west coast of Alakol Lake was made figure 3, where 4 types of beaches are identified by location.

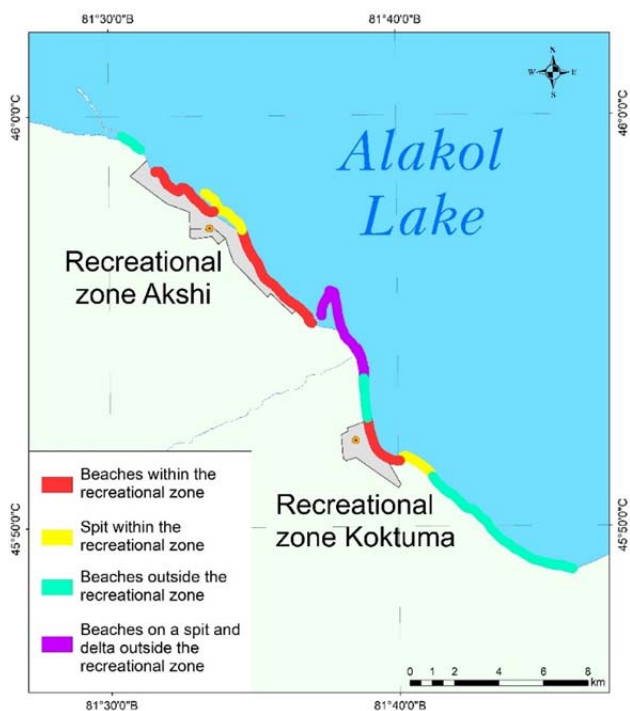


Figure 3 –
Classification of beaches
on the southwest coast of Alakol Lake

The total areas of the four beach types and the percentage of each are calculated table 4. The length of beaches within recreational zones is 11.7 km, of the total beach area they occupy 34.8 per cent of the area. The length of beaches located on spits within the recreational zones is 4.6 km, and they occupy 14.4 per cent of the beach area. The length of beaches on the shores remote from recreational zones is 11 km, with 27.9% of the total beach area. The length of the beach of the accumulative spit Kyzylagash reaches 12 km and occupies 22.9% of the total area of beaches. It is worth noting that more than 12 km of beaches (40% of the area) belong to recreational zones and are currently used for beach-bathing tourism.

Table 4 – Area and proportion of beaches by identified categories
in the recreational areas of the southwestern coast of Alakol Lake

Beach categories	Tourist recreational zone		
	Akshi	Koktuma	Σ , m ²
Beaches within the recreational zone, m ²	192.454 (58,6%)	31.289 (10%)	223.743 (34,8%)
Spit within the recreational zone, m ²	49.852 (15,2%)	42.324 (13,4%)	92.176 (14,4%)
Beaches outside the recreational zone, m ²	18.104 (5.5%)	161.312 (51,3%)	179.416 (27,9%)
Beaches on a spit and delta outside the recreational zone, m ²	67.725 (20,7%)	79.365 (25,3%)	147.090 (22,9%)
Σ , m ²	328.135	314.290	642.425

The physical capacity of the southwest coast of Alakol Lake. The coast of Alakol Lake includes abrasion and accumulative forms of relief, these are coastal abrasion cliff and beaches, spits, respectively. Abrasion shores with a beach at the base are characterized by high dynamics of coastal processing [19]. According to field studies (2018-2023) and multi-temporal satellite imagery data (2010-2023), the shapes

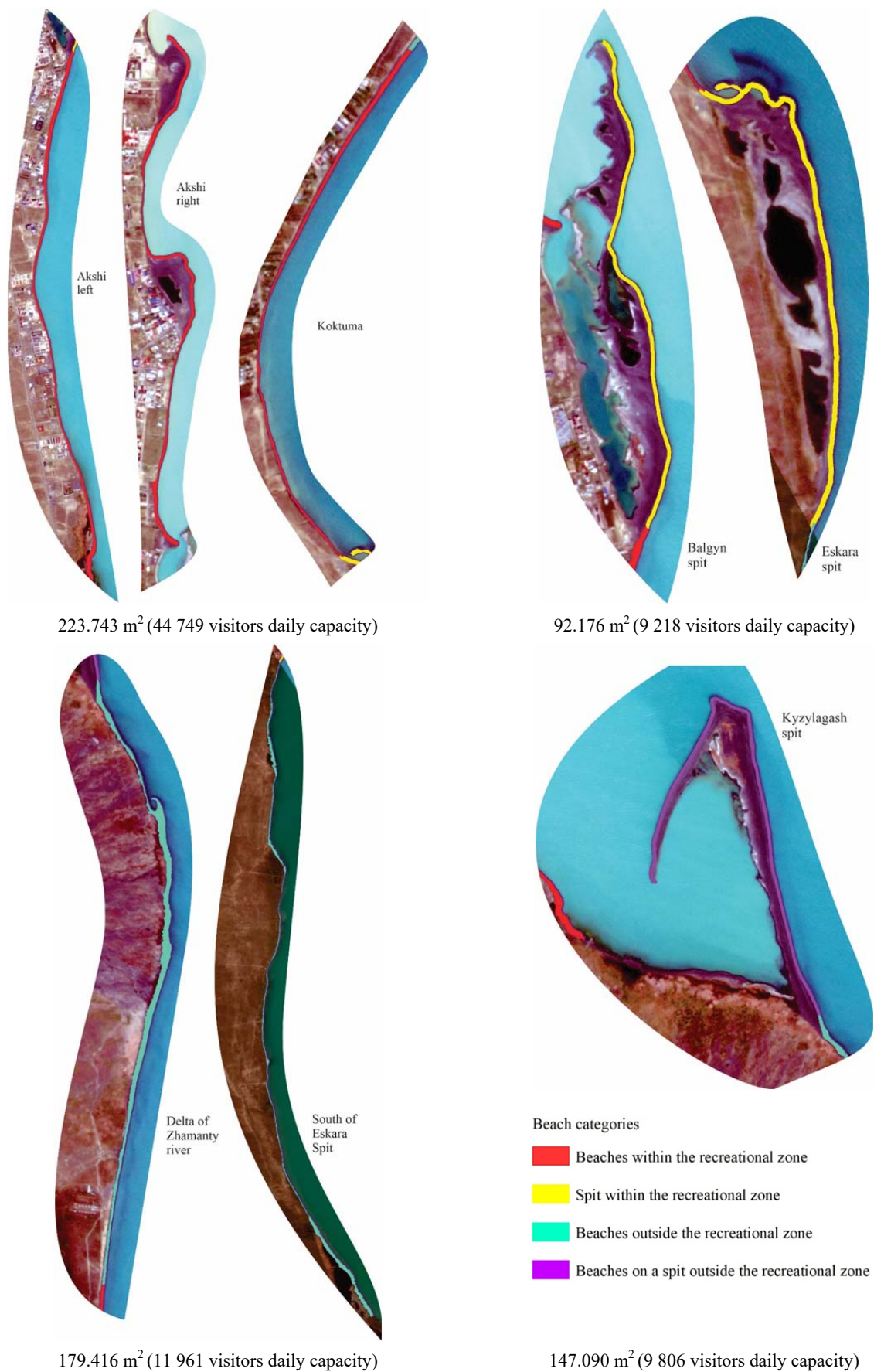


Figure 4 – Shapes and areas of beaches on the ground

of accumulative spits change significantly. Therefore, Planet scope (3 m) satellite imagery showing the terrain as of the month of May 2023 [21] was used to obtain spatial data corresponding to the present contemporary conditions. The application of the latest terrain images, allows for a reliable study of the physical carrying capacity of the southwestern shore of Lake Alakol.

Physical carrying capacity is defined as the maximum number of visits that are physically possible on a particular beach area during a given time period [17]. The results of variable (A), the total available area of all categories of beaches in the study area, are presented in table 4 and figure 4. The total area of beaches potentially suitable for beach-bathing tourism in the southwest coast is – 642425 m². Of these, *beaches within recreational zones* and located on *spits within recreational zones* account for 49.2%, and 50.8% are occupied by *beaches on the remote from recreational areas of the coast and beaches of the accumulative spit Kyzylagash*.

The indicator of beach area required per visitor (Au) was adopted separately for each of the four categories of beach on the south-east coast table 5. For each person on the beach, a separate area Au is required for each person on the beach, where satisfaction and achievement of beach comfort is an important factor. However, there is no accepted common numerical measure of the Au variable in the world. The diversity of natural conditions of different physical characteristics of beaches is the reason why scientists propose an interval of Au indicator from 2 to 30 m² per tourist.

Table 5 – Estimated physical capacity of beaches (by the number of vacationers)
by individual categories within the recreational areas of the southwestern coast of Alakol Lake

Beach categories	PCC Daily capacity (number of bathers)			PCC Seasonal capacity (number of bathers) season of 51 days		
	Akshi	Koktuma	Σ	Akshi	Koktuma	Σ
<i>Au</i> – Beaches within the recreational zone, (5 m ²)	38 491	6258	44 749	1 963 031	319 148	2 282 179
<i>Au</i> – Spit within the recreational zone, (10 m ²)	4985	4232	9218	254 245	215 852	470 098
<i>Au</i> – Beaches outside the recreational zone, (15 m ²)	1207	10 754	11 961	61 552	548 459	610 011
<i>Au</i> – Beaches on a spit and delta outside the recreational zone, (15 m ²)	4515	5291	9806	230 265	269 841	500 106
<i>PCC</i> = <i>A</i> / <i>Au</i> x <i>Rf</i> (<i>Rf</i> =1)	49 198	26 535	75 733	2 509 093	1 353 300	3 862 393

The rotation factor (Rf) is determined using the ratio of the time a beach is open for use to the average time of each beach visit [24]. Based on field observations so far, beaches are the main destination on the southwest shore of Lake Alakol. Although the spectacular North Zhetysu Alatau mountain range is located 10 kilometers away, additional developed attractive destinations and routes for tourists to visit have not yet been developed. In general, tourists come to Alakol Lake for the sake of beach-bathing recreation on the shore, so they spend all daytime on the beach. In this regard, the rotation coefficient was taken as – 1.

The results of the daily and seasonal (51 days) total physical carrying capacity of each category of beaches on the southwest coast are presented in table 5 and figure 4. Based on field observations, the main flow of tourists to the lakes coast continues from July 1 through August 20. In total, the potential physical capacity of beaches belonging to the recreational zone of Akshi is more than 49 thousand per day and for the whole season (51 days) 2509 thousand people. In the recreational zone of Koktuma more than 26 thousand per day and 1353 thousand people for the whole season (51 days) respectively.

Assessment of recreational-geomorphological potential. Component assessment of the relief attractiveness and geomorphic risk was carried out for four categories of beaches of Akshi and Koktuma recreational zones, according to the developed criteria in tables 1 and 2. The average values of the attractiveness of the Akshi and Koktuma recreational zone beaches are in the range from 2.0 to 2.18 points, and the range of the average values of the geomorphic risk is from 2.0 to 2.4 points, which corresponds to the level of Medium. Indicators of risk above the average were noted on the beaches of the recreational areas of Akshi and Koktuma, and on beaches located outside the recreational areas.

The recreational-geomorphological potential is calculated according to table 3, RGP dependence on the coefficient of attractiveness and risk. The insufficient recreational-geomorphological potential is defined in the category of beaches outside the recreational zones in Akshi figure 5. The remaining

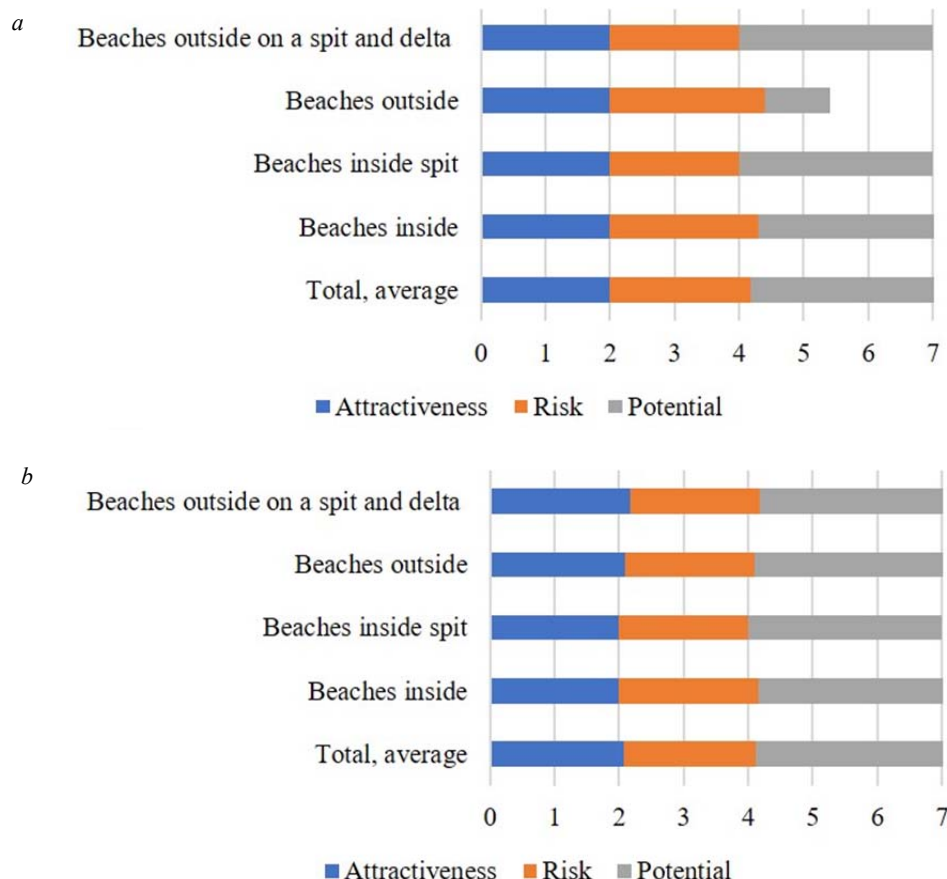


Figure 5 – Recreational-geomorphological potential of recreational zones: *a* – Akshi; *b* – Koktuma

categories of beaches on the southwest shore of Alakol Lake are defined as optimal. The category Insufficient beach in Akshi is only 5.5% of the total beach area so the total values of RGP are defined as optimal in the study area.

Discussion. Classification of beaches. Beaches in the recreational zone are most actively used by tourists, as they are close to infrastructure facilities. Within the recreational zones of Akshi and Koktuma there are accumulative pebble spits, the beaches of which are actively used in beach-bathing tourism. The advantage of the spits is their location in the depths of the water area from tens to hundreds of meters from the strip of the shore beach of the lake. In the study area the beaches on the shore areas remote from the infrastructure objects were identified. These beaches do not have any facilities, they are natural beaches of the lake. They are also very popular among tourists wishing to rest "wild" in natural conditions. The fourth class are the beaches of the Kyzylagash spit, departing from the delta of the river Zhamanty for 2 km into the lake water area. The beaches on the spit are accessible from the water area, access for ordinary motor transport is difficult due to the rugged terrain. The beaches of the spit are used by lovers of secluded recreation in natural conditions.

The result of the beach classification allowed to identify potential attractive shoreline areas for future development of beach and bathing recreation and organisation of recreational infrastructure. The total length of natural, unequipped beaches is about 20 kilometres. However, the natural conditions of such beaches, far from amenities, are popular amongst wild campers. In order to preserve nature and develop ecotourism, it is necessary to provide these beaches with basic amenities for tourists during the beach-bathing season, such as the installation of bins and toilets within walking distance of tourists.

The physical capacity. The seasonal capacity potential on the beaches of the coasts and spits within the recreational areas amounted to more than 2.7 million visitors. On the beaches remote from the settlements of Akshi and Koktuma, the potential seasonal capacity amounted to more than 1.1 million visitors. The presence of beaches near the settlements of Akshi and Koktuma, stretching for kilometers from the villages along the coast. Possessing exceptional favorable conditions in the summer season, these

are healing, mineralized lake water, pebble beaches, mountain and steppe landscapes, steppe air. They are the main resource for the development of beach and bathing recreation area on the south-western coast. As instruments of development with the support of the state for the last 10 years, highways connecting the lake with major cities have been built, railway trains and air service have been launched, communications have been brought to the coast for the construction of recreation centers near the settlements of Akshi and Koktuma. As a result, every year there is an increase in the number of visitors, at the same time there is an intensive economic development of the territory, tourism facilities are built, natural landscapes of the coast are reduced.

The calculated data of physical capacity, allow planning the rational use of recreational resources of the lake, including the coastal territory and in general adhere to the development of sustainable tourism. Sustainable recreational activity depends on the development potential and factors affecting the quality of coastal tourism [5]. On the beaches of recreational areas that meet the expectations of tourists (availability of amenities), there is rapid coastal development that increases the anthropogenic pressure on the coast.

Coastal land use change. The southwestern and eastern shores of Lake Alakol show intensive anthropogenic impacts from 2010 to 2022 (figure 6, *a* and *b*). Development of the region includes infrastructure, hotels, and beach promenades, as well as alignment of the coastal cliffs. According to the analysis of satellite images, the total development area adjacent to the lake reaches 10 km². The length of beaches and spits used for beach recreation reaches 21 km (figure 6, *a*, *b*).



Figure 6 – Change in the area of the fragment of the Aksha recreational zone: *a* – 2011; *b* – 2022

There is an annual increase in the number of tourist facilities on the coast, with both local residents and businessmen from other regions of Kazakhstan investing in the construction and provision of services. Despite a rather short favorable bathing period in the year (July, August), beach-bathing tourism on the south-western coast, has improved the socio-economic situation of the region, through the provision of seasonal employment for local residents, tax revenues to the local budget and others.

Unfortunately, with intensive economic development of the coast, there are facts of non-compliance with simple principles of rational and sustainable use of natural resources of the coastal zone of the lake. These include destruction of natural conditions of the shore ledge [13], discharge of used water into the lake water area [33], lack of zoning of coastal zone use (zones for bathing, areas for the use of watercraft, etc.), construction of recreational facilities near the coastal escarpment, without taking into account the processes of abrasion, etc.). In general, the increase in anthropogenic development of the south-western coast obviously leads to an increase in the unfavorable anthropogenic impact on the natural conditions of the coast.

In many papers, the research focuses only directly on beaches: assessing beach carrying capacity for planning sustainable tourist destinations [34], determining beach capacity for their wise use and management [25], the success of a resort depends on having an “attractive” beach [22], sustainable tourism development requires assessment and study of the main resource to be “exploited” – the beach [6]. However, the results of this study revealed the impact of beaches and their potential physical capacity on anthropogenic alteration of coastal landscapes. Speaking about the value of beaches, in general, conducting studies, it is necessary to include all elements of the coast in the assessment. In the case of the shores of Akshi and Koktuma villages, these are the beach, the coastal escarpment and the surface above the coastal escarpment. Based on the potential of the physical capacity of the beach, there will be a direct

dependence of anthropogenic changes on all elements of the shore. And as practice shows significant loads from anthropogenic impact are experienced by the land area up to the beach, but at the same time visitors spend the main time on the beach.

One example of irrational land use of the coast is the destruction of the coastal escarpment and the mounds located on them - archaeological monuments, for the construction of recreational infrastructure. An archaeological site of the era of early nomads (the 1st millennium BC) was located on the south-western coast, representing a group of more than 30 mounds of various sizes (figure 7, *a*, *c*, *d*, *e*). Currently, the mounds are almost completely leveled with the ground surface. The territory with the mounds is allocated for infrastructural development, as well as for beach tourism development.

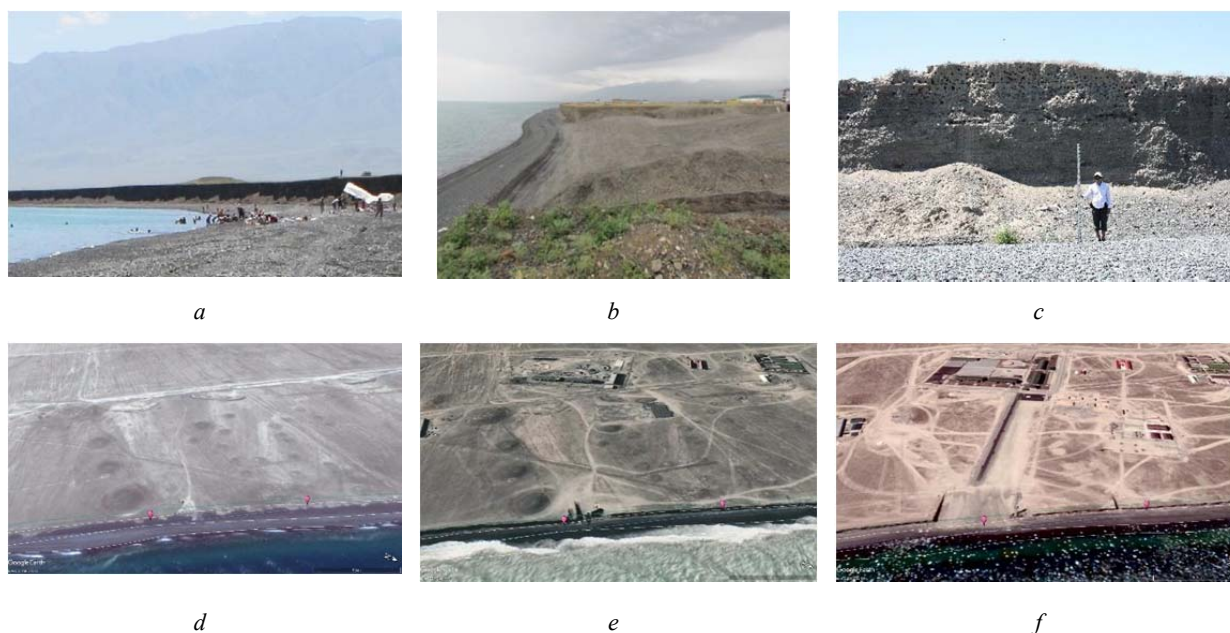


Figure 7 – Negative anthropogenic impact on archeological sites (the 1st millennium BC) – mounds located in the territory of a recreational zone of the Akshi village (south-west coast, 45°56'30" N, 81°35'20" E):

- a* – a mound with a diameter of 25 m in the study area the picture was taken in 10.07 2011;
- b* – an artificially flattened coastal ledge on which there was a mound, a picture of 6.06 2018;
- c* – a mound cut off by the abrasion process, 10.07 2011; man-made alteration of the coastal land on which there was a group of mounds; *d* – 2011; *e* – 2015; *f* – 2017 (Google Earth Pro)

With the rational use of recreational resources of the coast, it was possible to preserve an archaeological monument of Iron Age history. This site could claim to be a historical landmark and become a part of the development of sustainable tourism on the southwest coast of Lake Alakol. The limitations of the study are the active dynamics of relief formation of the coastal area. The shapes of beaches and their areas under the influence of various natural processes are in constant change. There is a decrease in beach area and length of spits, as well as an increase in beach width and size of spits. Therefore, the relevant data in the study are the results of beach areas as of 2022. In the future, the beach areas are likely to change, so the physical capacity values should be adjusted based on the current beach parameters. At the same time, the results are of great importance as a useful tool for planning the infrastructural development of the coast, preventing the negative impact of tourism on the environment and rational use of coastal resources.

Conclusions. The article is devoted to the assessment of the physical capacity of beaches and recreational-geomorphological potential of the south-western coast of Alakol Lake. This topic has high relevance in the light of sustainable tourism development in Kazakhstan and rational use of natural resources. The study, based on remote sensing methods and quantitative assessments of recreational potential, contributes to the scientific discussion on recreational pressure on natural areas.

Despite the high tourist and recreational potential, the beaches of the southwestern coast have limits of physical capacity. The territory of beaches is limited by the area suitable for recreation. At the same time, the assessment of the recreational-geomorphological potential of the territory showed an optimal

level. Therefore, the obtained quantitative data on the physical capacity of the beach and evaluation of the recreational and geomorphological potential on the basis of scientific research, are tools for the effective management and development of beach and swimming tourism on the southwest coast of Alakol Lake.

Calculated results of the seasonal physical capacity of beaches and spits allowed us to define the free capacity of recreationists in the number of more than 1 200 thousand people for the whole season or 24 thousand people per day within the limits of Akshi and Koktuma recreation zones. This confirms the significant recreational potential of the beaches of the south-west coast, given the involvement of remote beaches and spits in recreational activities. However, the factor of increasing the capacity of transport infrastructure on the south-west coast should be taken into account. These measures will contribute to a significant increase in the number of tourists on the lake. Therefore, it is necessary to carry out parallel development of recreational infrastructure on the lake shore based on the principles of sustainable development to meet the needs of the annually increasing flow of tourists. Preventive recreational infrastructure measures will allow rational use of the coast of Alakol Lake.

The relief of the coast significantly affects the tourist and recreational potential. The study confirms the relevance of studying the relationship between tourism development and relief. Subsequent studies of recreational capacity of the south-west coast of Alakol Lake should cover the parameters of real and effective capacity, as well as the definition of norms and standards of recreational capacity of beaches of the south-west coast of Alakol Lake. The results of the study of physical capacity and assessment of recreational-geomorphological potential are of scientific and applied interest for the implementation of sustainable development approaches and rational land use in the development of beach-bathing tourism.

Funding. This research was funded by the Science Committee of the Ministry of Education and Science of the Republic of Kazakhstan (Grant No. AP 15473145).

Acknowledgements: We thank the editor and unknown reviewers of the journal «Geography and water resources» for checking the manuscript and valuable comments. The comments allowed to improve the quality of the manuscript considerably and to bring the manuscript to the standard of a full scientific article.

REFERENCES

- [1] State programme of development of tourism industry of Kazakhstan for 2019-2025 years. [Electronic resource]. 2006. – URL: <https://adilet.zan.kz/rus/docs/P1900000360> (date of reference: 16.02.2023).
- [2] On approval of the Concept of development of tourism industry of the Republic of Kazakhstan until 2023. [Electronic resource]. 2017. – URL: <https://adilet.zan.kz/rus/docs/P1700000406> (date of reference: 16.02.2023).
- [3] Serikbayeva Alla. 1.5 million people had a rest this summer on the Alakol coast // International Information Agency 'Kazinform'. [Electronic resource]. 2022. – URL: https://www.Inform.Kz/Ru/1-5-Mln-Chelovek-Otdohnuli-Etim-Letom-Na-Alakol-Skom-Poberezh-E_a3982900 (date of reference: 24.11 2022)
- [4] Dirin D. A., Madry C. (2019). Assessment methods of recreational potential of water objects // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, 381(1). P. 1-6 <https://doi.org/10.1088/1755-1315/381/1/012019>
- [5] Arinta D., Deffinika I., Arif M., Putri I. W. (2022). Quality and carrying capacity of beaches for recreational activities in Ampelgading district, Malang Regency, Indonesia: high or low? // Geo Journal of Tourism and Geosites, 40(1), 64-70.
- [6] López-Dóriga Sandoval, Uxia, Jiménez, José Valdemoro, Herminia Nicholls, Robert (2019). Impact of sea-level rise on the tourist-carrying capacity of Catalan beaches // Ocean and Coastal Management. 170. 40-50. <https://doi.org/10.1016/j.ocecoaman.2018.12.028>.
- [7] Murillo N., Pérez-Cayeiro M. L., Del Río L. (2023). Ecosystem carrying and occupancy capacity on a beach in southwestern Spain // Ocean & Coastal Management, 231, 106400.
- [8] Depellegrin D., Llambrich C. M., Roy S., Anbleyth-Evans J., Bongiorno L., Menegon S. (2023). Risk-based analysis of recreational ecosystem services supply and demand in beach areas of the Adriatic Sea // Ocean & Coastal Management, 243, 106725.
- [9] World Tourism Organization [Electronic resource]. 2006. – URL: <https://www.unwto.org/sustainable-development> (date of reference: 12.06.2024).
- [10] Rodella I., Corbau C., Simeoni U., Utizi K. (2017). Assessment of the relationship between geomorphological evolution, carrying capacity and users' perception: Case studies in Emilia-Romagna (Italy) // Tourism Management, 59, 7-22. <https://doi.org/10.1016/j.tourman.2016.07.009>
- [11] Mukayev, Gumilyev. (2020). Assessment of the tourist recreation capacity of lake Alakol basin. GeoJournal of Tourism and Geosites, 30(2), 875-879. <https://doi.org/10.30892/gtg.3>
- [12] Kairova S. G., Essimova D. D., Malikova F. M. (2018). Sustainable Ecological Tourism Development in the Republic of Kazakhstan: Problems and Prospects // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, 204(1). <https://doi.org/10.1088/1755-1315/204/1/012014>

- [13] Medeu A., Valeyev A., Akiyanova F., Lyy Y., Issanova G., Ge Y. (2023). Assessment of the Vulnerability of the Coast of Lake Alakol to Modern Geomorphological Processes of Relief Formation // *Land*, 12(7). <https://doi.org/10.3390/land12071475>
- [14] Aktymbaeva A.S., Taukebaeva M.T. (2015). Geo-ecological characteristics and assessment of tourist and recreational potential of Alakol region // *News of Kazakhstan Science*. 2, P. 83-104.
- [15] Iskakova K., Bayandinova S., Aliyeva Zh., Aktymbaeva A., Baiburiev R. *Ecological Tourism in the Republic of Kazakhstan*. Springer: Cham, Switzerland, 2021. <https://link.springer.com/book/10.1007/978-3-030-77462-2>
- [16] Yrza B., Filimonau V. (2022). Integrating sustainability in destination management plans and policies of a post-Soviet state // *Tourism Planning and Development*, 19(4), 316-338. <https://doi.org/10.1080/21568316.2021.1875037>
- [17] Miguel Cifuentes Arias, et al. (1999). Capacidad de carga turística de las áreas de uso público del Monumento Nacional Guayabo, Costa Rica (p. 75). WWF Centroamérica. https://awsassets.panda.org/downloads/wwfca_guayabo.pdf
- [18] Tejada M., Malvárez G. C., Navas F. (2009). Indicators for the Assessment of Physical Carrying Capacity in Coastal Tourist // In Source: *Journal of Coastal Research*: Vol. II (Issue 56). <http://www.jstor.org/stable/25737969> http://www.jstor.org/stable/25737969?seq=1&cid=pdf-reference#references_tab_contents
- [19] Valeyev A. G., Akiyanova F. Zh., Abitbayeva A.D., Khalykov Ye. Ye., Togys M. M. (2019). Development of abrasion shores of Alakol Lake according to the field research materials // *News of National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan*, 1(433), 195-205. <https://doi.org/10.32014/2019.2518-170X.24>
- [20] The Copernicus Open Access Hub. [Electronic resource]. 2023. – URL: <https://scihub.copernicus.eu/dhus/#/home> (date of reference: 24.11 2023)
- [21] Understanding PlanetScope Instruments. [Electronic resource]. 2023. – URL: <https://developers.planet.com/docs/apis/data/sensors/> (date of reference: 24.11 2023)
- [22] Wong P. P. (1990). The Geomorphological Basis of Beach Resort Sites-Some Malaysian Examples // In *Ocean & Shoreline Management*. 13. 127-147. [https://doi.org/10.1016/0951-8312\(90\)90044-I](https://doi.org/10.1016/0951-8312(90)90044-I)
- [23] Krista M., Bettinger P., Crosby M., Boston K. (2022). *Geographic Information System Skills for Foresters and Natural Resource Managers*. Elsevier. Amsterdam. 396 p. <https://doi.org/10.1016/C2020-0-03530-9>
- [24] Grofelnik H. (2020). Assessment of acceptable tourism beach carrying capacity in both normal and covid-19 pandemic conditions – case study of the town of mali lošinj // In *Hrvatski Geografski Glasnik* (Vol. 82, issue 2, p. 131-152). Croatian Geographical Society. <https://doi.org/10.21861/HGG.2020.82.02.05>
- [25] Zacarias D. A., Williams A. T., Newton A. (2011a). Recreation carrying capacity estimations to support beach management at Praia de Faro, Portugal // *Applied Geography*, 31(3), 1075-1081. <https://doi.org/10.1016/j.apgeog.2011.01.020>
- [26] Blinova I., Bredikhin A. (2013). Assessment of geomorphological risks and attractiveness for recreational purposes in areas with high contemporary relief dynamics // *Landslide Science and Practice: Risk Assessment, Management and Mitigation*, 6, 427-434. https://doi.org/10.1007/978-3-642-31319-6_57
- [27] Mishurinsk D. V., Bredikhin A. V. (2019). Comprehensive assessment of the recreational-geomorphological potential of the coasts of the white and baltic seas // *Geomorfologiya*, 2019, January (1), 38-47. <https://doi.org/10.31857/S0435-42812019138-47>
- [28] Er-ramy N., Nachite D., Anfuso G., Williams A. T. (2022). Coastal Scenic Quality Assessment of Moroccan Mediterranean Beaches: A Tool for Proper Management // *Water* (Switzerland), 14(12). <https://doi.org/10.3390/w14121837>
- [29] Kovaleva O., Sergeev A., Ryabchuk D. (2022). Coastal vulnerability index as a tool for current state assessment and anthropogenic activity planning for the Eastern Gulf of Finland coastal zone (the Baltic Sea) // *Applied Geography*, 143. <https://doi.org/10.1016/j.apgeog.2022.102710>
- [30] Xiao X., Gao J., Lu J., Li P., Zhang Y. (2023). Social carrying capacity and emotion dynamics in urban national parks during the COVID-19 pandemic // *Journal of Outdoor Recreation and Tourism*, 41. P. 1-10. <https://doi.org/10.1016/j.jort.2021.100451>
- [31] Ergin A., Karaesmen E., Micallef A., Williams A. T. (2004). A new methodology for evaluating coastal scenery: fuzzy logic systems // *Area*. 36. 367-386. <https://doi.org/10.1111/j.0004-0894.2004.00238.x>
- [32] Masselink G., Russell P., Rennie A., Brooks S., Spencer T. (2020). Impacts of climate change on coastal geomorphology and coastal erosion relevant to the coastal and marine environment around the UK // *MCCIP Science Review*. 2020, 158-189. <https://doi.org/10.14465/2020.arc08.cgm>
- [33] In Almaty region may suspend the work of the hotel that discharged sewage water into Alakol. Electronic resource, 08.08 2019. https://www.kt.kz/rus/state/v_almatinskoy_oblasti_mogut_priistanovit_rabotu_1377887754.html (date of address 27.11 2023)
- [34] Rodella I., Corbau C., Simeoni U. (2017). The relationship between beach geomorphology and sustainable tourism in sandy beaches: a case study of Rosolina mare littoral (Veneto region) / In C. Conese (Ed.) // *Sixth International Symposium “Monitoring of Mediterranean coastal areas: problems and measurement techniques”* (p. 275-284). FUP.

А. Г. Валеев^{*1}, Г. Т. Исанова², К. Б. Егембердиева³, А. Н. Мусагалиева⁴, Е. С. Сарыбаев⁵

¹ PhD, аға ғылыми қызметкер ("География және су қауіпсіздігі институты" АҚ,
Алматы, Қазақстан; adiletv@gmail.com)

² PhD, доцент, профессордың міндетін атқарушы (Әл-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университеті,
Алматы, Қазақстан; gul_nur.777@mail.ru)

³ Г. ғ. к., геотуризм және геоморфология зертханасының жетекшісі
(«География және су қауіпсіздігі институты» АҚ, Алматы, Қазақстан; kamshat.yegemberdiyeva@gmail.com)

⁴ PhD, қауым. проф. (Әл-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университеті,
Алматы, Қазақстан; musagaliyeva_a@mail.ru)

⁵ PhD, аға оқытушы (Әл-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университеті, Алматы, Қазақстан; edilait@mail.ru)

АЛАКӨЛ КӨЛІНІҢ ОҢТҮСТІК-БАТЫС ЖАҒАЛАУЫНЫҢ ФИЗИКАЛЫҚ СЫЙЫМДЫЛЫҒЫН ЖӘНЕ РЕКРЕАЦИЯЛЫҚ-ГЕОМОРФОЛОГИЯЛЫҚ ЖАҒАЖАЙДЫҢ ӘЛЕУЕТІН БАҒАЛАУ

Аннотация. Соңғы онжылдықта Қазақстанда дестинацияларды басқару саясатына орнықты даму қағидаттарының әлсіз ықпалдасуымен ішкі туризм ағымының ұлғаюы байқалады. Нәтижесінде аумақтар мен рекреациялық ресурстарды ұтымсыз пайдалану орын алады. Зерттеу Алакөл көлінің оңтүстік-батыс жағажайлардың физикалық сыйымдылығын және жағалауының рекреациялық-геоморфологиялық әлеуетін бағалауға бағытталған. Қолдану арқылы жағалауды талдағаннан кейін қашықтықтан зондау деректері (Planet scope, Rapid Eye (Super Dove, Sentinel 2A and Landsat – 8), оңтүстік-батыс жағалауындағы жағажайлардың жалпы физикалық сыйымдылығы тәулігіне 75 мың рекреантқа және бір маусымда 3862 мыңға тең екендігі анықталды. Критерийлер негізінде рельефтің тартымдылығы мен геоморфологиялық тәуекелдердің балдық бағасы Алакөл көлінің оңтүстік-батыс жағалауындағы жағажайлардың рекреациялық-геоморфологиялық әлеуеті оңтайлы екенін анықтады. Әкімшіліктің көл жағалауын ұтымды игеру үшін жағажайлардың физикалық сыйымдылығы мен рекреациялық-геоморфологиялық әлеуетінің сандық параметрлерін пайдалану ұсынылады.

Түйін сөздер: жағажайдың рекреациялық сыйымдылығы, геоморфологиялық-рекреациялық әлеуеті, Алакөл көлі

А. Г. Валеев^{*1}, Г. Т. Исанова², К. Б. Егембердиева³, А. Н. Мусагалиева⁴, Е. С. Сарыбаев⁵

¹ PhD, старший научный сотрудник (АО "Институт географии и водной безопасности",
Алматы, Казахстан; adiletv@gmail.com)

² PhD, доцент, исполняющий обязанности профессора (Казахский национальный университет
им. аль-Фараби, Алматы, Казахстан; gul_nur.777@mail.ru)

³ К. г. н., руководитель лаборатории геотуризма и геоморфологии
(АО «Институт географии и водной безопасности», Алматы, Казахстан; kamshat.yegemberdiyeva@gmail.com)

⁴ PhD, ассоц. проф. (Казахский национальный университет
им. аль-Фараби, Алматы, Казахстан; musagaliyeva_a@mail.ru)

⁵ PhD, старший преподаватель (Казахский национальный университет
им. аль-Фараби, Алматы, Казахстан; edilait@mail.ru)

ОЦЕНКА ФИЗИЧЕСКОЙ ЕМКОСТИ ПЛЯЖА И РЕКРЕАЦИОННО-ГЕОМОРФОЛОГИЧЕСКОГО ПОТЕНЦИАЛА ЮГО-ЗАПАДНОГО БЕРЕГА ОЗЕРА АЛАКОЛЬ

Аннотация. В последнее десятилетие в Казахстане происходит увеличение потока внутреннего туризма при слабой интеграции принципов устойчивого развития в политику управления дестинациями. Это является причиной нерационального использования территорий и рекреационных ресурсов. Исследование направлено на оценку физической емкости пляжей и рекреационно-геоморфологического потенциала юго-западного побережья озера Алаколь. Проанализировав использование побережья с применением ДДЗ (Planet scope, Rapid Eye (Super Dove, Sentinel 2A and Landsat – 8), мы определили, что общая физическая емкость пляжей юго-западного побережья равняется 75 тыс. рекреантов в сутки и 3862 тыс. за сезон. Протяженность пляжей и кос, используемых в рекреации, достигла 21 км. Балльная оценка аттрактивности рельефа и геоморфологических рисков выявила, что рекреационно-геоморфологический потенциал пляжей юго-западного побережья озера Алаколь является оптимальным. Количественные параметры физической емкости и рекреационно-геоморфологического потенциала пляжей предлагается использовать для рационального освоения побережья озера.

Ключевые слова: рекреационная емкость пляжа, геоморфолого-рекреационный потенциал, озеро Алаколь.

Топонимика

Топонимика

Топонимика

<https://doi.org/10.55764/2957-9856/2025-2-121-134.26>

FTAMP: 39.29.02
ЭОЖ 913.1

Ш. У. Лайсханов¹, Д. Т. Алиаскаров², Р. Т. Тобаджанов^{*3}, Е. Д. Исаков⁴

¹ PhD, ғылым және инновациялар департаментінің директоры
(Халықаралық білім беру корпорациясы, Алматы, Қазақстан; laiskhanov@gmail.com)

² PhD, «география және экология» кафедрасының меңгерушісі
(Абай атындағы ҚазҰПУ, Алматы, Қазақстан; d.aliaskarov@abaiuniversity.edu.kz)

^{3*} «География және экология» кафедрасының докторанты
(Абай атындағы ҚазҰПУ, Алматы, Қазақстан; trt_84@mail.ru)

⁴ PhD, «география және экология» кафедрасының аға оқытушысы
(Абай атындағы ҚазҰПУ, Алматы, Қазақстан; erlan.issakov@gmail.com)

ҚАЗАҚСТАННЫҢ ФИЗИКАЛЫҚ-ГЕОГРАФИЯЛЫҚ ЕРЕКШЕЛІКТЕРІ МЕН ӨЗГЕРІСТЕРІНІҢ ТҮРКІ ТОПОНИМДЕРІНДЕ КӨРІНІС ТАБУЫ

Аннотация. Бұл мақалада түркі топонимдері Қазақстан аумағының физикалық-географиялық ерекшеліктерін және ландшафттық өзгерістерін бейнелейтін индикатор ретінде қарастырылды. Зерттеу барысында Қазақстан аумағында кездесетін оронимдер, гидронимдер, лимнонимдер, ойконим, фитонимдер мен зоонимдер, хороним, патонимдер, гелонимдердің мағыналары талданды. Ел аумағының физикалық географиялық ерекшеліктерін және ландшафттық ерекшеліктерді көрсетуде салыстырмалы географиялық, картографиялық және топонимдік әдістер қолданылды. Түркі топонимдерінің этно-мәдени және географиялық мәнін ашу арқылы олардың кеңістіктегі таралу заңдылықтары анықталды. Зерттеу нәтижелері көрсеткендей, Қазақстандағы көптеген географиялық атаулар табиғи ортаның маңызды ерекшеліктерін бейнелейді және жер бедері, су нысандары, өсімдіктер мен жануарлар дүниесі және климаттық жағдайлар туралы тарихи ақпараттың сақталуына ықпал етеді. Зерттеу барысында топонимдер арқылы қазіргі жағдайға сәйкес келмейтін ландшафт іздері анықталды. Бұл мәліметтер табиғатты қорғау және ландшафттарды қалпына келтіру шараларын жүзеге асыруда құнды ақпарат көзі бола алады.

Түйін сөздер: түркі топонимдері, Қазақстан, физикалық география, ландшафт өзгерістері, ономастика, гидронимдер, оронимдер.

Кіріспе. IV-VIII ғасырларда Орталық Азияның этникалық құрылымына хиониттер, кидариттер, эфталиттер, түріктер және арабтардың қоныс аударуы айтарлықтай өзгеріс әкелді. VI ғасырдың екінші жартысында жазба деректерде алғаш рет түріктердің Орталық Азия аумағында болғаны туралы мәліметтер кездеседі. Осы уақыттан бастап VIII ғасырға дейін түріктердің ең белсенді қозғалысы байқалады. Олар біртіндеп шығыс-иран халықтарын саяси үстемдік тұрғысынан да, қоныстану аймақтарын иелену жағынан да ығыстыра бастаған. Түріктердің қоныс аудару кезеңдері VI-VIII, X-XII және XV-XVI ғасырлар аралығында бірнеше рет қайталанған. Алғашқы кезеңге дейін, яғни I мыңжылдықтың бірінші жартысындағы жазба деректер мен монеталық жазуларда бірде-бір түрік сөзі, атағы, есімі немесе жер атауы кездеспейді. Егер сол уақытта бұл өңірде түркі халқы көптеп өмір сүрген болса, мұндай деректердің міндетті түрде сақталып қалуы мүмкін еді [1].

Ерте орта ғасырларда түркі халқының басқа топтары қоныс аударуымен байланысты түркі топонимдері өңірдің ортағасырлық топонимиясының екінші бөлігін құрады. Бұл кезеңде географиялық атаулардың едәуір бөлігін шығыс-ирандық тілдерден шыққан топонимдер құраған. Мысалы, тек Қырғызстан аумағында антикалық дәуірден бастап XII ғасырға дейінгі тарихи деректерден белгілі 300-ге жуық ежелгі географиялық атау анықталған. XI ғасырдың басынан бастап, яғни Саманидтер мемлекетінің құлдырауы мен түркітілдес халықтардың Орта Азия аумағын жаулап алуы басталады. Осы уақыттан бастап Соғды мен Ферғана аймақтарына түркілердің жаппай қоныстану үдерісі жүріп, бұл топонимдердің трансформациясын күшейтті [2].

Түркі лексикалық мұрасы Еуропа мен Азияның көптеген тілдерінде, соның ішінде топонимиясында да көрініс тапқан. Сондықтан бұл кең аймақтың, сондай-ақ Қазақстанның топонимиясын этимологиялық тұрғыдан зерттеу міндетті түрде түркі тілдік деректерге жүгінуді қажет етеді.

Орталық Азиядағы жер атауларының мәдени маңызы зор, олар қауымдастықтардың ұжымдық жады мен этностардың идентификациясын бейнелейді. Мысалы, қазақ халқының дәстүрлі экологиялық білімі оның топонимикалық жүйесінде терең тамыр жайып, оның климаттық жағдайлар мен қоршаған ортаның өзгеруі туралы түсінігін көрсетеді [3]. Сондай-ақ, топонимдерден табиғаттың әртүрлілігі, табиғи ресурстар қоры, орографиялық және гидрографиялық атаулар мен терминдер, ландшафт ерекшеліктері мен өзгерістері, климаттық жағдайлар және табиғи-дәстүрлі шаруашылықты негіздейтін сыртқы белгілер, қасиеттер мен атаулар айқын көрінеді. Бірқатар ғалымдардың [4, 5] пікірінше, бұндай зерттеулерде географиялық атауларды мәлімет көзі ретінде пайдалану мәселені шешуге көмектеседі. Ұзақ уақыт бойы бір жерде өмір сүрген тұрғындар табиғи ортаның маусымдық ерекшеліктеріне, ал жихангез ғалымдар саяхаты барысында көрген жерлердің табиғи-климаттық және соның негізінде жүзеге асатын шаруашылық ерекшеліктеріне қарай географиялық нысандарға атаулар беріп отырды. Өйткені, табиғат, климат, географиялық орналасу, тарихи жағдайлар – бұл жер атауларының пайда болуына ықпал ететін жағдайлар болып табылады [6]. Сондықтан, түркі топонимдері арқылы Қазақстанның әртүрлі аймақтарының физикалық-географиялық ерекшеліктерінің көрініс табуын зерттеуді және ортағасырлық кезең мен қазіргі кезеңдегі ландшафттарының ұқсастықтары мен ерекшеліктерін көрсетуді зерттеу мақсаты етіп қойдық. Бұл топонимдер арқылы физикалық-географиялық қырларын зерттеуге, географиялық нысандарды атау және қайта атауға негіз болатын жердің табиғи ерекшеліктерін анықтауға мүмкіндік береді [7].

Зерттеу материалдары мен әдістері. Зерттеу барысында ғылыми дереккөздер мен картографиялық еңбектерге әдеби шолу және деректерге салыстырмалы талдау жасалды. Зерттеудің негізгі әдістеріне сипаттамалық, тарихи, салыстырмалы географиялық, сипаттау, картографиялық (ареалдық), тілдік және статистикалық әдістер кіреді. Сонымен қатар, қоғам мен табиғаттың өзара әрекеттестігін танып білудің топонимдік әдісі де зерттеудің негізі ретінде қолданылды.

Бұл зерттеудің алғашқы қадамы зерттеу аймағындағы жер атауларын жинаудан басталады. Бұл атауларды әртүрлі тарихи кезеңдердегі карталардан, ғылыми және тарихи мәлімет көздерінен іздеу арқылы жүзеге асырылды. Осылайша, атаулардың аймақтық ерекшеліктерде көрінуі немесе уақыт өте келе атау солай қалғанымен, физикалық-географиялық жағдайдың өзгеруі сияқты жағдайлар зерделеніп, сипаттамасы берілді.

Қазіргі климаттық өзгеруі жағдайында ландшафттардың өзгерістерін зерттеу, сондай-ақ табиғат құрамбөліктерінің белгілі бір түрлерінің әртүрлі тарихи кезеңдердегі таралу аймақтарын зерттеу ерекше маңызға ие. Бірқатар ғалымдар мұндай зерттеулерде тарихи, салыстырмалы географиялық, статистикалық әдістерден басқа топонимдік әдіс те маңызды екендігін алға тартады. Алайда ландшафттардың географиялық аспектілерін ғылыми зерттеудің топонимдік әдісі сирек қолданылатынын айта кету керек.

Мысалы, фитонимдермен байланысты атаулардың таралуы – аймақтың ежелгі замандағы өсімдік жамылғысының байлығы мен әртүрлілігі, сондай-ақ кейбір бүгінгі күннің реликт өсімдіктерінің сақталуы туралы нақты геоэкологиялық ақпарат береді [8].

Орталық Азияның және оның ішінде Қазақстан аумағының физикалық географиясын және топонимикасын зерттеген ғалымдардың [2-3, 8-12] еңбектеріне шолу жасау арқылы топонимдер арасында аймақтың табиғи-климаттық ерекшеліктерін бейнелейтін географиялық нысандардың атауларының тізімі жасалып, олар топтастырылды.

Топонимдік зерттеулер барысында географиялық атауларды жинақтау, олардың бастапқы атауларын қалпына келтіру мәселелері көтерілді. Мұндай зерттеулердің нәтижелері географиялық атаулардың бірыңғай жүйесін жасауға, олардың кеңістіктегі орналасуын анықтауға және дерекқорды толықтыруға мүмкіндік береді.

Әдебиеттерге шолу. Түркі топонимдерінің Қазақстанның физикалық-географиялық ерекшеліктері мен өзгерістерін сипаттаудағы рөлі туралы зерттеулер көптеген ғылыми еңбектерде қарастырылған. Бұл еңбектерді шартты түрде бірнеше бағытқа бөліп қарастыруға болады:

1. Тарихи физикалық-географиялық зерттеулер. Түркі топонимдерінің қалыптасуы мен олардың кеңістіктік таралуы туралы зерттеулер ерте орта ғасырлардан бастау алады. В.В. Бартольд [2, 9-10] еңбектерінде Орта Азия мен Қазақстан аумағындағы тарихи атаулардың этно-мәдени және географиялық негіздері қарастырылды. Ғалым көптеген жер атауларының түркі халықтарының қоныстану үдерістерімен байланысты екендігін атап өтеді. Одан ертелеу Қазақстан жеріндегі топонимдер туралы мәліметтерді Махмуд Қашқари [13], Ибн Фадлан [14], Барон Гумбольдт [15] сияқты ғалымдардың еңбектерінен кезіктіруге болады. Соңғы жылдары осы бағытта зерттеу жүргізіп жүрген отандық ғалымдардан Kaïmuldinova және басқалардың [3, 16, 17], Yeginbayeva және басқалардың [18] еңбектері топонимика ғылым саласының дамуына үлес қосуда.

2. Ономастикалық, этимологиялық және лингвистикалық аспектілер. Түркі топонимдерін зерттеу барысында олардың этимологиясы мен мағыналық құрылымын талдау маңызды орын алады. Қазақ ономастикасының негізін қалаған ғалымдардың бірі Т. Жанұзақ [19-21] еңбектерінде Қазақстандағы географиялық атаулардың тарихи маңызын жан-жақты сипаттаған. Ол түркі топонимдерінің тек табиғи ерекшеліктерді ғана емес, сонымен бірге халықтың дәстүрлі білімі мен экологиялық түсініктерін көрсететінін атап көрсетеді. Сонымен қатар, осы бағытта Конкашпаевтың [22], Койчубаевтың [23], Әбдірахмановтың [24], Мурзаевтың [25], Спан және Дүйсенбаеваның [12], Көшімованың [11] еңбектерін атап өтуге болады.

3. Топонимдердің ландшафттық өзгерістерді бейнелеуі. Климаттық өзгерістер мен антропогендік факторлар Қазақстанның географиялық нысандарының қазіргі ландшафттық көрінісіне әсер етті. Кейбір топонимдер бұрынғы табиғи ортаны сипаттайтын маңызды дереккөз бола алады. Kaïmuldinova et al. [16] зерттеулерінде Балқаш-Алакөл ойпатының топонимдеріндегі табиғи өзгерістер қарастырылған. Сонымен қатар, Ivascu & Stanik [26] еңбектерінде жер атаулары арқылы тарихи ландшафт динамикасын зерттеу маңыздылығы атап өтіледі. Бірқатар ғалымдар [4, 7, 8, 26-28] мұндай өзгерістер ландшафт компоненттерінің атауларынан, яғни, оронимдер, гидронимдер, фитонимдер және зоонимдер арқылы да айқын көрініс табатынын көрсетеді.

Зерттеу нәтижелері. «Қазақстан аумағында шөл зонасынан бастап, орман зонасына дейінгі 4 табиғи зонаның айқын көрінуі, ұлан-ғайыр аумақтың 1/10 бөлігі таулы болып келуі – қазақ халқының күнделікті өмірі мен шаруашылық жағдайына тікелей әсер еткен негізгі фактор болып саналады. Елдің алуан түрлі табиғатына байланысты жергілікті жерлердің физикалық географиялық ерекшеліктерін сипаттайтын топонимдер қалыптасқан. Оларды мынадай топтарға бөлуге болады:

1. *Жер бедерін сипаттайтын топонимдер.* Аймақтың жақын жер бедерінің ерекшеліктеріне байланысты ашық (айқын) жер атауларын зерттеу барысында топонимика зерттеу құралы қызметін атқара алады. Ол тақырыптық карталар жасау, сайлар мен үңгірлерді, көшкіндерді және пайдалы кен орындарын анықтауға және зерттеуге көмектеседі. Сонымен қатар, геология ғылымындағы жер атауларының түсініксіз мағыналарын түсінуге және тілдік интерпретациялар негізінде этимологиялық гипотезаларды айқындауға көмектеседі. Бұл әдіс ұқсас жер атаулары бар орындардың геологиялық сипаттамаларына қатысты фондық және салыстырмалы физиографиялық талдауларды құрастыру арқылы жүзеге асады. Ол көптеген жер атауларының шығу тегін анықтау, оларды тану және әртүрлі қолданбалы мәселелерді шешуде елеулі әлеуетке ие [27].

Қазақстандағы көптеген табиғи аумақтық кешендер мен географиялық нысандардың атауы – олардың физикалық географиялық ерекшеліктерін көрсетеді. Мысалы, Құмды-көл – құмды жағалауы мен түбі бар көл; Терең-сай – терең сай; Қызыл жар – қызыл түсті саздан тұратын жар, Кішкене оба – кіші қорған; Үлкен Оба – үлкен қорған; Қиялы – тік әрі тасты беткей; Шолақ-өзек (Чулак Узек) – қысқа сай; Бастау – таудың жоғарғы бөлігі; Бестөбе – бес төбе; Бұғын-сай – жырадағы өзен; Айыркұм – тармақталған құмды жер; Аяқкөл – төменгі көл; Баскөл – жоғарғы көл;

Бастомар – жоғарғы батпақ; Дөңгелек алқа – дөңгелек алан; Қаратау – қара тау; Қаратас – қара тас; Кішкене Оба – кіші қорған; Қособа – қос қорған; Сарыоба – сары төбе; Сулышоқ – сулы жердегі шағын орман; Шайтантөбе – шайтан тауы; Шайтантомар – шайтан батпағы; Шайтанөзек – шайтан сайы; Ақтас – ашық түсті жартастар орналасқан жер және т.б. Орографиялық терминдер арасында ең жиі кездесетіндері: «тау», «төбе», «асу», «бел», «сай». Жоғарыда айтылған Бестөбе, Қаратас, Қаратау, Ақтас сияқты атаулар елімізге көршілес жатқан аймақтарда да көптеп кездеседі. Мысалы, М.Қашқари еңбегінде Хотан қаласын айналып ағатын екі өзеннің бірін Ақтас деп атайды [29]. Бұл атау сол жерде таза мөлдір ақ тасқа байланысты пайда болған деп көрсетеді. Хотан қаласы қазіргі Синьцзян-Ұйғыр автономиялық ауданына қарасты жер.

Қазақстанның физикалық-географиялық аудандарының кейбірлерінің атауы да сол ауданның табиғи ерекшеліктерін көрсетеді. Мысалы, Сарыарқа, Жетісу Алатауы, Тянь-Шань, Сауыр-Тарбағатай. Осы физикалық-географиялық аудандардың ішінде ірі табиғи аумақтық кешендердің немесе ландшафттардың атауы да оның ерекшеліктерін көрсетеді.

Арқа, арқалық топонимдері таумен салыстырғанда аласалау жер бедерлерін көрсетеді. Орталық Қазақстандағы Арқа жерін, Қостанай облысындағы Арқалықты мысал ретінде қарастыруға болады. Бұл атаудың мағынасын Ғ.Қоңқашпаев «жалдары тегістеу, бірдей, аласа келген жота, қырат» деп жазады [22]. Арқалық атауы негізі арқа терминімен байланысты. Арқа түркі тілдерінде солтүстік немесе батыс мағынасында қолданылады [21].

Қараой атауын Е. Қойшыбаев тікелей түркі тілінен «қара ойпат» мағынасында болғанымен, екінші тараптан «қара» сөзі «төбе, таулы жер» деген мағынада қолданылуы мүмкін дейді [23]. Осы жерде Алматы облысындағы Қараой Жоңғар Алатауының батыс тармақтарының, яғни Малайсары тауының жалғасы болып келетіндігі көрсетілген. Автор келтірген басқа да мысалдар Қараой – биік үстірт екендігін көрсетеді. Осы ойды қорытындылай келе Э.М.Мурзаев топоним ретінде Қазақстан оронимдерінде «таулы ойпат» мағынасында кездеседі деп көрсетеді [25].

Қазақстанның 44 пайызы шөл зонасында орналасқан. Бұл аймақтың шөлді аймақ екендігін айғақтайтын түркі топонимдері жеткілікті. Мысалы, Бетпақ дала - түркі, моңғол және тунгус-маньчжур тілдеріне тән «шөлді дала» деген мағына береді. Орыстілді ғылыми еңбектерде «Голодная степь» деп аталғанымен, бірақ бұл бастапқы топонимнің дәл аудармасы емес. Мысалы, 1893 жылғы энциклопедиялық сөздікте «Голодная степь – атауымен Түркістанда тек көшпелі өмір сүруге қолайлы бірнеше кең-байтақ сусыз дала аймақтары белгілі. Олардың ішінде екі мекен осы атаумен аталады. Біріншісі: ...Бек-пақ дала, Шу өзенінің солтүстігінде, Балхаш көлінің батысында...» делінген [30]. Географиялық термин «дала» – бұл өзіне тән ерекшеліктерімен танымал және Кавказдан Тынық мұхитына дейінгі кең аумақта қолданылатын атау [31].

Қазақстанның орталық бөлігінде орналасқан шөлді өңір. Қарақұм – географиялық терминологияда көне түркі тіліндегі "қара" сөзі жер, құрлық деген мағынаны да білдірген. Шөл зонасында бірнеше рет кездесетін ландшафт. Қызылқұм - «қызыл» + «құм» қызыл түстер аралған шөл. Бұл атаулар бір қарағанда түсінікті болып көрінеді: Алайда, бұл топонимге қатысты әртүрлі, кейде қарама-қайшы ақпарат бар. Түрікмендер қарақұм атауын өсімдіктермен бекітілген құмды аймақтарға қолданады.

Қаракемер топонимі еліміздің барлық дерлік аймақтарында кездеседі. Алматы, Ақтөбе, Жамбыл облыстарында елді мекен атаулары болса, басқа аймақтарда оронимдер ретінде таралған. Атаудың негізгі мағынасы «су шайған жағалау» болып келеді [25]. Яғни, өзен суының мол кезеңінде судың жағалауды шайып кеткен тұстарын «кемер» деп атаған. «Қара» сөзі сол жердің топырағының, тастың түсіне байланыстылығы байқалады. Мысалы, Сарыкемер атауы осы жерде түске байланысты екендігін нақтылап тұрғандай.

Бұл атаулар ойконимдер мен орографиялық нысандарға тән және сол жердің ландшафтының ерекшелігін көрсетеді.

2. *Су нысандарымен байланысты топонимдер.* Географиялық ортаның ерекшеліктері географиялық нысандарды атау берудің негізгі факторы болып табылады. Кейбір топонимдерде белгілі бір аймаққа тән емес географиялық ерекшеліктер бейнеленеді. Мысалы, «ағаш» немесе «су» сияқты лексемалары бар топонимдер шөлейт және шөл аймақтарында жиі кездесетіні және бұл біркелкі ландшафт жағдайында бағыт-бағдар беруші ретінде қызмет ететіні анықталды [16].

Су нысандарына байланысты топонимдерге мысал келтірсек: Бескөл – бес көл; Бесқұдық – бес құдық; Қарасу – қара өзек; Қаратомар – қара батпақ; Қоскөл – қос көл; Құдайқұдық – қасиетті

бұлақ; Өзек – шағын өзен; Сарытомар – үлкен батпақ; Ұзынкөл – ұзын көл; Ұзынқарасу – ұзын өзек; Шеген – құдықтың ішкі ағаш құрылғысы; Бұлақ – бұлақ; Жарма – жырадағы өзен және т.б. Су нысандарына қатысты гидронимдерде «сай», «көл», «бұлақ» және «су» терминдері жиі кездеседі.

Осы уақытқа дейін жүргізілген зерттеу нәтижелері Арал, Балхаш, Алакөл көлдерінің атаулары ғана емес, жағалау сызықтары мен акваториясының тарихи кезеңдерде айтарлықтай өзгерістерге ұшырағандығын көрсетті [16]. Орталық Азиядағы мұндай ірі су нысандарындағы өзгерістер шөл зонасының физикалық-географиялық ерекшелігін көрсетеді. Алакөл атауы көлдің ерекшеліктерін көрсететін атау. Алакөл атауының мағынасын Телқожа Жанұзақ Алакөл құрамына енетін көлдердің көлемі, суы, аумағы әртүрлі болуына байланысты деп түсіндіреді [20]. Ғалымның айтуынша бұл көлдердің (Алакөл, Сасықкөл, Қошқаркөл) көлемі әртүрлі, суының түсі де Алакөлде қара көк, Сасықкөл көкшілдеу келсе, басқаларында бозғылт, сарғыш болып келеді. Сондықтан да, халық арасында Алакөл атануы заңдылық деп пайымдайды. Е.Койчубаев атаудың халық этимологиясы түрлі түске байланысты екенін айта келе, И.Сергеевтің түсіндірмесіне сүйеніп «таудағы көл» мағынасына да тоқталады [23]. Дегенмен, біз жоғарыда Т.Жанұзақ пайымдауымен келісеміз.

Қазақстан аумағында ірілі-ұсақты 85 мың өзен бар. Олардың ішіндегі ең ірілеріне Ертіс, Тобыл, Есіл, Жайық, Сырдария, Іле, Шу өзендері жатады. Ең ірі өзен - Ертіс атауы Махмұт Қашқари сөздігінде кездеседі. Онда: «Иемек даласындағы бір өзеннің аты. Бірнеше тармақтық бұл дария сол жердегі бір көлге құяды. Бұл дарияны Ертіс суы дейді» - делінген. Демек бұл өзеннің атауы XI ғасырдың өзінде белгілі болып, күні бүгінге дейін сол қалпында сақталған.

Бұл атау көне түркі тіліндегі иер – «жер» және тіс, іс – «өзен» мағынасын беретіндігін және де Қарасу атауына сәйкес келетіндігін ғалым Т. Жанұзақ жазады [19]. Автор бұл мағына өзеннің халық арасында Қара Ертіс аталуына себеп болды дейді. Яғни, Ертіс суы жер асты суымен толығатын тұсында өзеннің суы молайып Қара Ертіс атауына ие болады.

Есіл атауының жер бедерін айқындайтын топоним екендігі Т.Жанұзақтың еңбектерінде айтылған [20]. Ғалым бұл топоним «кең дала, жазық жердегі суы мол, үлкен өзен» деген мағынада жер бедерін сипаттайды дегенді алға тартады. Көне түркі тіліндегі мағынасында *jası* - «дала», *jazi* - «тегіс, жазық» және –ыл, -іл, -ел - «ылғал», «саз», «су» болып келеді.

Ақсу аталатын өзендер өзінің бастауын биік тау қарының суынан алады. Мұндай атаулар құрғақ және шөлді тауларға тән еместігін Э. М. Мурзаев атап кеткен болатын [25]. Автор мұндай өзендер өздері қоректенетін мұздықтың лайының әсерінен қызғылт, сұр, жасылдау түсті болуы мүмкін деген пікір айтады. Сонымен қатар, биік тау қарынан қоректенуі арқылы ағысы да жылдам болады.

Қарасу топонимі еліміздің көптеген аймақтарындағы жер-су атауларына тән. Көне түркі тіліндегі мағынасы «жер-су» дегенді білдіреді [23]. Мұндай өзендер негізінен тау аралық аңғарларда, тау етегінде жер асты суларымен қоректенеді. Жерден, яғни жер асты суларынан қоректенгендіктен де осы «жер-су» мағынасына ие.

Ақсу және Қарасу топонимдері Қазақстан территориясымен қатар Өзбекстан мен Қырғызстан жерінде де көптеп кездеседі.

3. *Өсімдік атауларына негізделген топонимдер.* Қазақстанның әртүрлі физикалық-географиялық аймақтарында өсімдіктер мен ағаш атауларына байланысты көптеген топонимдер кездеседі. Бұл топонимдер өсімдіктердің барлық түрлерін қамтымайды, тек қазақтардың экономикалық және этномәдени өмірінде маңызды рөл атқарған өсімдік түрлерін ғана көрсетеді [8].

Ең жиі кездесетін атауларға: Қарағай – карағайлы орман; Қарақамыс – қамысты жер; Арланғаш – аралдағы орман; Қаратал – кара тал өсетін жер; Қарағаш – карағаш; Көктерек – көк терек; Қызылағаш – қызыл ағаш; Саумалкөл – қымыздық өсетін көл; Қарағайлы – карағай көп өсетін мекен; Талды – талдар өсетін жер; Қоға – қамыс тұқымдас өсімдік; Қараған – караған ағашы; Қияқ – дала кара бидайы; Өлең – шөп; Арпа – арпа; Алма – алма ағашы; Арша – арша; Терек – карағай, терек; Бидай, Бидайық – бидай, сұлышөп; Боз – қамыс; Жусан – жусан; Итмұрын – итмұрын; Кендір – кендір және т.б.

Мұндағы Қарағай топонимі – Атырау мен Шығыс Қазақстан, Қарақамыс – Батыс және Шығыс Қазақстан, Қаратал – Жетісу мен Қарағанды, Көктерек – Түркістан мен Батыс Қазақстан,

Қызылағаш – Жетісу, Батыс Қазақстан мен Ақмола облыстарының территорияларында кездеседі. Олар ойконимдерге, оронимдерге, гидронимдерге тән.

Қаратал, Қарағаш, Көктерек, Қызылағаш, Терек, Арша сияқты топонимдер елімізден тысқары Түркия, Грузия, Кабардин-Балқар жерінде, Қырғызстан мен Өзбекстан территориясында кездеседі.

Бұл топонимдер аймақтың табиғи жағдайының, тіпті шаруашылық жүйесінің ерекшеліктерін көрсетеді. Мысалы, Оңтүстік Қазақстанның шөлдерінде судың жетіспеушілігінен әртүрлі шөптесін өсімдіктер өседі. Бұл өсімдіктер түйелердің негізгі азығы болып табылады және Қазақстанның 16 топонимінде аталған. Шағалы – ақ жусан (*Artemisa starea alba*) өсетін аймақ атауы. Қараған – бұршақ тұқымдасына жататын өсімдік, ал қызылша – қызылша немесе қызыл сексеуіл тұқымдасына жататын өсімдік. Қияқ (дала қара бидайы) сияқты фитотопонимдер Оңтүстік Қазақстанда жиі кездеседі [8].

Керісінше отар сөзі отты, яғни шөпті деген мағына береді. Белгілі ғалым Э. М. Мурзаев *отар* түркі тілінен шығып жайылым, ауылдан алыс жайлау мағынасын береді деп жазады [25]. М. Қашқаридің «Түрік сөздігінде» *от* – мал жейтін шөп, *арт* – арты, тау асуы, таудың төбесі мағынасында берілген [13]. Яғни таудың төбесіндегі немесе артындағы мал жайылымы деген мағынаны беріп тұр. Шын мәнінде де сол аймақтағы мал жайылымына ыңғайлы жер. Отар қазіргі Жамбыл облысының территориясындағы елді мекен атауы.

Қамыспен байланысты топоним Қазақстанда 40 географиялық атауда кездеседі (мысалы, Жалқамыс, Бесқамыс, Қарақамыс, Сарықамыс, Майқамыс, Майлықамыс, Құсқамыс, Күрқамыс, Жаманқамыс, Жарымқамыс, Ұзынқамыс, Бауырқамыс, Аяққамыс және т.б.). Олардың көпшілігі еліміздің солтүстігіндегі жер-су атауларында кездеседі.

Қарағай (қарағай) – эфебиоттық өсімдік. Ертіс өзенінің ойпатында оңтүстік-шығыс Сібір жазығының шекарасы бойында қарағайлы ормандар кездеседі. Сондықтан Павлодар облысында осы өсімдікке байланысты көптеген жер атаулары бар: Қарағай (өзен және аудан), Қатонқарағай (жер), Қарағайлы (аудан), Қарағайлыбұлақ (өзен), Қарағайлытас (тау – 677 м), Жалғызқарағай (аудан), Топқарағай (аудан), Бесқарағай (қоныс), Жүзқарағай (аудан), Майқарағай (қоныс). Бұл атаулар қарағай ағашының санына, оның қасиеттеріне немесе аймақтағы таралуына байланысты берілген. Мысалы, Қатонқарағай атауындағы «қатон» сөзі көне түрік тілінде «қатың», қазіргі қазақ тілінде «қайың» мағынасын білдіреді [24]. А. Әбдірахманов бұл атау өгеріске ұшыраған деген пікір білдіреді. Бастапқыда Қатыңқарағай аталып, «қайың - қарағай» мағынасын білдірген.

4. *Жануарларға қатысты топонимдер.* Адамдар мен жануарлардың ғасырлар бойғы байланысы осы қарым-қатынасқа қатысты географиялық нысандарды қабылдаудың белгілі бір ассоциациялары мен стереотиптерін қалыптастырады. Сондықтан топонимдерде зоонимдік компоненттің пайда болуы кездейсоқ емес, керісінше, ол коммуникативтік және әлеуметтік тұрғыдан негізделген. Мысалы, көптеген түркі халықтары мекендейтін қазіргі мемлекеттер – Түркия, Әзербайжан, Өзбекстан аумағында кездесетін **Kurtdere** («Қасқыр аңғары») топонимі түркі халықтарының исламға дейінгі мәдениетімен және **kurt** (қасқыр) зоокомпонентінің тотемдік сипатымен тікелей байланысты [28]. Қазақстан жерінде Қасқырлы деп аталатын Жетісу (Жоңғар) Алатауының солтүстік жотасы Көкжота (2987 м) тауларындағы асу бар, Орал мен Мұғалжар тауларының түйісетін Азия мен Еуропаның шекарасында Қасқырлы сарқырамасы бар. «Бөрілі» атауымен Батыс Қазақстан облысының аудан, Қызылорда облысы Жаңадария өзенінің жағалауында тарихи қоныс, Семей қаласына жақын жерде елді мекен бар. Бұл топонимдер аймақта қасқырдың көп болуымен немесе жиі кездесуімен байланысты қалыптасқан. «Қасқырлы» немесе «бөріліден» басқа құлан, ешкі атауымен байланысты зоонимдер Қазақстан жерінде өте көп кездеседі. Мысалы, Жамбыл облысындағы Т. Рысқұлов ауданының орталығы Құлан ауылы.

Жоғарыда аталғандардан басқа мысалдар, Балықты – балығы мол су; Қарғалы – қарғалар көп мекендейтін жер; Қарабура – қара түйе; Аққозы – ақ қозы; Тайсай – тай (жас жылқы) жүретін жер, Бөкенбай – бөкенге (киік) бай жер, Қоянды – қоян көп кездесетін жер, арқарлы – арқары көп мекен, Жыланды – жыланы көп жер және т.б.

Балықты – Түркістан мен Солтүстік Қазақстан, Қарғалы – Алматы мен Ақтөбе, Қарабура – Түркістан, Аққозы – Батыс Қазақстан, Тайсай – Ақмола облыстарында болса, Қоянды мен Жыланды топонимдерін еліміздің барлық дерлік аймақтарында кездестіруге болады.

5. *Топырақ пен пайдалы қазбаларға қатысты топонимдер.* Топырақ пен пайдалы қазбаларға қатысты топонимдер – жердің табиғи ерекшеліктерін, геологиялық құрылымын және эконо-

микалық маңызын сипаттайтын атаулар. Мұндай топонимдер көбінесе аймақтың топырақ жамылғысы, кен орындары немесе басқа да минералдық ресурстарымен байланысты болады. Топыраққа қатысты топонимдер көп жағдайда, жердің түсі, құрамы және құнарлылығына байланысты қалыптасса, пайдалы қазбаларға қатысты топонимдер кен орындарына немесе минералдардың шығу аймақтарына байланысты пайда болған.

Мысалы, Ақтас – ақ түсті тас; Жамантуз – тұзды көл; Ащысай – тұзды сай, Қызылқұм – "қызыл" (топырақтың қызғылт түсті болуы) + "құм" (шөлді ландшафттың сипаты), Сарыарқа – "сары" (сары топырақ пен құрғақ дала) + "арқа" (жазық жер, қыратты аймақ), Ақтау – "Ақ" сөзі әктасты немесе ақ түсті тау жыныстарына қатысты, Теміртау – "темір" (темір кендері) + "тау", Жезқазған, Мысқалы – жез, яғни, "мыс" (мыс кені бар аймақ) және т.б. Бозды – селеулі топырақ "тың (бұзылмаған) жерді" білдіреді. Е. Қойшыбаевтың айтуынша, "Бозайғыр" сөзі екі түбірден тұрады: «боз» – бетеге мен селеу өсетін жерлерде қолданылатын термин, ал «айғыр» – осы жерлердің ерекшелігін айқындайды. Мысалдар: Бозайғыр, Бозайғырсор, Бозарал, Бозша, Бозшакөл, Бозбай, Бозалаң, Бозтоғай, Бозтомар.

Қарақұм – Орта Азиядағы ең үлкен құмды шөл. Алғашқы қарағанда атаудың мағынасы түсінікті болып көрінеді: «қарақұм», түрікмен тілінде «гарагум» – «қара құм». Алайда, бұл топонимге қатысты әртүрлі, кейде қарама-қайшы ақпарат бар. Түрікмендер бұл атауды өсімдіктермен бекітілген құмды аймақтарға қолданады. Бұл құм барханды, қозғалмалы құмдарға қарама-қарсы, оларды «акқұм» (түрікменше «аккум») деп атайды, яғни өсімдіктерсіз ақшыл таза құмдар [25]. Демек Қарақұмда Қызылқұм және Аққұмдармен салыстырғанда өсімдік жамылғысы қалың болып келеді.

Аққұмның былай аталуы мұнда өсімдіктер кездеспейді, яғни «таза құм» мағынасын білдіреді. Э. М. Мурзаев «аққұм» аталатын құмдардарда өсімдіктер жоқ, мұнда жылжымалы құм төбелері байқалады деген пікір білдіреді [25]. Автор бұл атау «төгілу, ағылу» мағынасын беруі де мүмкіндігін айтады. Мұнда құмның көшуіне кедергі келтіретін өсімдіктің жоқтығын ескерсек, шын мәнінде атау ландшафтты дәл бейнелеп тұр.

Қазақстан аумағының физикалық-географиялық ерекшеліктерін көрсететін түркі топонимдерін зерделей келе Қазақстанның бірқатар аймақтарында ландшафттық өзгерістердің де орын алғанын анықтадық. Өйткені топонимдер тек жер-су атауы ғана емес, сонымен бірге сол аумақтың географиялық, климаттық және экологиялық өзгерістерін сипаттайтын маңызды ақпарат көзі болып табылады. Олар Қазақстан аумағында әртүрлі аймақтардағы гидронимдер, ойконимдер, оронимдер және лимнонимдер арқылы көрініс тапқан (кесте).

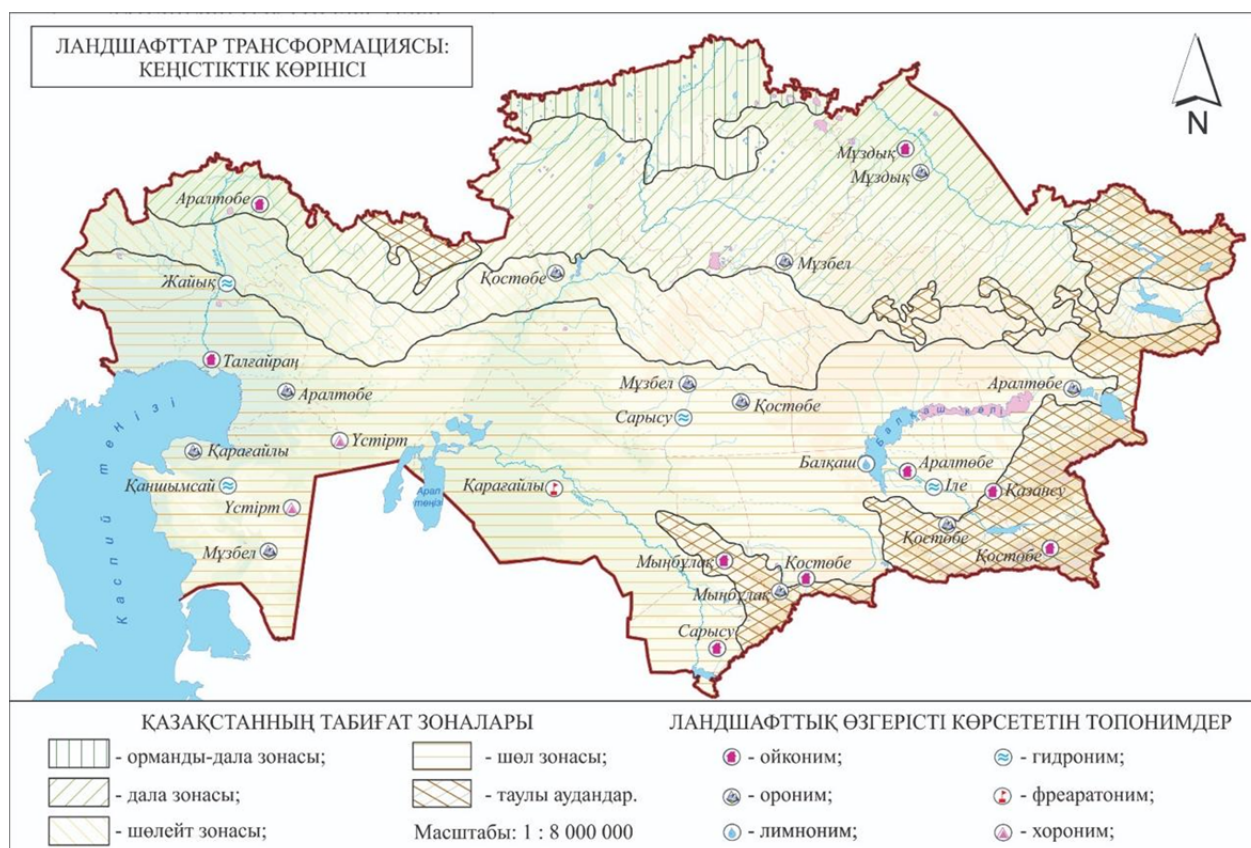
Қазақстан аумағындағы ландшафттық өзгерістерді көрсететін топонимдер

Toponyms reflecting landscape changes in Kazakhstan

Топонимнің атауы	Мағынасы және шығу тегі	Орналасқан жері
Аралтөбе (ороним, ойконим)	Көптеген төбелердің атаулары. «көлдегі арал» мағынасында.	Қазақстан мен Орта Азиядағы оронимдерге тән атау.
Балқаш (лимноним)	Көне түркі тілінен аударғанда «балшық», «саз» дегенді білдіреді. Ал, қазақ тілінің түсіндірме сөздігінде балқаш сөзінің мәні көгал, шүйгін, балдыр т.б. ұғымдарда түсіндірілген.	Қазақстанның оңтүстік-шығысындағы (Жетісу, Алматы, Жамбыл және Қарағанды, облысының әкімшілік шекарасының түйіскен тұсындағы) тұйық көл
Жайық (гидроним)	Түркі сөзінен шыққан «жайылып аққан су» дегенді білдіреді»	Қазақстанның батысындағы ірі өзен.
Қазансу (гидроним, ойконим)	Қазақ тіліндегі «қазан» және «су» сөздерінің негізінде қалыптасып, «ой, шұңқыр жердегі су» мағынасында.	Жетісу облысы, Кербұлақ ауданына қарасты елді мекен.
Қаншымсай (гидроним)	Қан – «бұлақ, арна, қайнар, бастау» Шым – «көпжылдық шөптер басқан жердің беткі қабаты» не «көгал жер», сай – төмен орналасқан жер деген мағына береді.	Қазақстанның Маңғыстау облысы, Маңғыстау ауданындағы құрғақ өзен арнасы.
Қарағайлы (ойконим, фреаратоним)	Ландшафттық ерекшеліктерімен байланысты қарағай ағаштың саны көп жерді немесе аймақты білдіреді.	Қазақстанның Маңғыстау және Қызылорда облыстарындағы жер және құдық атауы.

Қостөбе (ороним, ойконим)	«Екі төбе» мағынасында қолданылады.	Еліміздің көптеген ойконимдеріне тән атау.
Мұзбел жотасы (404 м) (ойконим, ороним)	Түркі тілдерінен «мұзды бел» дегенді білдіреді.	Маңғыстау облысы, Үстүрттің оңтүстік-батысындағы жон, Ұлытау тау жүйесіндегі тау, Қарағанды облысы, Нұра өзенінің сол жағалауында орналасқан жон
Мұздық (ороним, ойконим)	Мұз сөзіне -дық жұрнағының жалғануы топонимнің түркі тілдерінің сарқыншағы екенін сипаттайды.	Павлодар облысындағы тау, елді мекен аттары.
Мыңбұлақ (ороним)	Мың бұлақ (саны өте көп бұлақ) кездесетін жер.	Шудан 400 ли (200 км) батысқа, ал Таластан 140-150 ли (70-75 км) шығысқа қарай орналасқан мекен және <i>Түркістан облысы Бәйдібек ауданындағы ауыл</i>
Сарысу (гидроним, ойконим)	«Үлкен, ірі» немесе «кең» өзен мағынасында.	Қазақстанның орталық және оңтүстігіндегі өзен және елді мекен атауы.
Талғайраң (ойконим)	Тал («бұта») + қайраң сөздерінен қалыптасқан талды-шілікті жағалаудың аты.	Каспий жағалауындағы елді-мекен аты (Атырау облысы).
Үстірт (хороним)	«Үстіңгі (жоғарғы) жұрт» немесе үстіңгі бет деген мағынаны береді.	Батыста Маңғыстау түбегі мен Қарабұғазкөл шығанағы, шығыста Арал теңізі мен Өмудария атырауы аралығын алып жатқан дөңесті аймақ.
Іле (гидроним, ойконим)	Көне түркі тілінде «жаңбырдан кейінгі иленген жер» мағынасында.	Қазақстанның оңтүстік-шығысындағы Балқаш көліне құятын трансшекаралық өзен.

Кестеге жинақталған топонимдердің кеңістіктік орналасуы төменде 1-суретке жүйеленіп берілді (сурет).



Ландшафттардың трансформациясы: кеңістіктік көрінісі

Landscape transformation: spatial representation

Мұнда, жоғарыда атап өткеніміздей, табиғат зоналарына сай келмейтін бірнеше атаулардың бар екеніне көз жеткізуге болады. Мысалы, шөл зонасында орналасқан Маңғыстау, Қызылорда, Атырау сияқты облыстарда Қарағайлы, Мұзбел, Талғайраң т.б. атаулардың кездесуі, ландшафттардың трансформациясына негіз болып, уақыт динамикасындағы климаттық өзгерістердің орын алғанын көрсетеді. Түркі атауларының көпшілігі орта ғасырларда туындағанын ескерсек, сол кезеңде еліміздің оңтүстік өңірінде, жалпы Орта Азияда гумидті климат болғаны мәлім [17]. Сондықтан да, аймақта сақталған тарихи атаулардың мағынасы климаттың өзгеруі нәтижесінде қазіргі ландшафттың сипатына сәйкес келмейтіні анықталды. Енді, осы атаулардың мән-мағынасына байланысты ғалымдар келтірген негіздемесіне тоқталатын боламыз.

Аралтөбе атауы Қазақстан мен Орта Азиядағы көптеген оронимдерге тән. Э. М. Мурзаев «арал» түркі сөзінің ар – «бөлу, бөлек» немесе ара – «аралық, екі нысан арасындағы арақашықтық» мағынасын беруі ықтимал деп жазады. Автор «төбе» сөзінің де түркі тілінен пайда болғандығын айтады [25]. Бұл атаудың да кейбір өңірлерде судың тартылуынан өзіне жүктелген сипатына сай еместігін байқаймыз. Барон Гумбольдт Сібір мен Каспи теңізіне 1829 жылғы саяхаты кезінде: ... Семейден 100 верст қашықтықта «Көлдің ортасында Аралтөбе аталатын төбе (тау) тұр...» – деген жазба қалдырған [15]. Бұдан бөлек Батыс Қазақстан, Атырау облыстарында ойконим түрінде, Абай облысы Ұржар ауданы Сасықкөл көлінде ороним түрінде кездесетінін мысал ретінде келтіруге болады (сурет).

Балқаш атауы ежелгі түркі тілінен аударғанда «балшық», «саз» дегенді білдіреді. Ал, қазақ тілінің түсіндірме сөздігінде балқаш сөзінің мәні көгал, шүйгін, балдыр т.б. ұғымдарда түсіндірілген. Балқаш деп аталатын табиғи объектілер басқа жерлерде де тіркелген: Балқаш (кент, Ақтөбе облысы), Балқаш (көл, Павлодар облысы), Балқашсор (тұзды көл, Павлодар облысы), Балқаштыбұлақ (бұлақ, Оңтүстік Қазақстан облысы).

Сонымен қатар, Батыс Қазақстандағы топонимдерден көзге түсетіні **Жайық** өзені. 908-932 жылдары Еділ бойына саяхат жасаған Ахмед Ибн-Фадланның жазбаларында **Джайх (қазіргі Жайық)** «біз көрген өзендердің ең үлкені және ең ағыны қаттысы» деп атаған деректер бар [15]. Бұл деректер Жайық өзенінің бұрынғы кезеңдерде әлдеқайда ірі өзен болғанын білдіретін сияқты. Жалпы алғанда, Батыс Қазақстанның шөлді даласында бұрын ылғалдылық жоғары болғанын айғақтайтын көптеген топонимдер бар. Олар: *Қанишымсай, Қанишымтұран, Қансу (көп рет кездеседі), Қанқұм, Қанқұдық, Қандыбас, Қанқыстау, Қанай, Қаңға, Қаңғабаба* және т.б. Бұл топонимдердегі қан сөзі «су», «өзен» мағынасында қолданылатын географиялық термин [11].

Қазансу атауы қазақ тіліндегі «қазан» және «су» сөздерінің негізінде қалыптасып, «ой, шұңқыр жердегі су» мағынасын береді [21]. Бұл елді мекен Жетісу облысы, Кербұлақ ауданына қарасты Сарыбұлақ ауылдық округінің құрамына кіреді. Алайда, елді мекен ішінде немесе оның маңында көл кездеспейді.

Сонымен қатар, **«Қарағайлы»** топонимі де қазіргі сипатына сәйкес келмейтін фитоним ретінде шөл зонасы алып жатқан аумақта таралған. Негізінен қарағайлы ормандар Қазақстанның шығысындағы жауын-шашын жақсы түсетін Алтай, Сауыр тауларында, Ертіс өзені алқабында, Орталық Қазақстанда Сарыарқаның аласа таулы, гранитті массивтерінде, солтүстікте Торғай қолатында таралған [32]. Дегенмен, бұл топонимдерді жазық жер бедері тән, шөлді өңірлерде: Маңғыстау облысында 2, Қызылорда облысында 1 атау таралған. Маңғыстау облысының Бейнеу ауданында Қарағайлы деп аталатын қыстау және құдық бар [11].

Жергілікті жердің суының мол болғанын білдіретін атаулардың бірі – **Мың бұлақ**. Сюань-Цань бұл мекенді «1000 бұлақ» деп көрсетіп, Шудан 400 ли (200 км) батысқа, ал Таластан 140-150 ли (70-75 км) шығысқа қарай орналасқандығын және бұл аймақта көптеген көлдер, тоғандар, биік және тығыз ағаштар болды деп жазады [9]. Жоғарыда келтірілген дерек бойынша атау заманымыздың VII ғасырының өзінде-ақ белгілі болғанын байқаймыз.

Еліміздің орталығы мен оңтүстігіндегі ірі өзендердің бірі **Сарысу** жазық даланы ағып, Бетпақдалаға сіңіп кетеді. Бұл атаудың мағынасы оның суының молдығымен және ұзақ жерге ағыуымен байланыстырылады [20]. Топоним құрамындағы сары сөзі «үлкен, ірі, зор» мағынасында қолданылады. Сонымен қатар, бұл гидронимнің мағынасын «кең өзен» деп те айтады [23].

Үстірт – Қазақстан, Өзбекстан және ішінара Түрікменстан аумағындағы шөлді үстүрт. В. Л. Корженевский жергілікті тұрғындардың бұл атауға берген түсініктемесін келтіреді: Үстірт – «қыратты үстірт, ол төменгі жазықтықтан биіктігімен ажыратылады.

Өзбекстанның басқа аймақтарында да осындай талдау жүргізіліп, нәтижелері диаграммаларда және кестелерде көрсетілген. Бұл зерттеулердің нәтижелері елдің 1:1 000 000 масштабтағы топонимдік картасында бейнеленген [7].

Іле атауының көне түркі тілдеріне тән екендігін ғалым Телғожа Жанұзақ жазады [21]. Ол бұл атаудың М. Қашқари еңбегінде көрсетілгендігін алға тартып, атау «өзен, су» мағынасын береді деп топшылайды. Гидронимнің көне түркі тіліндегі мағынасы «жаңбырдан кейінгі иленген жер» дегенге саяды. Іле атауы М. Қашқари еңбегінде бірнеше мәрте кездеседі. Бұл Іленің сол XI ғасырдың өзінде стратегиялық маңыздылығы болғандығын аңғартса керек.

Сонымен, мағынасында суының молдығын, өзеннің кеңдігін немесе бұлақтардың көптігін және басқа да ерекшеліктерін көрсететін атауларды көрсеттік. Біз тізбектеген бұл атаулар жоғарыда көрсеткеніміздей өзінің сипатына сәйкес келмейді.

Нәтижелерді талқылау. Түркі топонимдері Қазақстан территориясында кең таралған және ол ел аумағының, аймақтарының физикалық географиялық ерекшеліктерін айқын көрсетеді. Бұған қазақ тілінің түркі тілдері тобына кіретіні зор ықпал етеді [2]. Түрік географиялық номенклатурасы өте монотонды; өлкенің бүкіл кеңістігінде атаулар үнемі қайталанатынын жазады. Мысалы: Ақ-көл, қара-көл, ақ-су, қара-су және т.б. Дегенмен осындай топонимдер көбінесе аумақтың физикалық-географиялық ерекшеліктерін, оның табиғи ортасын, ландшафттың құрылымы туралы ақпарат береді. Сондықтан, белгілі бір аумақтың табиғи жағдайының қазіргі және тарихи жағдайын зерттегенде топонимдерді талдау өте маңызды. Бұл зерттеушілерге аумақтың табиғи ерекшеліктері, өткен уақыттағы өзгерістері мен ландшафт ерекшеліктері туралы қорытынды жасауға мүмкіндік береді [7].

Көптеген ғалымдардың [3, 6, 8, 33] пікірінше топонимдер – бұл физикалық-географиялық, әлеуметтік-экономикалық және саяси факторлардың аумақтық ерекшеліктерін білдіру нәтижесі, олар «адам – аумақ», «адам – қоршаған орта» арасындағы байланысты көрсетеді.

Белгілі ғалым Қ. И. Сәтбаев пайдалы қазбалар кен орындарын іздеу барысында топонимикалық әдісті қолданған және оларды сенімді белгілер қатарына бекерден-бекер енгізбеген [18].

Atasoy және Yeginbayeva [8] флора мен фаунаының табиғи аймақтар бойынша таралу ерекшеліктерін топонимдер арқылы анықтауға болатынын көрсетеді. Топонимдер – көбінесе жергілікті ландшафттағы өзгерістерді бастан кешіреді, ландшафт динамикасының немесе жерді пайдаланудағы өзгерістердің тарихи құжаттарына айналады [34].

Ландшафттарда бұрынғы жер пайдалану іздері – тек олардың физикалық құрылымында (мысалы, террасалар, жер учаскелері, орман құрылымы, ағаш формалары) ғана емес, сонымен қатар сол жерде өмір сүрген қауымдастықтардың берген атауларында да сақталған. Жер атаулары тарихи ландшафттың тірі естелігі болып табылады. Олардың мағыналары белгілі бір жер пайдалану жүйелеріне немесе тәжірибелеріне, маңызды әлеуметтік құбылыстарға, діни немесе табиғаттан тыс сенімдерге, географиялық және геологиялық қалыптасуларға, сондай-ақ өсімдіктер мен басқа да ресурстарға және олардың қолданылуына қатысты болуы мүмкін [26]. Алайда жануардың тіршілік ету іздері оның аймақта сирек кездесетін жағдайында да топонимнің пайда болуына себепші болуы мүмкін [28].

Көптеген жағдайларда жер атауларының артында тұрған шындық (шаруашылық түрлері, өсімдіктер, су нысандары және т.б.) бүгінде сол ландшафтта кездеспеуі мүмкін. Бірақ олардың жергілікті қауымдастықтардың жадында және мәдениетінде сақталуы адамдар мен олардың қоршаған ортасы арасындағы күрделі және динамикалық байланысты көрсетеді [26]. Mirakmalov et al. [7] жер атаулары ландшафттық динамика, жер пайдалану, өсімдік құрылымы және оның өзгерістері туралы маңызды мәліметтерді көрсететінін және тарихи кезеңдерде жер пайдалану үлгілерін жақсырақ түсінуге болатынын көрсеткен. Топонимдер табиғатты қорғау және ландшафттарды қалпына келтіру шараларын жүзеге асыруда құнды ақпарат көзі болады. Өйткені, топонимдер – жай ғана географиялық атаулар емес, олар белгілі бір ортаның табиғи, тарихи және мәдени жағдайы туралы мәлімет береді. Сондықтан оларды экологиялық жоспарлау мен табиғи ортаны қалпына келтіру ісінде ғылыми құрал ретінде қолдануға болады. Мысалы, «Қарасу», «Қазансу», «Қарағайлы», «Қаншымсай» сияқты атаулар бұрын бұл жерде су көздері немесе ағаш ареалдары болғандығын көрсетеді. Олар бүгінде жоғалған болса, топонимдер олардың қалпына келуге дәлелдеме немесе құрал бола алады.

Қорытынды. Қазақстан аумағындағы түркі топонимдері елдің физикалық-географиялық ерекшеліктерін бейнелейтін құнды дереккөз болып табылады. Зерттеу нәтижелері көрсеткендей, географиялық атаулар тек нысандарды сипаттап қана қоймай, сонымен бірге белгілі бір аймақтың табиғи ортасының өзгерістерін, климаттық және геологиялық үдерістерін көрсетеді. Мысалы, «Қарасу», «Ақкөл», «Қызылқұм» сияқты гидронимдер мен оронимдер сол жердің экологиялық жағдайына, топырақ құрамына және су ресурстарына қатысты маңызды ақпарат береді.

Топонимдерді жүйелі зерттеу аймақтардың тарихи-географиялық динамикасын түсінуге, кеңістіктік өзгерістерді анықтауға көмектеседі. Сондықтан да, атауларды кеңістіктік өзгерістерді анықтайтын индикатор ретінде қарастыруымызға болады. Кейбір атаулардың бастапқы мағынасы өзгеріп, қазіргі климаттық және ландшафттық жағдайлармен сәйкес келмеуі мүмкін, бұл өз кезегінде табиғи ортадағы өзгерістерді айқындайды. Мысалы, еліміздің аридті климат аймағындағы Қарағайлы, Талғайраң, Мұзбел, Мыңбұлақ және т.б. атаулардың кездесуі, климаттық өзгерістердің болғанын айғақтайды. Сонымен қатар, түркі топонимдері белгілі бір тарихи кезеңдерде халықтардың қоныстану үрдістері мен шаруашылық бейімделу ерекшеліктерін де көрсетеді. Мұндай зерттеулердің нәтижелері жойылған ландшафттарды немесе шаруашылық түрлерін қалпына келтіруде маңызды ақпарат көзіне айналады.

Қаржыландырылуы. Бұл зерттеу Қазақстан Республикасы Ғылым және жоғары білім министрлігінің Ғылым комитеті қаржыландыратын бағдарлама аясында жүргізілді (Грант №BR24993043).

ӘДЕБИЕТ

- [1] Ртвеладзе Э. В. Цивилизации, государства, культуры Центральной Азии. – Ташкент: Университет мировой экономики и дипломатии, 2005. – 288 с.
- [2] Бартольд В. В. Работы по исторической географии. – Москва: Издательство "Наука", 1965. – 713 с.
- [3] Kaimuldinova K. D., Shakirova N. D., Shakirova A. D., Wendt J. A. (2023). Traditional ecological knowledge of the Kazakh people as a prerequisite for education for sustainable development // *Pedagogy and Psychology*, 56(3). <https://doi.org/10.51889/2960-1649.2023.15.3.001>
- [4] Dorji K. (2024) Storied Toponyms in Bhutan: Affective Landscapes, Spiritual Encounters, and Climate Change // In *Himalayan Climes and Multispecies Encounters* (p. 71-86). Routledge.
- [5] Саввинова А. Н., Филиппова В. В., Гадаль С. Географические названия как индикаторы природно-климатических условий Оймяконского района (на примере изучения топонимов холодовой семантики) // *Успехи современной науки*. – 2016. – Т. 4, № 9. – С. 160.
- [6] Аюбов А. Р. Согд и Фергана: историческая география, этногеография, топонимика, культурный симбиоз (древность и раннее средневековье). – Худжанд: Нури маърифат, 2021. – 404 с.
- [7] Mirakmalov M. T., Ibragimova R. A., Avezov M. M., Okhunjonova D. K. Physical and geographical features of the toponyms of Uzbekistan // *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. – IOP Publishing. – 2023. – Vol. 1284, No. 1. – P. 012004.
- [8] Atasoy E., Yeginbayeva A. (2017, January). Toponymic approach in scientific research of landscapes associated with the plant world // In *International Conference on Literature, Humanities and Social Sciences* (p. 21-27).
- [9] Бартольд В. Отчет о поездке в Среднюю Азию с научной целью (1893-1894 гг.). – С.-Петербург: Типография Императорской академии наук, 1897. – 198 с.
- [10] Бартольд В. В. Работы по истории и филологии тюркских и монгольских народов. – Москва: Восточная литература РАН, 2002. – 754 с.
- [11] Көшімова Б. Ә. Маңғыстау өңірі жер-су атауларының түсіндірме сөздігі. – Алматы: Нұрлы әлем, 2010. – 238 б.
- [12] Спан Ә., Дүйсенбаева Ж. Ұлы даланың ұланғайыр мұрасы/зерттеулер мен пайымдаулар, аңыздар. – Алматы: Нұрлы Әлем, 2006. – 224 б.
- [13] Қашқари М. Түрік тілінің сөздігі: (Диуани лұғат-ит-түрік) 1-том / Аударған А. Егеубай. – Алматы: Хант, 1997. – 595 б.
- [14] Путешествие Ибн Фадлана на Волгу / Перевод и комментарий под редакцией И. Ю. Крачковского. – М.; Л.: Изд-во АН СССР, 1939. – 228 с.
- [15] Путешествие Барона Гумбольдта в 1829 г. по Сибири и к Каспийскому морю. – Санкт-Петербург, 1837.
- [16] Kaimuldinova K. D., Aliaskarov D. T., Laikhanov Sh. U. Identification of changes in the landscape of natural objects during the historical period based on toponymic data (on the Balkhash-Alakol depression example) // *Вестник КазНПУ имени Абая. Серия «исторические и социально-политические науки»*. – 2022. – Т. 74, № 2. <https://doi.org/10.51889/5615.2022.98.63.014>.
- [17] Kaimuldinova K., Laikhanov S., Aliaskarov D., Tobajanov R., Nizamatinova Z. (2025) Representation of medieval climate fluctuations in Central Asia in the toponymic system: Historical and geographical data. *Journal of the Bulgarian Geographical Society* 52: 21-36. <https://doi.org/10.3897/jbgs.e143846>
- [18] Yeginbayeva A.Y., Saparov K. T., Abdullina, A. G., Shakhantayeva Z. R. Geographical problems of unification of the toponymic system of Kazakhstan // *География и водные ресурсы*. – 2024. – № 2. – С. 134-142. <https://doi.org/10.55764/2957-9856/2024-2-134-142.19>

- [19] Жанұзақ Т. Жер-су атаулары (этимологиялық анықтамалық). – Алматы: Өнер, 2011. – 496 б.
- [20] Жанұзақ Т. Қазақ ономастикасы. Атаулар сыры 3. – Алматы: Дайк-Пресс, 2007. – 524 б.
- [21] Жанұзақ Т. Тарихи жер-су аттарының түптеркіні. – Алматы: Сөздік-словарь ЖПС, 2010. – 356 б.
- [22] Конкашпаев Г. К. Казахские народные географические термины // Известия АН КазССР. Серия географическая. – 1951. – Вып. 3, № 99.
- [23] Койчубаев Е. Краткий толковый словарь топонимов Казахстана. – Алма-Ата: Наука, 1974. – 275 с.
- [24] Әбдірахманов А. Топонимика және этимология. – Алматы: Ғылым, 1975. – 206 б.
- [25] Мурзаев Э. М. Словарь народных географических терминов. – Москва: Мысль, 1984. – 653 с.
- [26] Ivascu, Cosmin Marius, Stanik, Nils. (2024). Placenames and Toponymy. In book: Practicing historical ecology: Methods for the collection, analysis and integration of interdisciplinary historical data. – SLU Swedish Biodiversity Centre. – P.117-135.
- [27] Planas-Batlle, X., Tort-Donada, J., Corominas, J. (2023). Toponymy and geology in the landscape. Onomastics in Interaction With Other Branches of Science Volume 1 Keynote Lectures Toponomastics, 417-436. <https://doi.org/10.4467/k7501.45/22.23.18070>
- [28] Позднякова А. А., Ыылдырым А., Хамуркопаран Д. Зоонимный компонент в тюркской топонимии // Наука и школа. – 2014. – № 2. – С. 125-129.
- [29] Қашқари М. Түрік тілінің сөздігі: (Диуани лұғат-ит-түрік) 3-том / Аударған А. Егеубай. – Алматы: Хант, 1998. – 600 б.
- [30] Брокгауз Ф.А., Ефрон И.А. Энциклопедический словарь. — С.-Петербург: Изд. И. А. Ефрона, 1893. – Т. 9. – 474 с.
- [31] Ганиев Н.У. Топонимия пустынь Центральной Азии // Актуальные проблемы гуманитарных и естественных наук. – 2018. – № 10. – С. 98-100.
- [32] Қазақстан. Ұлттық энциклопедия / Бас ред. Ә. Нысанбаев. – Алматы: «Қазақ энциклопедиясы» Бас редакциясы, 1998. – 1-т. – 720 б.
- [33] Donada J. T., Reinoso A. S. (2014). Toponyms as «landscape indicators» // In Conference Paper January.
- [34] Conedera M., Vassere S., Neff C., Meurer M., Krebs P. Using toponymy to reconstruct past land use: a case study of «brüsäda» (burn) in southern Switzerland // Journal of Historical Geography. – 2007. – Vol. 33, No. 4. – P. 729-748.

REFERENCES

- [1] Rtveladze E. V. Civilisations, States, Cultures of Central Asia. - Tashkent: University of World Economy and Diplomacy, 2005. 288 p. (in Russ.).
- [2] Bartold V. V. Works on historical geography. Moscow: Izdatel'stvo "Nauka" 1965. 713 p. (in Russ.).
- [3] Kaimuldinova K. D., Shakirova N. D., Shakirova A. D., Wendt J. A. (2023). Traditional ecological knowledge of the Kazakh people as a prerequisite for education for sustainable development // Pedagogy and Psychology, 56(3). <https://doi.org/10.51889/2960-1649.2023.15.3.001>
- [4] Dorji K. (2024) Storied Toponyms in Bhutan: Affective Landscapes, Spiritual Encounters, and Climate Change // In Himalayan Climes and Multispecies Encounters (p. 71-86). Routledge.
- [5] Savvinova A. N., Filippova V. V., Gadal S. Geographical names as indicators of natural-climatic conditions of the Oymyakonsky district (on the example of studying toponyms of cold semantics) // Uspekhi sovremennoi nauki. 2016. Vol. 4, No. 9. P. 160 (in Russ.).
- [6] Ayubov A. R. Sogd and Fergana: historical geography, ethnogeography, toponymy, cultural symbiosis (antiquity and early Middle Ages). Khujand: Nuri Ma'rifat, 2021. 404 p. (in Russ.).
- [7] Mirakmalov M. T., Ibragimova R. A., Avezov M. M., Okhunjonova D. K. Physical and geographical features of the toponyms of Uzbekistan // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science // IOP Publishing, 2023. Vol. 1284, No. 1. P. 012004.
- [8] Atasoy E., Yeginbayeva A. (2017, January). Toponymic approach in scientific research of landscapes associated with the plant world // In International Conference on Literature. Humanities and Social Sciences (p. 21-27).
- [9] Bartold V. Report on a trip to Central Asia with a scientific purpose (1893-1894). St.-Petersburg: Tipography of the Imperial Academy of Sciences, 1897. 198 p. (in Russ.).
- [10] Bartold V. V. Works on the history and philology of Turkic and Mongolian peoples. Moscow: Oriental Literature RAS, 2002. 754 p. (in Russ.).
- [11] Kushimova B. A. Explanatory dictionary of place names of the Mangystau region. Almaty: "Nurly Alem", 2010. 238 p. (in Kaz.).
- [12] Span A., Duysenbayeva Zh. The vast heritage of the Great Steppe / research and interpretations, legends. Almaty: Nurly Alem, 2006. 224 p. (in Kaz.).
- [13] Kashkari M. Dictionary of the Turkic language: (Diواني lugat-it-turk). Vol. 1 / Translated by A. Egeubay. Almaty: Khant, 1997. 595 p. (in Kaz.).
- [14] Travelling of Ibn Fadlan to the Volga / Translation and commentary edited by I. Yu. Krachkovsky. M.; L.: Izd-vo Academy of Sciences of the USSR, 1939. 228 p. (in Russ.).
- [15] Travelling of Baron Humboldt in 1829 across Siberia and to the Caspian Sea. St. Petersburg, 1837 (in Russ.).
- [16] Kaimuldinova K. D., Aliaskarov D. T., Laishanov Sh. U. Identification of changes in the landscape of natural objects during the historical period based on toponymic data (on the Balkhash-Alakol depression example) // Bulletin of Abai KAZNPU, Series 'Historical and socio-political sciences'. 2022. Vol. 74, No. 2. <https://doi.org/10.51889/5615.2022.98.63.014>.

- [17] Kaimuldinova K., Laiskhanov S., Aliaskarov D., Tobajanov R., Nizamatdinova Z. (2025) Representation of medieval climate fluctuations in Central Asia in the toponymic system: Historical and geographical data // Journal of the Bulgarian Geographical Society 52: 21-36. <https://doi.org/10.3897/jbgs.e143846>
- [18] Yeginbayeva A.Y., Saparov K. T., Abdullina, A. G., Shakhantayeva Z. R. Geographical problems of unification of the toponymic system of Kazakhstan // Geography and water resources. 2024. No. 2. P. 134-142. <https://doi.org/10.55764/2957-9856/2024-2-134-142.19>
- [19] Zhanuzak T. Names of places and waters (etymological reference book). Almaty: Oner, 2011. 496 p. (in Kaz.).
- [20] Zhanuzak T. Kazakh onomastics. The secret of names 3. Almaty: Dyke-Press, 2007. 524 p. (in Kaz.).
- [21] Zhanuzak T. The origin of historical names of places and waters. Almaty: "Sozdik-slovar" LLP, 2010. 356 p. (in Kaz.).
- [22] Konkashpayev G. K. Kazakh folk geographical terms // Izvestiya AN KazSSR. Series geographic. 1951. Vol. 3, № 99 (in Russ.).
- [23] Koichubaev E. Brief explanatory dictionary of toponyms of Kazakhstan. Alma-Ata: Nauka, 1974. 275 p. (in Russ.).
- [24] Abdirakhmanov A. Toponymy and etymology. Almaty: Science, 1975. 206 p. (in Kaz.).
- [25] Murzaev E. M. Dictionary of folk geographical terms. Moscow: Mysl, 1984. 653 p. (in Russ.).
- [26] Ivascu, Cosmin Marius, Stanik, Nils. (2024). Placenames and Toponymy. In book: Practicing historical ecology: Methods for the collection, analysis and integration of interdisciplinary historical data. SLU Swedish Biodiversity Centre. P.117-135.
- [27] Planas-Batlle X., Tort-Donada J., Corominas J. (2023). Toponymy and geology in the landscape. Onomastics in Interaction With Other Branches of Science. Vol. 1. Keynote Lectures Toponomastics, 417-436. <https://doi.org/10.4467/k7501.45/22.23.18070>.
- [28] Pozdnyakova A. A., Yildirim A., Hamurkoparan D. Zoonim component in Turkic toponymy // Science and School. 2014. No. 2. P. 125-129 (in Russ.).
- [29] Kashkari M. Dictionary of the Turkish language: (Diuanı lugat-it-turk). Vol. 3 / Translated by A. Egeubay. Almaty: Khant, 1998. 600 p. (in Kaz.).
- [30] Brockhaus F. A., Efron I. A. Encyclopaedic dictionary. St.-Petersburg: Izd. I. A. Efron, 1893. Vol. 9. 474 p. (in Russ.).
- [31] Ganiev N.U. Toponymy of deserts of Central Asia // Actual problems of humanities and natural sciences. 2018. No. 10. P. 98-100 (in Russ.).
- [32] Kazakhstan. National Encyclopedia. Vol. 1 / Editor-in-Chief A. Nysanbayev. Almaty: "Kazakh Encyclopedia" Editorial Board, 1998. 720 p. (in Kaz.).
- [33] Donada J. T., Reinoso A. S. (2014). Toponyms as 'landscape indicators' // In Conference Paper January.
- [34] Conedera M., Vassere S., Neff C., Meurer M., Krebs P. Using toponymy to reconstruct past land use: a case study of 'brüsáda' (burn) in southern Switzerland // Journal of Historical Geography. 2007. Vol. 33, No. 4. P. 729-748.

Ш. У. Лайсханов¹, Д. Т. Алиаскаров², Р. Т. Тобаджанов^{*3}, Е. Д. Исаков⁴

¹ PhD, директор департамента науки и инноваций
(Международная образовательная корпорация, Алматы, Казахстан; laiskhanov@gmail.com)

² PhD, заведующий кафедрой «география и экология»
(КазНПУ им. Абая, Алматы, Казахстан; d.aliaskarov@abaiuniversity.edu.kz)

^{3*} Докторант кафедры «география и экология»
(КазНПУ им. Абая, Алматы, Казахстан; trt_84@mail.ru)

⁴ PhD, старший преподаватель кафедры «география и экология»
(КазНПУ им. Абая, Алматы, Казахстан; erlan.issakov@gmail.com)

ФИЗИКО-ГЕОГРАФИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ КАЗАХСТАНА И ИХ ОТРАЖЕНИЕ В ТЮРКСКИХ ТОПОНИМАХ

Аннотация. Тюркские топонимы рассматриваются как индикатор, отражающий физико-географические особенности и ландшафтные изменения на территории Казахстана. Проанализированы значения оронимов, гидронимов, лимнонимов, ойконимов, фитонимов, зоонимов, хоронимов, патомонимов и гелонимов, встречающихся в Казахстане. При анализе физико-географических особенностей страны и ландшафтных характеристик, отраженных в тюркских топонимах, использовались сравнительно-географические, картографические и топонимические методы. Путем раскрытия этнокультурного и географического значения тюркских топонимов определены закономерности их распространения в пространстве. Исследования показали, что многие географические названия в Казахстане отражают важные особенности природной среды и способствуют сохранению исторической информации о рельефе, водных объектах, растительности, животном мире и климатических условиях. Через топонимы выявлены ландшафтные следы, которые не соответствуют современному состоянию. Эти данные могут стать ценным источником информации при реализации мероприятий по охране природы и восстановлению ландшафтов.

Ключевые слова: тюркские топонимы, Казахстан, физическая география, изменения ландшафта, ономастика, гидронимы, оронимы.

Sh. U. Laiskhanov¹, D. T. Aliaskarov², R. T. Tobajanov³, Ye. D. Issakov⁴

¹PhD, Director of the Department of Science and Innovation
(International Educational Corporation, Almaty, Kazakhstan; laiskhanov@gmail.com)

²Head of the Department of Geography and Ecology
(Abai Kazakh National Pedagogical University, Almaty, Kazakhstan; d.aliaskarov@abaiuniversity.edu.kz)

³*Doctoral student of the Department of Geography and Ecology
(Abai Kazakh National Pedagogical University, Almaty, Kazakhstan; trt_84@mail.ru)

⁴Senior Lecturer of the Department of Geography and Ecology
(Abai Kazakh National Pedagogical University, Almaty, Kazakhstan; erlan.issakov@gmail.com)

PHYSICAL AND GEOGRAPHICAL FEATURES OF KAZAKHSTAN AND THEIR REFLECTION IN TURKIC TOPONYMS

Abstract. This article examines Turkic toponyms as indicators that reflect the physical and geographical features, as well as landscape changes, across the territory of Kazakhstan. The meanings of various categories of toponyms, such as oronyms, hydronyms, limnonyms, oikonoms, phytonyms, zoonoms, choronyms, pathonyms, and helonyms. found within Kazakhstan are analyzed. Comparative geographical, cartographic, and toponymic methods were employed to investigate the physical and geographical characteristics of the country and how they are embedded in Turkic place names. The research identifies spatial patterns in the distribution of these toponyms and reveals their ethnocultural and geographical significance. The findings show that many of Kazakhstan's geographical names encode critical information about natural features and serve as a repository of historical knowledge concerning terrain, water bodies, vegetation, fauna, and climatic conditions. Some toponyms preserve evidence of past landscapes that differ from their current state. These insights offer valuable resources for environmental conservation and landscape restoration efforts.

Keywords: Turkic toponyms, Kazakhstan, physical geography, landscape changes, onomastics, hydronyms, oronyms.

Юбилейные даты
Мерейтойлар
Anniversary dates

ДАВЛЕТГАЛИЕВ
СӘКЕН ҚАЛАМҚАЛИҰЛЫ
(Туғанына 90 жыл)



Қазақстанға танымал ғалым-гидролог, география ғылымдарының докторы, профессор **Давлетгалиев Сәкен Қаламқалиұлы** 2025 жылы 18 маусымда **90 жасқа** келеді.

Давлетгалиев Сәкен Қаламқалиұлы 1935 жылы Батыс Қазақстан облысы, Тасқала ауданының Амангелді ауылында (бұрынғы Каменка ауданы, 1-ші Чижа ауылы) дүниеге келді. Сәкен Қаламқалиұлы бастауыштың төрт сыныбын Амангелді ауылында бітірді. 1947 жылдан бастап оқуын Алматы қаласындағы Жамбыл атындағы №18 Қазақ ер балалары орта мектебінде жалғастырды.

1953 жылы Ленинград гидрометеорологиялық институтының гидрология факультетіне оқуға түсіп, 1958 жылы инженер-гидролог мамандығы бойынша диплом алады. Сол жылы жас маман ретінде ҚазКСР ҒА-ның Энергетика институтына жұмысқа жіберілді. Сәкен Қаламқалиұлы жұмысын су-энергетикалық мәселелер бөлімінде кіші лаборант қызметінен бастап, кейіннен аға лаборант, инженер және кіші ғылыми қызметкер сатыларын өтті. Бұл кезеңде ҚазКСР су энергетикасы кадастрын дайындауға және баспадан шығаруға, Тарбағатай Алатауының жылдық ағындысын зерттеуге, сондай-ақ ағындының жыл ішілік таралу заңдылықтарын зерттеуге қатысты.

1971 жылы техникалық ғылымдар кандидаты ғылыми дәрежесін алу үшін «Өзен ағындысының ықтималдық болжамдары және оларды СЭС пайдалану кезінде қолдану» тақырыбында кандидаттық диссертациясын қорғады. 1996 жылы Санкт-Петербург қаласында «Гидрологиялық қатарлар мен су ағындысы гидрографтарын статистикалық модельдеу» тақырыбында докторлық диссертациясын сәтті қорғады.

Профессор Давлетгалиев Сәкен Қаламқалиұлы Әл-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университетінде ұзақ жылдар бойы ұстаздық, ғылыми-зерттеу, әдістемелік және қоғамдық жұмыстармен

айналысып келеді. Ғалымның ғылыми ізденістері мемлекеттік және шаруашылық келісімшарттық тақырыптар мен гранттар аясында: Балқаш көлі, Д. А. Қонаев атындағы Үлкен Алматы каналы, Сібір өзендерінің ағындысын Қазақстан мен Орта Азияға бұру, Жайық, Іле, Ертіс, Сырдария трансшекаралық өзендері және Қазақстанның су ресурстары мен гидрологиялық сипаттамаларын бағалау мәселелеріне бағытталған.

Сәкен Қаламқалиұлы – 200-ге жуық ғылыми еңбектердің авторы, оның ғылыми мектебі қазіргі таңда ел ішінде де, шет елдерде де беделге ие. Әл-Фараби атындағы ҚазҰУ-нің метеорология және гидрология кафедрасында 40 жылдан бері оқытушылық қызмет атқарып келеді, көптеген курстық, дипломдық жұмыстарға, магистрлік диссертацияларға, PhD докторанттарға жетекшілік ете отырып, 2 география ғылымдарының кандидатын, 1 PhD доктор дайындады.

Ғылыми және педагогикалық қызметтегі жетістіктері үшін «Еңбек ардагері» медалімен, «ҚР білім беру ісінің үздігі» төсбелгісімен және әл-Фараби атындағы ҚазҰУ мен ҚР БҒМ Құрмет грамоталарымен марапатталған.

Сәкен Қаламқалиұлы – үлкен еңбексүйгіштік, адалдық, әділдік, жоғары мәдениет, сыпайылық және адамдарға деген ерекше ілтипатымен танылған тұлға.

Құрметті Сәкен Қаламқалиұлы!

Сізді 90 жасқа толған мерейлі жасыңызбен шын жүректен құттықтаймыз!

Сізге зор денсаулық, сарқылмас шабыт пен шығармашылық табыс, ұзақ ғұмыр тілейміз!

Біз Сізді Қазақстанның гидрология ғылымының дамуына баға жетпес қосқан үлесіңізбен, ғылыми әлеуеті зор, талантты, еңбекқор ғалым, ғылым жолына және оқытушылық қызметке терең берілген адам ретінде білеміз!

Сәкен Қаламқалиұлы, Сіздің қажырлы еңбегіңізді әріптестеріңіз, студенттеріңіз бен ізбасарларыңыз құрметтейді, сіздің ғылым мен білім саласындағы жетістіктеріңіз әркез бағаланып, көптеген марапаттармен марапатталуда. Сіздің өміріңіз бен шығармашылық жолыңыз ғылымға қызмет етудің үлгісі болып табылады, жеке басыңыздағы ғылыми ізденістерге деген ұқыптылық, қарапайымдылық, адамдарға деген ілтипат пен мейірімділік сияқты қасиеттерге тек гидрологтар ғана емес, сонымен қатар басқа саладағы адамдар да құрметпен қарайды.

*Ізгі тілекпен –
әріптестеріңіз, шәкірттеріңіз
және редакция ұжымы*

МАЗМҰНЫ – СОДЕРЖАНИЕ – CONTENTS

Гидрология и водное хозяйство Гидрология және су шаруашылығы Hydrology and water management

- Драбкова Т. В., Абдудалипова Н. М., Рахматуллаев Ф. Н., Рахматов У. Н.*
Мониторинг водных ресурсов Узбекистана и перспективы использования ионообменных установок для очистки сточных вод..... 3
(*Drabkova T. V., Abdutalipova N. M., Rakhmatullaev F. N., Rakhmatov U. N.* Monitoring of water resources in Uzbekistan and prospects for the use of ion-exchange plants for wastewater treatment).
- Муздыбаев М. А., Амантаев Д. К., Кабдешев А. Н., Амантай А. А.*
Динамика изменения площади озера Есик в условиях изменения климата.....13
(*Muzdybaev M. A., Amantayev D. K., Kabdeshev A. N., Amantai A. A.* Dynamics of the Yesik Lake's surface area under climate change conditions)
- Алимкулов С. К., Мырзахметов А. Б., Баспакова Г. Р., Рүстем Д. Ә., Загидуллина А. Р., Исақан Г.*
Балқаш көлінің батыс және шығыс бөліктері арасындағы су алмасудың өзгергіштігі.....21
(*Alimkulov S. K., Myrzakhmetov A. B., Baspakova G. R., Rustem D. A., Zagidullina A. R., Isakan G.* Variability of water exchange between the western and eastern parts of the Balkhash Lake)

Гидрохимия и качество воды Гидрохимия және судың сапасы Hydrochemistry and water quality

- Гусейнова Н. Х.* Оптимизация водоподготовки на джейранбатанских ультрафильтрационных установках путем включения стадии обратной промывки раствором сульфата меди..... 30
(*Huseynova N. H.* Optimization of the water treatment process at Jeyranbatan ultrafiltration plants by including a backwash stage with copper sulfate solution)

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

- Мұса Д. А., Тусупова Б. Х., Курбанова Л. С., Нурмакова С. М., Қырғызбай Қ. Т.*
Ақтөбе қаласының топырақ жағдайына ауыр металдармен ластанудың әсерін бағалау..... 42
(*Musa D. A., Tussupova B. H., Kurbanova L. S., Nurmakova S. M., Kyrgyzbay K. T.* Assessment of heavy metal pollution impact on soil conditions of Aktobe city)
- Токбергенова А. А., Басова Т. А., Күдерин А. А., Муссағалиева А. Н., Билялов Б., Акмолдаева Б. К.*
Картографическая оценка ландшафтно-экологического состояния Западно-Казахстанского региона..... 53
(*Tokbergenova A. A., Bassova T. A., Kuderin A. A., Mussagaliyeva A. N., Bilyalov B., Akmoldayeva B. K.* Cartographic assessment of the landscape and ecological state of the West Kazakhstan region)
- Smolyar V. A., Adenova D. K., Rakhimova V. S., Sapargaliev D. S.* Assessment of irrigated agriculture availability due to groundwater deposits explored for land irrigation in Southern and Eastern Kazakhstan..... 64
(*Смоляр В. А., Аденова Д. К., Рахимова В. С., Сапарғалиев Д. С.* Оңтүстік және Шығыс Қазақстан аймағында жерді суару үшін зерттелген жерасты су кендерінің суармалы шаруашылығының қауіпсіздігін бағалау)

Климатология и метеорология Климатология және метеорология Climatology and meteorology

- Талипова Э. К., Нысанбаева А. С., Тұрсынбай А. А.* Қазақстанның оңтүстігіндегі құрғақшылықтың қарқындылығы мен жиілігіне климаттық өзгерістердің әсерін бағалау..... 73
(*Talipova E. K., Nyssanbayeva A. S., Tursynbay A. A.* Assessment of the impact of climate change on the intensity and frequency of droughts in the Southern Kazakhstan)

Опасные экзогеодинамические процессы
Қауіпті экзогеодинамикалық процестер
Dangerous exogeodynamic processes

- Халыков Е. Е., Тогыс М. М., Лый Ю. Ф., Оразбекова К. С., Алдаберген У. Р.* Исследование оползня в долине реки Каскелен с использованием беспилотного летательного аппарата.....86
(Khalykov Ye. Ye., Togys M. M., Lyy Yu. F., Orazbekova K. S., Aldabergen U. P. Investigation of the landslide in the Kaskelen River valley using an unmanned aerial vehicle)
- Popov N. V., Ranova S. U., Kamalbekova A. N.* Rare seismogenic events in the Ile Alatau..... 97
(Попов Н. В., Ранова С. У., Камалбекова А. Н. Іле Алатауындағы сейсмогендік құбылыстар)

Рекреационная география и туризм
Рекреациялық география және туризм
Recreational geography and tourism

- Valeyev A. G., Issanova G. T., Yegemberdiyeva K. B., Mussagaliyeva A. N., Sarybaev E. S.* Assessment of physical capacity of the beach and recreational and geomorphological potential of the south-western shore of Alakol Lake..... 107
(Валеев А. Г., Исанова Г. Т., Егембердиева К. Б., Мусағалиева А. Н., Сарыбаев Е. С. Алакөл көлінің оңтүстік-батыс жағалауының физикалық сыйымдылығын және рекреациялық-геоморфологиялық жағажайдың әлеуетін бағалау)

Топонимика
Топонимика
Топонимика

- Лайсханов Ш. У., Алиаскаров Д. Т., Тобадажанов Р. Т., Исаков Е. Д.* Қазақстанның физикалық-географиялық ерекшеліктері мен өзгерістерінің түркі топонимдерінде көрініс табуы.....121
(Laishkanov Sh. U., Aliaskarov D. T., Tobajanov R. T., Issakov Ye. D. Physical and geographical features of Kazakhstan and their reflection in turkic toponyms)

Юбилейные даты
Мерейтойлар
Anniversary dates

- Давлетғалиев Сәкен Қаламқалиұлы (туғанына 90 жыл)..... 135*

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 подписуточных подписях. В подписуточной подписи необходимо четко отделить (новая строка) собственно название рисунка от объяснений к нему (экспликация). Подписуточные 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 23.06.2025 қол қойылды.
Пішіні 60x88¹/₈. Офсеттік басылым.
Баспа – ризограф. 9,0 п.л.
Таралымы 300 дана.

Подписано в печать 23.06.2025.
Формат 60x88¹/₈. Бумага офсетная.
Печать – ризограф. 9,0 п.л.
Тираж 300.

Passed for printing on 23.06.2025.
Format 60x88¹/₈. Offset paper.
Printing – risograph. 9,0 p/p.
Number of printed copies 300.

«Нұрай Принт Сервис» ЖШС
баспаханасында басылып шықты.
050026, Алматы қ.,
Мұратбаев көшесі 75, оф. 3.
Тел.: +7(727)234-17-02

Отпечатано в типографии
ОО «Нұрай Принт Сервис».
050026, г. Алматы,
ул. Мұратбаева, 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