

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**

3

**ШІЛДЕ – ҚЫРКҮЙЕК 2024 ж.
ИЮЛЬ – СЕНТЯБРЬ 2024 г.
JULY – SEPTEMBER 2024**

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

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

АЛМАТЫ

АЛМАТЫ

ALMATY

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

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

Редакция алқасы:

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

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

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

Редакционная коллегия:

академик НАН РК, доктор географических наук **И. В. Северский**; доктор PhD, ассоциированный профессор климатологии **М. Шахгеданова** (Великобритания); академик Международной академии наук Европы и Азии (IASEA), доктор технических наук **Цуй Вэйхун** (Китайская Народная Республика); доктор географических наук **О. Б. Мазбаев**; доктор географических наук **Б. А. Красноярова** (Россия); доктор географических наук **Д. Т. Чонтоев** (Қырғызстан); доктор географических наук **Н. А. Амиргалиев**; доктор геолого-минералогических наук **М. К. Абсаметов**; кандидат географических наук **А. Л. Кокарев**; доктор PhD **А. С. Мадібеков**; кандидат геолого-минералогических наук **Е. Ж. Муртазин**; доктор географических наук **А. В. Чередниченко**; кандидат географических наук **А. А. Тұрсынова**; 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: *050010, г. Алматы, ул. Пушкина, 99.*
Тел.: +7(727)291-81-29, факс: +7(727)291-81-02

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/10.55764/2957-9856/2024-3-3-13.21>

МРНТИ 70.01.11

УДК 556

С. К. Давлетгалиев¹, А. А. Турсунова², А. Т. Базарбек^{*3}

¹ Д. г. н., профессор (Казахский национальный университет им. аль-Фараби, Алматы, Казахстан; sdavletgaliev@mail.ru)

² К. г. н., ассоциированный профессор, руководитель лаборатории водных ресурсов (АО «Институт географии и водной безопасности», Алматы, Казахстан; ais.tursun@bk.ru)

^{3*} Младший научный сотрудник (АО «Институт географии и водной безопасности», Алматы, Казахстан; aydanabt@gmail.com)

ОЦЕНКА И ПРОГНОЗ МЕСЯЧНОГО СТОКА БАСЕЙНА РЕКИ АРЫС МЕТОДОМ КАНОНИЧЕСКОГО РАЗЛОЖЕНИЯ

Аннотация. В работе рассмотрена возможность использования результатов совместного моделирования стока и стокообразующих факторов для оценки и прогноза водных ресурсов бассейна реки Арыс. Для решения этой задачи использован метод канонического разложения, который позволяет охарактеризовать случайный процесс (речной сток) совокупностью независимых случайных величин и неслучайных функций. Метод является оптимальным в классе линейных преобразований, разложение осуществляется по естественным ортогональным составляющим. По двум сценариям, RCP 4.5 и RCP 8.5, спрогнозированы месячные, годовые и вегетационные гидрографы речного стока реки Арыс на 2030, 2040 и 2050 годы. Результаты исследования показали, что изменения речного стока к 2030, 2040, 2050 гг. колеблются около климатической нормы 1974-2019 гг. как в сторону уменьшения, так и увеличения. Использование модели канонического разложения на основе зависимости стока от климатических характеристик вполне оправдано полученными результатами.

Ключевые слова: месячный сток, гидрограф стока, осадки, статистическое моделирование, каноническое разложение, стокообразующие факторы, метеорологические факторы, прогноз речного стока.

Введение. С признанием глобальных изменений климата [1-5] широкое распространение получили методы прогнозной оценки, основанные на зависимости стока от метеорологических элементов как основных факторов формирования стока, наиболее подверженных изменениям. Так, имея тесную статистическую связь между стоком и метеоэлементами за ретроспективу, можно использовать ее как прогностическую и, подставляя прогнозные значения метеоэлементов, получать прогнозные значения стока. Для этого необходимы надежные прогнозы климата, но дать их с высокой степенью вероятности на долгосрочную перспективу не представляется возможным. В этой ситуации разработаны различные варианты развития климатических изменений, так называемые «сценарии» или «сценарные прогнозы» [6-8].

Использование МОЦАО (модели общей циркуляции атмосферы и океана) при прогнозировании речного стока дает неплохие результаты [9-14], однако климатические модели имеют недостаточное пространственное разрешение, а потому не учитывают региональные особенности территорий.

В данных исследованиях рассматривается густонаселенный регион Казахстана – бассейн р. Арыс. Бассейн р. Арыс расположен между хребтом Таласский Алатау и его отрогами на юге и хребтом Каратау на севере. Высота Таласского Алатау на востоке превышает 4000 м. Вершины

хребта покрыты вечными снегами, а в истоках рек Жабагылысу и Аксу (левые притоки) имеются небольшие ледники.

Границы бассейна, ясно выраженные в восточной его части по хребтам Таласский Алатау и Каратау, на западе среди равнинной местности теряют свою определенность. Общая площадь бассейна составляет 14 900 км², на горную его часть приходится 7170 км², или около 50% [15-17].

В пределах Республики Казахстан до р. Сырдария доносит свои воды только р. Арыс с притоками Жабагылысу, Аксу, Боролдай и Бадам (рисунок 1). Река Арыс в Толебийском и Сайрамском районах Туркестанской области – важный бассейн для экономического развития Казахстана. Водопотребление в бассейне осуществляется на нужды сельского хозяйства, куда входят орошаемое земледелие, сельскохозяйственное водоснабжение сельских населенных пунктов и обводнение пастбищ [18].

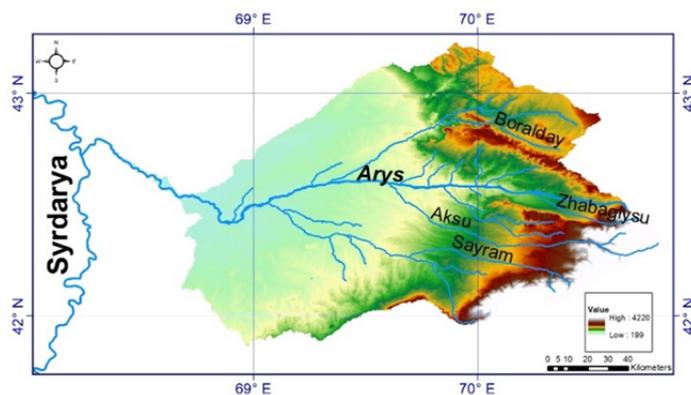


Рисунок 1 – Карта-схема бассейна реки Арыс

Figure 1 – Map of the Arys River basin

Объект исследования. Координаты реки Арыс 42°31'01" с. ш., 70°37'39" в. д. и 42°47' с. ш., 68°14' в. д., она берет начало в урочище Шакпак, представляющем собой седловину между хребтами Таласский Алатау и Каратау. Исток реки образуется от слияния родников в 7 км выше с. Веселое. Площадь водосбора реки Арыс до ж.-д. ст. Арыс составляет 13 000 км², бассейн расположен в диапазоне высот 200-4200 м. Средняя высота бассейна равна 900 м. Около 85 % площади водосбора находится в диапазоне высот 200-1500 м, длина реки 378 км.

Река Арыс протекает в трех основных ландшафтных зонах: горной – от истоков до устья р. Кокбулак; предгорной – между устьями рек Кокбулак и Бадам; равнинной – ниже устья р. Бадам [15-17].

Материалы и методы. Гидрологическое моделирование дает возможность прогнозирования стока и предупреждения опасных гидрологических явлений, в том числе различные сценарии развития событий в зависимости от входных параметров и последующую корректировку планируемой деятельности. При этом необходимы обязательное техническое сопровождение и потребность в прикладных программах, что можно отнести к недостаткам метода, так как все это требует больших финансовых вложений. Поэтому во многих странах материальное обеспечение научных центров, занимающихся моделированием, берет на себя правительство – ведь контроль, регулирование, своевременное предупреждение чрезвычайных ситуаций – это необходимая мера для благополучия и успешного развития любого государства [19-21].

Статистическое моделирование представляет собой метод получения с помощью программно-технических средств ЭВМ статистических данных о процессах, происходящих в моделируемой системе [22]. Так, рассматривая речной сток как вероятностный процесс, производится статистическая оценка его показателей (стокообразующих факторов), на основе которой моделируется поведение реального процесса стока в произвольные моменты времени. Моделирование случайных (вероятностных) процессов строится на основе базовых распределений случайных величин. В этом отношении наиболее подходящим методом статистического моделирования является метод канонического разложения, который позволяет охарактеризовать случайный процесс (речной сток) совокупностью независимых случайных величин и неслучайных функций [23-25].

Теорию канонических разложений случайных функций и ее применение в аэродинамике в 1950-х гг. предложил выдающийся советский ученый в области авиационного вооружения Пугачев В. С. [26]. Идея метода канонических разложений состоит в том, что случайная функция, над которой нужно произвести те или иные преобразования, предварительно представляется в виде суммы так называемых элементарных случайных функций. Метод является оптимальным в классе линейных преобразований, разложение осуществляется по естественным ортогональным составляющим (метод главных компонент). «Каноническое» означает образцовое, основополагающее; «канон» с греческого переводится как «правило, образец».

Применение канонического разложения для моделирования речного стока апробировала группа ученых-водников: Давлетгалиев С. К., Бусалаев И. В., Куперман И. Г. [25-27]. Они представили месячный речной сток, атмосферные осадки и температуру воздуха как три случайные векторные функции:

$$Q(t) = m_Q(t) + \sum_{v=1}^M \varphi_{v1}^{(1)}(t) V_v^{(1)},$$

$$P(t) = m_p(t) + \sum_{v=1}^M \varphi_{v2}^{(1)}(t) V_v^{(1)} + \sum_{v=1}^M \varphi_{v2}^{(2)}(t) V_v^{(2)},$$

$$T(t) = m_T(t) + \sum_{v=1}^M \varphi_{v3}^{(1)}(t) V_v^{(1)} + \sum_{v=1}^M \varphi_{v3}^{(2)}(t) V_v^{(2)} + \sum_{v=1}^M \varphi_{v3}^{(3)}(t) V_v^{(3)},$$

где $Q(t)$ – речной сток, $P(t)$ – атмосферные осадки, $T(t)$ – температура воздуха; $m_Q(t)$, $m_p(t)$, $m_T(t)$ – математическое ожидание составляющих $Q(t)$, $P(t)$, $T(t)$; $V_v^{(1)}$, $V_v^{(2)}$, $V_v^{(3)}$ – некоррелированные случайные величины, математические ожидания которых равны нулю; $\varphi_{v2}^{(1)}(t)$, $\varphi_{v3}^{(1)}(t)$ – взаимные координатные функции $Q(t)$ с составляющими $P(t)$ и $T(t)$, $\varphi_{v3}^{(2)}(t)$ – то же, составляющих $P(t)$ и $T(t)$, $\varphi_{v3}^{(3)}(t)$ – то же, составляющей $T(t)$.

Из формулы следует, что сначала строится каноническое разложение стока первой составляющей $Q(t)$, как и в случае одномерного разложения, затем по значениям $\varphi_{v2}^{(1)}(t)$, $\varphi_{v2}^{(2)}(t)$ – каноническое разложение второй составляющей $P(t)$, по функциям $\varphi_{v3}^{(1)}(t)$, $\varphi_{v3}^{(2)}(t)$, $\varphi_{v3}^{(3)}(t)$ – разложение третьей составляющей $T(t)$.

Процесс моделирования заключается в получении последовательности случайных чисел, равномерно распределенных в интервале от 0 до 1; перевод этих чисел в обеспеченности; определение по ним соответствующего значения случайной величины, т.е. модульного коэффициента стока заданного закона распределения. Закон распределения устанавливается по данным наблюдений, по вычисленным значениям параметров \bar{Q} , C_v и C_s . В качестве такого закона может быть принята кривая Крицкого-Менкеля или Пирсона III типа. Коррелированность рядов учитывается по уравнению регрессии, включающей коэффициент автокорреляции [22].

Результаты и их обсуждение. В работе показана возможность использования результатов совместного моделирования стока и стокообразующих факторов (атмосферных осадков) для оценки и прогноза водных ресурсов бассейна реки Арыс на примере гидрологического поста р. Аксу – а. Саркырама. Для решения этой задачи использован метод канонического разложения. Прогнозы гидрографа месячного, годового и вегетационного стока реки Арыс составлены на 2030, 2040 и 2050 гг.

Алгоритм моделирования величин месячного стока и осадков подробно изложен в работах [22, 27].

Использованы данные наблюдений за среднемесячным расходом воды с 1974 по 2018 г. и месячной суммой осадков за тот же период по близлежащей метеостанции. Предварительно проверялась корреляционная связь между стоком и осадками (рисунок 2). При $R > 0,7$ метеоданные

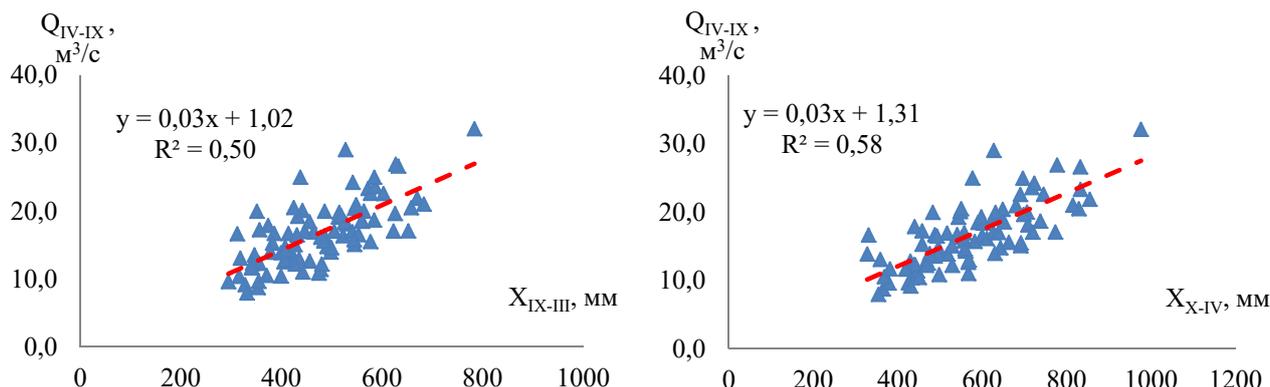


Рисунок 2 – График корреляционной связи между стоком (ГП р. Аксу – а. Саркырама) и атмосферными осадками (МС Тасарык)

Figure 2 – The graph of the correlation between the runoff (Hydropost Aksu River – Sarkyrama village) and atmospheric precipitation (Meteostation Tasaryk)

принимались для дальнейшего моделирования. Удовлетворительные статистические параметры стока и осадков наблюдаемых и смоделированных рядов целесообразны для составления сценарных прогнозов речного стока.

Согласно разработанному алгоритму подготовлены входные данные для моделирования (проведена проверка на однородность гидрологических и метеорологических рядов, рассчитаны основные характеристики – норма, C_s , C_v).

Моделирование проводилось в специальной программе FORTRAN. Длина смоделированных рядов составила 500 лет, что является оптимальным для выборки. Качество модели оценивалось по степени соответствия параметров исходных и смоделированных рядов. Сравнение параметров месячных значений изучаемых величин приведено в таблице 1. В последней графе таблицы даны характеристики годовых величин стока и осадков, полученные из наблюдаемых и смоделированных месячных значений стока и осадков.

Таблица 1 – Статистические параметры среднемесячных расходов воды и осадков для наблюдаемых (1-я строка) и смоделированных (2-я строка) рядов (n=500) р. Аксу – а. Саркырама и МС Тасарык

Table 1 – Statistical parameters of average monthly stream flow and precipitation for the observed (1st line) and modeled (2nd line) series (n=500) river Aksu – v. Sarkyrama and meteostation Tasaryk

Параметры	Месяцы												Год
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	
Р. Аксу – а. Саркырама													
Q , м³/с	3,79	3,60	4,32	10,1	19,7	29,5	24,0	13,6	7,99	5,75	4,94	4,34	11,0
	3,93	3,70	4,42	10,5	20,0	29,8	24,2	13,6	7,98	5,74	4,91	4,27	11,1
C_v	0,20	0,22	0,38	0,43	0,35	0,33	0,32	0,27	0,24	0,22	0,22	0,22	0,26
	0,19	0,22	0,38	0,43	0,35	0,33	0,31	0,27	0,25	0,23	0,24	0,24	0,26
C_s/C_v	1	1	5	2	1	1	1	2	1	1	1	1	1
	2	1	5	2	1	1	1	2	2	2	1	2	1
r	0,83	0,76	0,46	0,18	0,42	0,29	0,35	0,20	0,29	0,64	0,68	0,71	0,35
	0,82	0,77	0,41	0,10	0,36	0,18	0,27	0,14	0,24	0,63	0,68	0,70	0,28
Осадки													
X , мм	71,8	77,1	98,2	115,2	95,5	36,2	21,4	12,4	17,74	66,0	80,8	80,1	773
	69,9	74,7	99,6	115,7	99,4	38,3	22,5	12,5	17,38	65,1	82,4	79,9	781
C_v	0,44	0,48	0,41	0,42	0,54	0,76	1,22	1,29	1,00	0,77	0,62	0,49	0,18
	0,43	0,47	0,41	0,43	0,54	0,76	1,19	1,26	1,03	0,76	0,63	0,47	0,19
C_s/C_v	1	3	1	1	1	1	2	2	1	1	1	1	4
	2	3	1	1	1	1	2	3	1	1	1	1	1
r	0,04	0,15	-0,08	-0,06	0,19	0,21	0,16	-0,13	-0,01	-0,01	-0,16	0,07	0,27
	0,07	0,07	-0,06	-0,12	0,16	0,20	0,16	-0,11	-0,04	-0,04	-0,13	0,02	0,02

Как видно из таблицы 1, по всем выбранным параметрам прослеживается хорошее соответствие средних значений и коэффициентов вариации речного стока и атмосферных осадков при продолжительности смоделированных рядов 500 лет ($n=500$). Расхождение между наблюдаемыми и смоделированными значениями коэффициентами асимметрии и автокорреляции первого порядка лежат в пределах точности расчета этих параметров. В таблицах 2 и 3 приведены фрагменты корреляционной и взаимнокорреляционной матрицы стока и осадков.

Таблица 2 – Корреляционная матрица среднемесячных расходов воды (р. Аксу – а. Саркырама) и месячных количеств осадков (МС Тасарык) для наблюдаемых (1-я строка) и смоделированных (2-я строка) рядов ($n=500$)

Table 2 – Correlation matrix of observed (Line 1) and modeled (Line 2) series ($n=500$) of average monthly water discharges (Aksu River – Sarkyrama village) and monthly precipitation (meteostation Tasaryk)

Месяц	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
Р. Аксу – а. Саркырама												
I	1	0,88	0,65	0,53	0,58	0,47	0,38	0,41	0,51	0,64	0,66	0,65
		0,89	0,46	0,28	0,46	0,29	0,23	0,20	0,33	0,57	0,65	0,69
II		1	0,75	0,56	0,63	0,46	0,35	0,33	0,45	0,63	0,66	0,61
			0,59	0,34	0,56	0,35	0,28	0,21	0,35	0,62	0,71	0,71
III			1	0,66	0,71	0,63	0,43	0,47	0,44	0,64	0,63	0,50
				0,55	0,67	0,60	0,40	0,41	0,41	0,59	0,58	0,48
IV				1	0,80	0,77	0,69	0,69	0,65	0,64	0,59	0,43
					0,77	0,77	0,70	0,71	0,67	0,55	0,50	0,40
V					1	0,83	0,70	0,65	0,62	0,70	0,78	0,67
						0,81	0,70	0,64	0,66	0,71	0,73	0,65
VI						1	0,81	0,71	0,62	0,60	0,64	0,52
							0,77	0,66	0,60	0,52	0,52	0,44
Осадки												
VII							1	0,14	0,39	0,00	0,08	-0,27
								0,05	0,41	0,00	0,04	-0,27
VIII								1	-0,08	-0,14	-0,29	-0,23
									-0,04	-0,08	-0,20	-0,12
IX									1	0,11	0,02	-0,32
										0,11	-0,03	-0,28
X										1	-0,14	-0,01
											-0,16	-0,02
XI											1	0,01
												-0,02
XII												1

Модель канонического разложения также хорошо воспроизводит корреляционную и взаимнокорреляционную матрицу исходных и смоделированных данных.

Далее проводилась проверка полученных результатов путем сравнения смоделированных значений с фактическими данными для различных по водности лет (таблица 4). Для этой цели, согласно [28], по фактическим данным наблюдений были выбраны многоводные, средневодные и маловодные годы, за которые определялись следующие параметры: количество годовых осадков, количество осадков за вегетационный период, годовой сток, сток за вегетационный период. В соответствии с указанными параметрами фактических осадков выбирались их приближенные смоделированные значения по порядковому номеру реализации, которых всего 500. По номерам реализаций осадков определялись соответствующие им значения смоделированного месячного стока. Так как реализаций может быть несколько, значения месячного стока осреднялись.

Таблица 3 – Взаимнокорреляционная матрица среднемесячных расходов воды (р. Аксу – а. Саркырама) и месячных количеств осадков (МС Тасарык) для наблюдаемых (1-я строка) и смоделированных (2-я строка) рядов (n=500)

Table 3 – Cross-correlation matrix of average monthly water discharges (Aksu River – Sarkyrama village) and monthly precipitation (meteostation Tasaryk) for observed (Line 1) and modeled (Line 2) series (n= 1000)

Месяц	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
I	0,07	0,06	0,27	0,11	0,24	0,23	0,22	0,22	0,11	0,10	0,09	0,08
	-0,05	-0,07	0,09	0,03	0,17	0,16	0,14	0,15	0,05	0,01	-0,04	-0,03
II	0,13	0,29	0,30	0,54	0,45	0,55	0,50	0,40	0,35	0,36	0,33	0,18
	0,01	0,13	0,18	0,50	0,37	0,51	0,49	0,40	0,37	0,28	0,25	0,16
III	0,18	0,21	0,31	0,39	0,31	0,42	0,47	0,45	0,37	0,35	0,24	0,12
	0,02	0,07	0,21	0,32	0,20	0,36	0,38	0,36	0,28	0,15	0,09	0,04
IV	0,16	0,06	0,19	0,49	0,42	0,53	0,56	0,62	0,50	0,30	0,23	0,19
	-0,02	-0,04	0,14	0,55	0,41	0,53	0,50	0,60	0,47	0,20	0,11	0,08
V	0,03	0,00	-0,02	0,15	0,20	0,31	0,47	0,41	0,31	0,21	0,06	0,08
	0,02	0,01	-0,02	0,18	0,22	0,30	0,46	0,39	0,29	0,17	0,05	0,05
VI	0,37	0,36	0,17	0,18	0,29	0,18	0,31	0,32	0,33	0,30	0,23	0,30
	0,26	0,29	0,19	0,21	0,33	0,18	0,31	0,30	0,33	0,30	0,25	0,25
VII	0,28	0,27	0,10	0,06	0,19	-0,05	0,28	0,41	0,45	0,42	0,24	0,22
	0,15	0,19	0,12	0,05	0,19	-0,05	0,28	0,39	0,44	0,33	0,21	0,18
VIII	-0,09	0,08	0,11	0,11	0,18	0,19	0,23	0,15	0,14	0,19	0,03	-0,03
	-0,06	-0,01	0,00	0,01	0,09	0,14	0,16	0,08	0,05	0,05	-0,03	-0,05
IX	0,02	0,06	-0,02	0,04	0,03	-0,09	0,09	0,14	0,08	0,32	0,29	0,25
	0,00	0,02	-0,04	0,05	0,03	-0,11	0,14	0,19	0,16	0,28	0,20	0,18
X	-0,05	-0,07	-0,14	-0,22	-0,08	-0,19	-0,28	-0,28	-0,21	-0,09	0,14	0,10
	0,05	0,04	-0,06	-0,21	-0,04	-0,16	-0,24	-0,25	-0,16	-0,04	0,11	0,12
XI	0,06	0,08	-0,06	-0,12	0,06	0,05	-0,05	-0,15	-0,14	-0,14	0,12	0,18
	0,06	0,11	0,07	-0,03	0,06	0,07	-0,04	-0,17	-0,12	-0,02	0,14	0,15
XII	0,03	-0,09	-0,14	-0,07	-0,08	-0,01	-0,02	-0,06	0,03	-0,06	-0,05	0,14
	0,04	-0,01	0,02	0,14	0,07	0,16	0,09	0,05	0,08	0,00	-0,01	0,09

Таблица 4 – Характеристики стокообразующих факторов и среднегодового расхода воды р. Аксу – а. Саркырама и МС Тасарык

Table 4 – Characteristics of runoff factors and the average annual water consumption Aksu River – Sarkyrama village and meteostation Tasaryk

Параметры	№ соответствующего смоделированного гидрографа	Год	Количество годовых осадков, мм	Количество осадков за вег. период, мм	Годовой сток, м ³ /с	Сток за вегетационный период, м ³ /с
Многоводный год	57, 83, 128, 161, 253	2010	<u>818</u>	<u>751</u>	<u>17,9</u>	<u>29,0</u>
Отклонение, %			11,8	5,20	2,00	1,10
Средневодный год	127, 141, 233, 252, 353	1988	<u>656</u>	<u>442</u>	<u>11,2</u>	<u>18,5</u>
Отклонение, %			8,80	8,10	1,30	5,90
Маловодный год	60, 146, 259, 274, 473	1982	<u>708</u>	<u>427</u>	<u>5,83</u>	<u>1,94</u>
Отклонение, %			11,6	10,0	0,20	7,10
<i>Примечание: В числителе приведены фактические данные, в знаменателе – смоделированные значения.</i>						

Как видно из таблицы 4, в створе р. Аксу – а. Саркырама решение задачи проверено на примере данных за 2010 год (многоводный год), 1982 год (маловодный год) и 1988 год (средневодный год). За 2010 г. по значениям фактических данных выбраны пять гидрографов месячного стока с соответствующим номером смоделированного ряда 57, 83, 128, 161, 253. Величина смоделированного годового стока отличается от фактических данных на 2 %, за вегетационный период – на 1,1 %. За 1982 г. по значениям фактические данные годового стока совпадают с моделируемыми данными, а за вегетационный период отличаются на 7,1 %. В средневодный год (1988 г.) по фактическим данным выбраны пять гидрографов месячного стока, величина смоделированного годового стока отличается от фактических данных на 1,3 %, а в вегетационный период – на 5,9 %.

На рисунке 3 изображены смоделированные и наблюдаемые гидрографы месячного стока различных лет водности. Наглядно видно, что в средние по водности годы разница моделированного и наблюдаемого стока составляет не более 2 %, тогда как в многоводные годы эта разница выше, при прогнозировании стока необходимо это учесть.

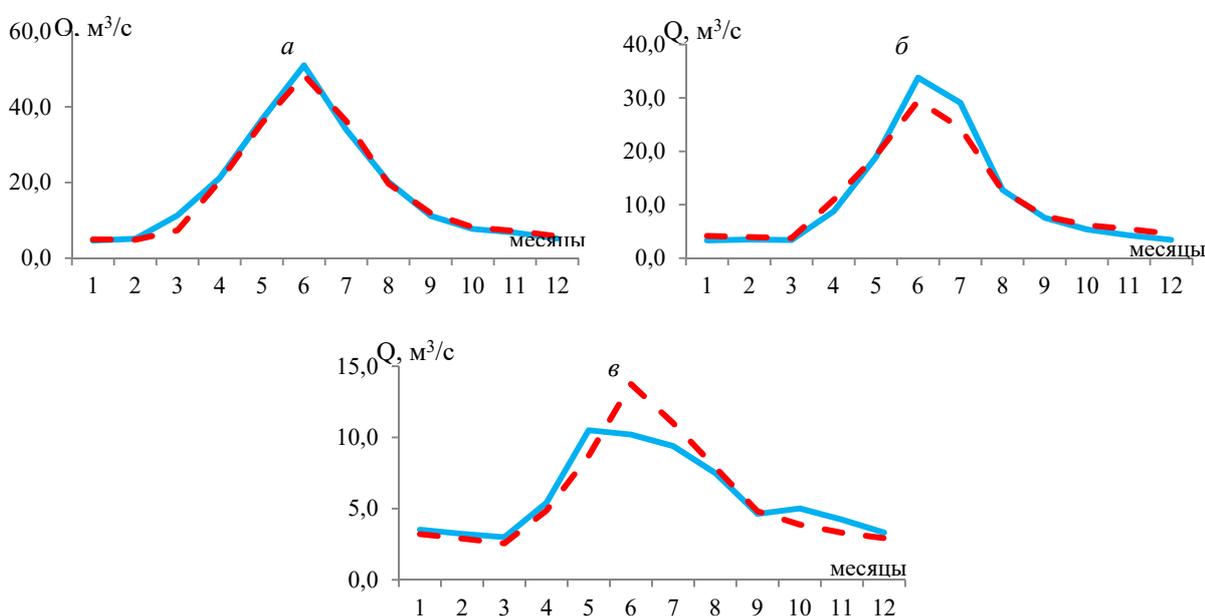


Рисунок 3 – Гидрографы месячного стока р. Аксу – а.Саркырама:
a – многоводный год (2010); *б* – средневодный год (1988); *в* – маловодный год (1982)
 — наблюдаемые данные; - - - смоделированные данные

Figure 3 – Hydrographs of the monthly runoff of the river Aksu – Sarkyrama village:
a – high-water year (2010); *b* – average year (1988); *c* – dry year (1982)
 — observed data; - - - forecast data

В целом смоделированные методом канонического разложения ряды стока и осадков имеют параметры, близкие к параметрам фактических данных, и сохраняют авто- и взаимнокорреляционную матрицу, присущую исходным рядам. Следовательно, метод канонического разложения может быть использован для оценки климатически обусловленных изменений речного стока Аксу.

Полученные по модели канонического разложения значения атмосферных осадков используются для составления сценарных прогнозов речного стока. Для этого проводится выборка смоделированных данных осадков, соответствующих данным МОЦАО для трех периодов: 2030, 2040 и 2050 гг. по двум сценариям RCP 4.5 и RCP 8.5. За базовый период принимался 1981-2000 гг. Смоделированный сток, соответствующий выбранной реализации осадков, является прогнозным. По нему построены прогнозные гидрографы (рисунок 4).

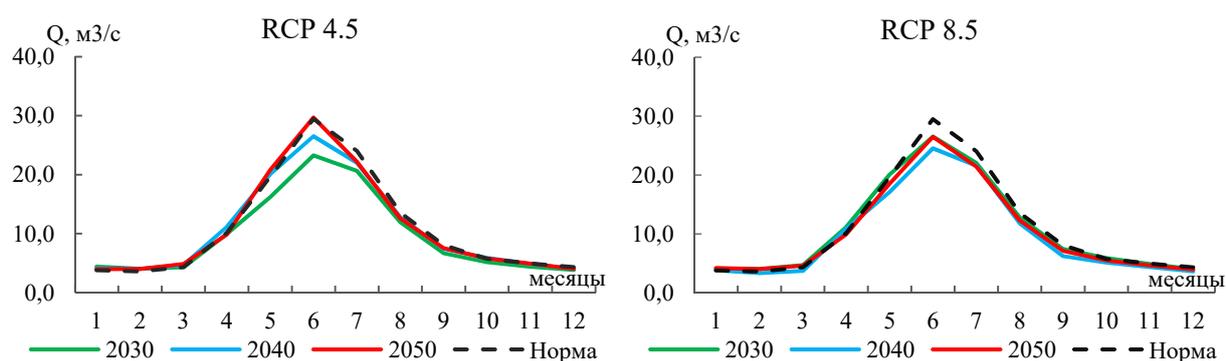


Рисунок 4 – Прогнозные гидрографы стока по методу канонического разложения на перспективу 2030, 2040, 2050 гг.

Figure 4 – Forecast flow hydrographs using the canonical decomposition method for the future 2030, 2040, 2050

В целом по бассейну р. Аксу форма гидрографа на все прогнозируемые годы по различным сценариям остается практически неизменной в осенне-зимние периоды, а в половодье ожидается уменьшение стока и в некоторых случаях смещение его пика на более ранние либо поздние даты. На прогнозных гидрографах можно увидеть срезку пиков половодья и некоторое увеличения стока в холодные месяцы года (таблица 5).

Таблица 5 – Ожидаемые изменения ежемесячных характеристик стока на долгосрочную перспективу

Table 5 – Expected changes in monthly flow characteristics for the long term

Сценарий	Период	Параметры	Месяцы												Год
			I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	
RCP 4.5	1974-2019	Q, м ³ /с	3,79	3,60	4,32	10,1	19,7	29,5	24,0	13,6	8,06	5,75	4,94	4,34	11,0
		Отклонение, %													
	2030	Q, м ³ /с	4,41	4,04	4,31	9,97	16,2	23,3	20,7	11,9	6,68	5,18	4,38	3,86	9,57
		Отклонение, %	16	12	0	-2	-18	-21	-14	-12	-17	-10	-12	-11	-13
	2040	Q, м ³ /с	4,11	4,03	4,71	11,2	20,1	26,5	22,0	12,8	7,44	5,89	4,91	4,04	10,6
		Отклонение, %	8	12	9	10	2	-10	-8	-6	-8	3	-1	-7	-3
2050	Q, м ³ /с	3,97	4,00	4,88	9,86	20,8	29,7	22,2	12,6	7,56	5,80	4,92	4,04	10,9	
	Отклонение, %	5	11	13	-3	6	1	-8	-7	-6	1	-1	-7	-1	
RCP 8.5	2030	Q, м ³ /с	4,11	4,03	4,71	11,2	20,1	26,5	22,0	12,8	7,44	5,89	4,91	4,04	10,6
		Отклонение, %	8	12	9	10	2	-10	-8	-6	-8	3	-1	-7	-3
	2040	Q, м ³ /с	3,83	3,32	3,71	10,9	17,1	24,5	21,6	11,8	6,24	5,11	4,35	3,63	9,67
		Отклонение, %	1	-8	-14	7	-13	-17	-10	-13	-23	-11	-12	-16	-12
	2050	Q, м ³ /с	4,19	4,02	4,59	9,91	18,5	26,5	21,4	12,3	7,12	5,49	4,65	3,95	10,2
		Отклонение, %	11	12	6	-2	-6	-10	-11	-10	-12	-4	-6	-9	-7

На р. Аксу – а. Саркырама по сценарию RCP 4.5 к 2030 г. и по сценарию RCP 8.5 к 2040 и 2050 гг. прогнозируются изменение хода годового стока и частичная срезка пика половодья. В вегетационный период уменьшение стока наблюдается по всем прогнозным годам до 11 %, а наибольшее снижение ожидается к 2030 году ($Q_{1974-2019}=17,5$ м³/с, $Q_{2030}=15,7$ м³/с, $Q_{2040}=16,0$ м³/с, $Q_{2050}=16,5$ м³/с).

Закключение. Анализ показал, что смоделированные методом канонического разложения ряды стока и осадков имеют параметры, близкие к параметрам фактических данных и сохраняют авто- и взаимнокорреляционную матрицу, присущую исходным рядам. Особенностью модели канонического разложения является градация результатов по водности года, что особенно

актуально при выполнении задач по управлению водным режимом рек. Анализ полученных результатов оценки возможных изменений внутригодового распределения стока на рассматриваемой пункте бассейна р. Арыс показывает изменения месячных значений речного стока как в сторону увеличения, так и уменьшения на все прогнозируемые периоды. По методу канонического разложения изменения речного стока к 2030, 2040, 2050 гг. колеблются около климатической нормы 1974-2019 гг. в сторону как уменьшения (до 23 %), так и увеличения (до 16 %). На прогнозных гидрографах можно увидеть срезку пиков половодья и некоторый рост стока в холодные месяцы года. Таким образом, использование модели канонического разложения на основе зависимости стока от климатических характеристик вполне оправдано полученными результатами, что подтверждается ранее выполненными исследованиями по другим рекам Казахстана [24, 25, 29, 30].

Финансирование. Исследование выполнено в рамках проекта «Ледниковые системы трансграничных бассейнов Центральной Азии: состояние, современные и прогнозные изменения, роль в обеспечении водной безопасности стран региона» (ИРН: BR 18574176).

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Пресс-релиз МГЭИК. Широкомасштабное, быстрое и усиливающееся изменение климата [Электрон. ресурс]. – 2021. – URL: https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2021/08/IPCC_WGI-AR6-Press-Release_ru.pdf (дата обращения 21.02.2023).
- [2] State of Global Climate 2021 WMO Provisional report. State of Climate in 2021: Extreme events and major impacts [Электрон. ресурс]. – 2021. – URL: <https://public.wmo.int/en/media/press-release/state-of-climate-2021-extreme-events-and-major-impacts> (дата обращения 21.02.2023).
- [3] UN climate report: It's 'now or never' to limit global warming to 1.5 degrees [Электрон. ресурс]. – 2022. – URL: <https://reliefweb.int/report/world/un-climate-report-it-s-now-or-never-limit-global-warming-15-degrees-enarruzh> (дата обращения 21.02.2023).
- [4] МГЭИК. Изменение климата: Обобщающий доклад. Вклад рабочих групп I, II и III в четвертый доклад об оценке Межправительственной группы экспертов по изменению климата. – Женева: Издательство ВМО, 2007. – 104 с.
- [5] Изменение климата. Обобщающий доклад: Вклад Рабочих групп I, II и III в Пятый оценочный доклад Межправительственной группы экспертов по изменению климата / МГЭИК; под ред. Пачаури Р. К, Мейер Л. А. [и др.]. – Женева, 2014. – 163 с.
- [6] Hofer S. et. al. Greater Greenland Ice Sheet contribution to global sea level rise in CMIP6 // Nature Communications. – 2020.
- [7] Seneviratne S., Hauser M. Regional Climate Sensitivity of Climate Extremes in CMIP6 Versus CMIP5 Multimodel Ensembles // Earth's Future. – 2020. – № 8.
- [8] Долгих С. А., Смирнова Е. Ю., Сабирова А. У. К вопросу о построении сценариев изменения климата // Гидрометеорология и экология. – 2006. – № 1. – С. 7-19.
- [9] Достай Ж. Д., Алимкулов С. К., Сапарова А. А., Мырзахметов А. Б., Баспакова Г. Р. Оценка возобновляемых водных ресурсов казахстанской части бассейна реки Сырдария // Водные ресурсы Центральной Азии и их использование: Матер. междунар. науч.-практ. конф., посвященной подведению итогов объявленного ООН десятилетия «Вода для жизни». – Алматы, 2016. – С. 310-317.
- [10] Говоркова В. А., Катцов В. П., Мелешко В. М. и др. Климат России в XXI веке. Оценка пригодности моделей общей циркуляции атмосферы и океана CMIP3 для расчетов будущих изменений климата России // Метеорология и гидрология. – 2008. – Ч. 2, № 8. – С. 5-19.
- [11] Добровольский С. Г. Глобальная гидрология. Процессы и прогнозы. – М.: ГЕОС, 2017. – 526 с.
- [12] Давлетгалиев С. К., Медеу Н. Н. Сценарные прогнозы ресурсов стока рек Жайык-Каспийского бассейна по отдельным участкам // Вестник КазНУ. – 2017. – № 2(45). – С. 28-40.
- [13] Голубцов В.В. Моделирование стока горных рек в условиях ограниченной информации. – Алматы: Казгидромет, 2010. – 232 с.
- [14] Сапарова А. А., Загидуллина А. Р., Аппазова Т. Б. Современные тенденции изменения речного стока Арало-Сырдаринского водохозяйственного бассейна в изменяющихся климатических условиях // Региональные проблемы водопользования в изменяющихся климатических условиях: Материалы международной научно-практической конференции, 11-12 ноября 2014 г. – Уфа, 2014. – С. 183-188.
- [15] Шульц В. Л. Реки Средней Азии. – Л.: Гидрометеоздат, 1965. – Ч. 1-2. – 691 с.
- [16] Ресурсы поверхностных вод СССР. Средняя Азия. Бассейн р. Сырдарья. – Л.: Гидрометеоздат, 1969. – Т. 14, вып. 1. – 512 с.
- [17] Попова В. П. Прогнозирование водности притоков реки Сырдарья в пределах Республики Казахстан: Дис. ... канд. геогр. наук. – Алматы, 1998. – 148 с.
- [18] Схема комплексного использования и охраны водных ресурсов бассейна р. Сырдарья с притоками. Т. I, кн. 1. Сводная записка. – Алматы, 2008 – 156 с.
- [19] Bergström S., Forsman A. Development of a conceptual deterministic rainfall-runoff model // Hydrology Research. – 1973. – Vol. 4(3). – P. 147-170.
- [20] Горшкова А. Т., Урбанова О. Н., Каримова А. И. Основные этапы моделирования стока рек с площадью водосбора менее 100 000 км² // Международный научно-исследовательский журнал. – 2015. – № 8(39). – С. 66-71.

- [21] Костин В. Н., Тишина Н. А. Статистические методы и модели: Учебное пособие. – Оренбург: ОГУ, 2004. – 138 с.
- [22] Давлетгалиев С. К. Групповое моделирование гидрографов месячного стока // Водные ресурсы. – 2013. – № 4. – С. 350-358.
- [23] Пугачёв В. С. Теория случайных функций. – М.: Физматгиз, 1962. – 884 с.
- [24] Вентцель Е. С. Теория вероятностей: Учеб. для вузов. – 6-е изд. стер. – М.: Высш. шк., 1999. – 576 с.
- [25] Бусалаев И. В., Давлетгалиев С. К., Куперман И. Г. Моделирование гидрографа стока методом канонического разложения // Проблемы гидроэнергетики и водного хозяйства. – 1973. – Вып. 10. – С.143–152.
- [26] Бусалаев И. В., Давлетгалиев С. К. Описание речного стока в нескольких створах методом многомерного канонического разложения // Метеорология и гидрология. – 1982. – № 3. – С. 81-87.
- [27] Давлетгалиев С. К. Совместное моделирование рядов годового стока рек методом канонического разложения // Метеорология и гидрология. – 1991. – № 10. – С. 102-108.
- [28] СП 33-101-2003. Определение основных расчетных гидрологических характеристик – М.: Государственный комитет Российской Федерации по строительству и жилищно-коммунальному комплексу, 2004. – 73 с.
- [29] Davletgaliev S. K., Alimkulov S. K., Talipova E. K. The possibility to applying simulated series for compile scenario forecasting river runoff // Environmental Earth Sciences. – 2020. – Vol. 79, issue 16.
- [30] Davletgaliev S. K., Alimkulov S. K., Tursunova A. A., Talipova E. K. Long term forecast of the monthly flow hydrograph of Yertis river (v. Boran) based on combined statistical modeling of the river flow and precipitation // News of the National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan. Series of geology and technical sciences. – 2023. – Vol. 6, No. 462. – P. 70-84.

REFERENCES

- [1] IPCC press release. Widespread, rapid and intensifying climate change [Electron. resource]. – 2021. – URL: https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2021/08/IPCC_WGI-AR6-Press-Release_ru.pdf (access date 02/21/2023) (in Russ.).
- [2] State of Global Climate 2021 WMO Provisional report. State of Climate in 2021: Extreme events and major impacts [Electron. resource]. – 2021. – URL: <https://public.wmo.int/en/media/press-release/state-of-climate-2021-extreme-events-and-major-impacts> (accessed 02/21/2023).
- [3] UN climate report: It's 'now or never' to limit global warming to 1.5 degrees [Electronic. resource]. – 2022. – URL: <https://reliefweb.int/report/world/un-climate-report-it-s-now-or-never-limit-global-warming-15-degrees-enarruzh> (accessed 21.02. 2023).
- [4] IPCC. Climate Change: Synthesis Report. Contributions of Working Groups I, II and III to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Geneva: WMO Publishing, 2007. 104 p. (in Russ.).
- [5] Climate change. Synthesis Report: Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change / IPCC; edited by Pachauri R. K., Meyer L. A. [et al.]. Geneva, 2014. 163 p. (in Russ.).
- [6] Hofer S. et. al. Greater Greenland Ice Sheet contribution to global sea level rise in CMIP6 // Nature Communications. 2020.
- [7] Seneviratne S., Hauser M. Regional Climate Sensitivity of Climate Extremes in CMIP6 Versus CMIP5 Multimodel Ensembles // Earth's Future. 2020. No. 8.
- [8] Dolgikh S. A., Smirnova E. Yu., Sabirova A. U. On the issue of constructing climate change scenarios // Hydrometeorology and Ecology. 2006. No. 1. P. 7-19 (in Russ.).
- [9] Dostai Zh. D., Alimkulov S. K., Saparova A. A., Myrzakhmetov A. B., Baspakova G. R. Assessment of renewable water resources in the Kazakh part of the Syrdarya river basin // Water resources of Central Asia and their use: Mater. international scientific-practical conf. dedicated to summing up the results of the “Water for Life” decade declared by the UN. Almaty, 2016. P. 310-317 (in Russ.).
- [10] Govorkova V. A., Kattsov V. P., Meleshko V. M. et al. Climate of Russia in the 21st century. Assessing the suitability of the general circulation models of the atmosphere and ocean CMIP3 for calculating future climate changes in Russia // Meteorology and Hydrology. 2008. Part 2, No. 8. P. 5-19 (in Russ.).
- [11] Dobrovolsky S. G. Global hydrology. Processes and forecasts. M.: GEOS, 2017. 526 p. (in Russ.).
- [12] Davletgaliev S. K., Medeu N. N. Scenario forecasts of river flow resources of the Zhayyk–Caspian basin for individual areas // Vestnik KazNU. 2017. No. 2(45). P. 28-40 (in Russ.).
- [13] Golubtsov V. V. Modeling of mountain river flow under conditions of limited information. Almaty: Kazhydromet, 2010. 232 p. (in Russ.).
- [14] Saparova A. A., Zagidullina A. R., Appazova T. B. Current trends in changes in river flow of the Aral-Syr Darya water basin in changing climatic conditions // Regional problems of water use in changing climatic conditions: Materials of the international scientific and practical conference, November 11–12, 2014. Ufa, 2014. P. 183-188. (in Russ.).
- [15] Shultz V. L. Rivers of Central Asia. L.: Gidrometeoizdat, 1965. Part 1-2. 691 p. (in Russ.).
- [16] Surface water resources of the USSR. Middle Asia. Pool river Syrdarya. L.: Gidrometeoizdat, 1969. Vol. 14, issue 1. 512 p. (in Russ.).
- [17] Popova V. P. Forecasting the water content of the tributaries of the Syrdarya River within the Republic of Kazakhstan: Dis. ... PhD geogr. sci. Almaty, 1998. 148 p. (in Russ.).
- [18] Scheme for the integrated use and protection of water resources in the river basin. Syrdarya with its tributaries. Vol. I, book 1. Summary note. Almaty, 2008. 156 p. (in Russ.).
- [19] Bergström S., Forsman A. Development of a conceptual deterministic rainfall-runoff model // Hydrology Research. 1973. Vol. 4(3). P. 147-170.
- [20] Gorshkova A. T., Urbanova O. N., Karimova A. I. Main stages of modeling the flow of rivers with a catchment area of less than 100,000 km² // International scientific research journal. 2015. No. 8(39). P. 66-71 (in Russ.).
- [21] Костин В. Н., Тишина Н. А. Статистические методы и модели: Учебное пособие. Оренбург: ОГУ, 2004. 138 с. (in Russ.).
- [22] Davletgaliev S. K. Group modeling of monthly runoff hydrographs // Water Resources. 2013. No. 4. P. 350-358 (in Russ.).
- [23] Пугачев В. С. Теория случайных функций. М.: Физматгиз, 1962. 884 с. (in Russ.).

- [24] Ventzel E. S. Probability theory: Textbook. for universities. 6th ed. erased. M.: Higher. school, 1999. 576 p. (in Russ.).
- [25] Busalaev I. V., Davletgaliev S. K., Kuperman I. G. Modeling the runoff hydrograph using the canonical decomposition method // Problems of hydropower and water management. 1973. Issue 10. P. 143-152 (in Russ.).
- [26] Busalaev I. V., Davletgaliev S. K. Description of river flow in several sections using the method of multidimensional canonical decomposition // Meteorology and Hydrology. 1982. No. 3. P. 81–87 (in Russ.).
- [27] Davletgaliev S. K. Joint modeling of annual river runoff series using the canonical decomposition method // Meteorology and Hydrology. 1991. No. 10. P. 102-108 (in Russ.).
- [28] SP 33–101–2003. Determination of the main calculated hydrological characteristics. Moscow: State Committee of the Russian Federation for Construction and Housing and Communal Sector, 2004. 73 p. (in Russ.).
- [29] Davletgaliev S. K., Alimkulov S. K., Talipova E. K. The possibility of applying simulated series for compile scenario forecasting river runoff // Environmental Earth Sciences. 2020. Vol. 79, issue 16.
- [30] Davletgaliev S. K., Alimkulov S. K., Tursunova A. A., Talipova E. K. Long term forecast of the monthly flow hydrograph of the Yertis river (v. Boran) based on combined statistical modeling of the river flow and precipitation // News of the National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan. Series of geology and technical sciences. 2023. Vol. 6, No. 462. P. 70-84.

С. К. Давлетгалиев¹, А. А. Турсунова², А. Т. Базарбек^{*3}

¹ Г. ф. д., профессор (әл-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университеті, Алматы, Қазақстан; sdavletgaliev@mail.ru)

² Г. ф. к., қауымдастырылған профессор, Су ресурстары зертханасының басшысы
(«География және су қауіпсіздігі институты» АҚ, Алматы, Қазақстан; ais.tursun@bk.ru)

^{3*} Кіші ғылыми қызметкер («География және су қауіпсіздігі институты» АҚ,
Алматы, Қазақстан; aydanabt@gmail.com)

КАНОНДЫҚ ЖІКТЕУ ӘДІСІМЕН АРЫС ӨЗЕНІ БАССЕЙІНІНІҢ АЙЛЫҚ АҒЫНДЫСЫН БАҒАЛАУ ЖӘНЕ БОЛЖАУ

Аннотация. Жұмыста Арыс өзені бассейнінің су ресурстарын бағалау және болжау үшін ағынды және ағынды қалыптастырушы факторларды бірлескен модельдеу нәтижелерін пайдалану мүмкіндігі қарастырылған. Бұл мәселені шешу үшін канондық жіктеу әдісі қолданылды, ол кездейсоқ процесті (өзен ағындысы) тәуелсіз кездейсоқ шамалар мен кездейсоқ емес функциялардың жиынтығымен сипаттауға мүмкіндік береді. Әдіс сызықтық түрлендірулер класында оңтайлы болып табылады және жіктеу табиғи ортогональды компоненттер бойынша жүзеге асырылады. Арыс өзенінің айлық, жылдық және вегетациялық ағындысы гидрографының болжамдары RCP 4.5 және RCP 8.5 екі сценарий бойынша 2030, 2040 және 2050 жылдарға жасалды. Зерттеу нәтижелері өзен ағындысының 1974–2019 жылдардағы климаттық нормадан 2030, 2040, 2050 жылдарға қарай азаюын және ұлғаюын көрсетті. Өзен ағындысының климаттық сипаттамаларға тәуелділігіне негізделген канондық жіктеу моделін қолдану алынған нәтижелермен негізделген.

Түйін сөздер: айлық ағынды, ағынды гидрографы, жауын–шашын, статистикалық модельдеу, канондық жіктеу, ағындыны қалыптастырушы факторлар, метеорологиялық факторлар, өзен ағындысының болжамы.

S. K. Davletgaliev¹, A. A. Tursunova², A. T. Bazarbek^{*3}

¹ Doctor of Geographical Sciences, Professor (al-Farabi Kazakh National University,
Almaty, Kazakhstan; sdavletgaliev@mail.ru)

² Candidate of Geographical Sciences, Associate Professor, Head of the Laboratory of Water Resources
(JSC «Institute of Geography and Water Security», Almaty, Kazakhstan; ais.tursun@bk.ru)

^{3*} Junior Researcher (JSC «Institute of Geography and Water Security», Almaty, Kazakhstan; aydanabt@gmail.com)

ASSESSMENT AND FORECAST OF THE MONTHLY RUNOFF OF THE ARYS RIVER BASIN BY THE CANONICAL DECOMPOSITION METHOD

Abstract. The article considers the possibility of using the results of joint modeling of runoff and runoff-forming factors to assess and forecast the water resources in the Arys River basin. To solve this problem, the canonical decomposition method was used, which allows us to characterize a random process (river runoff) by a set of independent random variables and non-random functions. The method is optimal in the class of linear transformations, decomposition was carried out according to natural orthogonal components. Monthly, annual and vegetative hydrograph of the Arys River runoff were predicted for 2030, 2040 and 2050, according to two scenarios, RCP 4.5 and RCP 8.5. The results of the study showed that changes in river runoff by 2030, 2040, and 2050 fluctuate around the climatic norm of 1974–2019, both downwards and upwards. The use of the canonical decomposition model based on the dependence of runoff on climatic characteristics is fully justified by the results obtained.

Keywords: monthly runoff, runoff hydrograph, precipitation, statistical modeling, canonical decomposition, runoff-forming factors, meteorological factors, forecast of river runoff.

<https://doi.org/10.55764/2957-9856/2024-3-14-20.22>

МРНТИ 37.27.02

37.27.15

УДК 556.04

А. Р. Медеу¹, С. Қ. Әлімқұлов², Л. К. Махмудова*³, Г. Р. Баспакова⁴

¹ Қазақстан Республикасы Ұлттық ғылым академиясының академигі, география ғылымдарының докторы, Басқарма төрағасы («География және су қауіпсіздігі институты» АҚ, Алматы, Қазақстан; ingeo_2009@mail.ru)

² Г. ғ. к., қауымдастырылған профессор, Басқарма төрағасының орынбасары («География және су қауіпсіздігі институты» АҚ, Алматы, Қазақстан; sayat.alimkulov@mail.ru)

^{3*} Г. ғ. к., қауымдастырылған профессор, жетекші ғылыми қызметкер («География және су қауіпсіздігі институты» АҚ, Алматы, Қазақстан; mlk2002@mail.ru)

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

ГИДРОЛОГИЯЛЫҚ БАҚЫЛАУ ЖҮЙЕСІНІҢ ҚАЗІРГІ ЖАҒДАЙЫ

Аннотация. Мақалада су ресурстарының орнықты бақылау қызметін қамтамасыз ету контекстінде Қазақстан Республикасының гидрологиялық желісінің жүйесінің орналасуы мен оңтайландыру құрамының негізгі аспектілері қарастырылған. Аумақтық қорытулар, гидрологиялық есептеулер мен болжамдардың әдістерін әзірлеуге, сондай-ақ климаттың өзгеруі жағдайында гидрологиялық режимнің ұзақ мерзімді өзгерістерін бағалауға қажетті реперлі (ұзақ қатарлы) бақылау қатарларының сақталуына басты назар аударылды. Ғылыми зерттеу гидрологиялық болжамдардың және қауіпті құбылыстар туралы ескертулердің сенімділігін арттыру үшін ақпараттық бекеттер санын арттыру, стратегиялық маңызды аймақтарда гидрологиялық желіні заманауи жабдықтармен жабдықтау, төтенше зерттеулер жүргізу үшін мамандандырылған арнайы бақылау бекеттерін қалпына келтіру маңыздылығын көрсетеді. Ұсынылған шараларды іске асыру экономиканың гидрологиялық ақпаратқа қазіргі кездегі және келешектегі қажеттіліктерін қанағаттандыруға, сондай-ақ гидрологиялық есептер мен болжамдардың дәлдігі мен сенімділігін арттыруға мүмкіндік береді.

Түйін сөздер: гидрологиялық зерттелгендігі, гидрологиялық бекет, гидрологиялық бекет, бақылау, су нысандары.

Кіріспе. Су нысандарын мемлекеттік бақылау қоршаған орта мен табиғи ресурстардың мемлекеттік бақылау жүйесінің құрамдас бөлігі болып табылады. Мемлекеттік бақылау Қазақстан Республикасының су қорын құрайтын барлық су нысандарында жүзеге асырылады [1-4]. Мемлекеттік бақылау құрылымына мәліметтерді бақылау жүйелері, жинау, табыстау және деректерді өңдеу қамтиды; ақпараттық өнімдерді алу (жедел және тәртіпті нұсқалары); су нысандарының ахуалы өзгеруінің болжау.

Су нысандарының бақылауын тиімді жүргізу үшін мәліметтер және деректер жинау технологияларын әрқашан жетілдіру қажет; бақылау нәтижелерін жоспарлы және жедел өңдеу әдістері мен технологияларын әзірлеу; қауіпті төтенше гидрологиялық құбылыстарды болжау және алдын-алуды қамтамасыз ету үшін ақпараттық өнімдерді дайындау технологияларын әзірлеу; өзен алаптарындағы ірі су шаруашылығы жүйелерінің жұмыс істеу барысын ақпараттық қамтамасыз ету.

Жер бетіндегі су нысандарын бақылау және жер беті суларын бағалау үшін ақпаратқа қойылатын міндетті талап қажетті дәлдікпен және тиісті кеңістік-уақыттық рұқсатпен сипатталатын жеткілікті құрамдағы мәліметтерді уақытылы алу мүмкіндігі болып табылады.

Қазіргі таңдағы су ресурстарын пайдалану мен қоршаған ортаны қорғау жағдайында мәліметтерді уақытылы алу және суды есепке алу – бекеттерде және ақпаратты өңдеу орталықтарында жаппай жоғары технологиялық жабдықтауды, республикада жүйесіндегі суды есепке алудың сенімді бақылау жүйесін ұйымдастыруды талап етеді. Жер беті су нысандарының бақылауы және жер беті суларын есепке алу нәтижелері су шаруашылығы аудандары мен су нысандарының алаптары, су шаруашылығы кешендері, оның ішінде географиялық, әкімшілік және

экономикалық аудандар бойынша деректердің жүйеленуін және теңгерілуін қамтамасыз етуге тиіс [1-6].

Демек, жер беті сулары туралы ақпарат көзі гидрометеорология және қоршаған ортаны бақылау қызметімен су нысандарында ұйымдастырылған станциялар мен гидрологиялық бекеттер желісі болып табылады. Қазақстан Республикасында мемлекеттік бақылау желісін пайдалана отырып гидрометеорологиялық бақылауды «Қазгидромет» РМК жүзеге асырады (Қазақстан Республикасы Үкіметінің 1999 жылғы 2 наурыздағы № 185 қаулысына сәйкес бұл ұйымға республикалық мемлекеттік кәсіпорын мәртебесі). «Қазгидромет» РМК жер беті суларына бақылау жүргізуге жауапты, оның ішінде:

- жер беті су нысандарының ахуалына тұрақты бақылау жүргізу;
- су нысандарын бақылау нәтижесінде алынған ақпараттарды жинауды, өңдеуді, синтездеуді және сақтауды қамтамасыз ету;
- жер беті су нысандарының ахуалының және су ресурстары жай-күйінің сандық және сапалық көрсеткіштерінің бір бөлігіндегі өзгерістерді бағалау және болжау;
- жер беті су нысандарының бақылау деректерін ұсынуды қамтамасыз ету [3, 7].

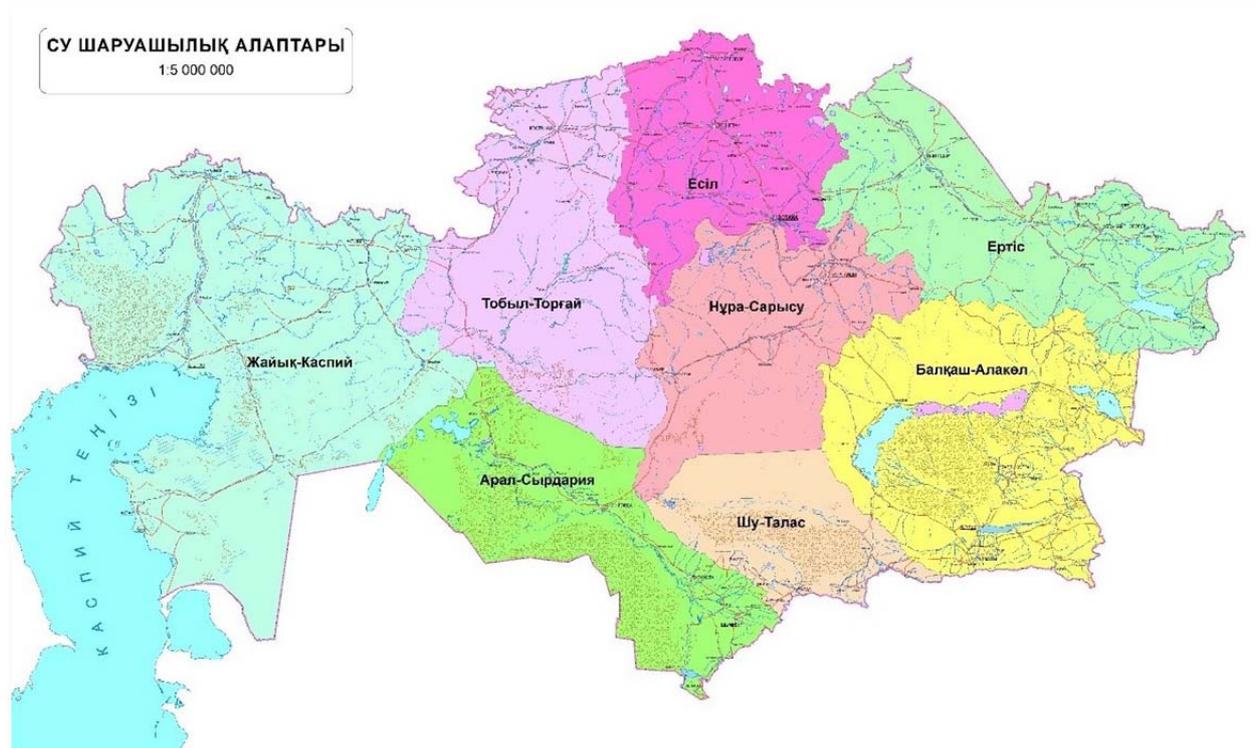
Жаһандық өзгерістер халықаралық деңгейде күш-жігерді үйлестіруді талап етеді. Ақпараттармен алмасу және бірлескен зерттеулер су ресурстарын жақсырақ түсінуге және су ресурстарын тиімді басқаруға ықпал етеді. Гидрологиялық бақылау деректерін заманауи пайдаланудың мысалы ретінде төтенше гидрометеорологиялық оқиғаларды болжауды айтуға болады. Бақылау деректеріне негізделген үлгілер су тасқыны мен құрғақшылықты болжай алады, бұл залал мен зақымдарды азайту стратегияларын жасауға көмектеседі. Датчиктер мен автоматты станциялардың көмегімен су сапасын бақылау нақты уақыт кезінде су сапасының өзгеруін қадағалайды, бұл қоршаған ортаны қорғау және халықтың денсаулығы үшін маңызды. Мәліметтерді талдау ауыл-шаруашылығында, өнеркәсіпте және тұрмыстық шаруашылықта су ресурстарын оңтайландыруға, су ысыраптарын азайтуға және суды бөлісуді жақсартуға көмектеседі. Ұзақ мерзімді гидрологиялық мәліметтер жаһандық климаттың өзгеруінің су ресурстарына әсерін зерттеу және оған бейімделу стратегияларын әзірлеу үшін пайдаланылады [8, 9].

Гидрологиялық бақылау жүйесінің қазіргі кездегі ахуалы инновациялық технологиялар мен әдістерді кеңінен қолданумен сипатталады, бұл осы саладағы ғылыми зерттеулердің деректерін өте өзекті етеді. Бұл деректер климаттың өзгеруі және антропогендік әсердің ұлғаюы жағдайында су ресурстарын болжау және басқару үшін өте маңызды.

Демек, қашықтықтан зондтау, автоматты гидрометеорологиялық бекеттер және су сапасының сенсорлары сияқты заманауи деректерді жинау әдістері дәлірек және уақытылы деректерді қамтамасыз етеді. Бұл гидрологиялық болжамдар мен үлгілер сапасын жақсартуға көмектеседі. Географиялық ақпараттық жүйелерді және гидрологиялық үлгілерді әзірлеу деректерді тиімдірек талдауға және визуализациялауға мүмкіндік береді, бұл су ресурстары саласында шешім қабылдауды жеңілдетеді.

Осылайша, гидрологиялық бақылау жүйесінің қазіргі жағдайы су ресурстары туралы деректерді неғұрлым дәл және жедел жинауға, талдауға және түсіндіруге мүмкіндік беретін технологиялар мен әдістердің дамуымен сипатталады. Осы саладағы ғылыми зерттеу деректерінің өзектілігі бірнеше негізгі факторлармен анықталады. Біріншіден, климаттың өзгеруі өзендердің, көлдердің және су қоймаларының гидрологиялық режиміне айтарлықтай әсер етеді. Бұл өзгерістерді бақылау су тасқыны мен құрғақшылық сияқты төтенше гидрометеорологиялық оқиғаларды болжау және суды басқару іс-шараларын бейімдеу үшін маңызды. Екіншіден, қалалар мен өнеркәсіптердің өсуі су алаптарындағы су теңдестігін өзгертеді, гидрологиялық бақылау жүйесі бұл өзгерістердің су ресурстарына әсерін бағалауға және оларды қорғау және тиімді пайдалану шараларын әзірлеуге көмектеседі.

Материалдар мен тәсілдер. Қазақстан Республикасы Еуразия континентінде орналасқан және 2 млн 724,9 мың км² аумақты алып жатыр. Республикада 85 000 өзен және 48 000 үлкенді-кішілі көлдер бар [10]. Су шаруашылығы жағынан ел аумағы сегіз алапқа бөлінеді: Арал-Сырдария, Жайық-Каспий, Нұра-Сарысу, Тобыл-Торғай, Есіл, Ертіс, Балқаш-Алакөл, Шу-Талас (сурет).



Қазақстан Республикасының су шаруашылық алаптары
Water management areas of the Republic of Kazakhstan

Гидрологиялық желіні дамыту мен оңтайландырудың негізгі әдістемелік тәсілдері мыналар болып табылады:

– гидрологиялық желіні дамыту қазіргі кезеңде де, сондай-ақ мемлекеттің экономикалық даму келешегін ескере отырып, мемлекеттің әртүрлі қажеттіліктеріне сәйкес, гидрологиялық ақпараттың әртүрлі типке, мақсаттағы дискреттілік қажеттіліктерін ескере отырып, кешенді тәсіл негізінде жүзеге асырылады. елдің экономикалық дамуы;

– желіні дамытуға кешенді тәсілі бақылау бекеттерінде өлшеу жүргізуден бастап осы технологиялық тізбектің барлық буындарын техникалық және технологиялық жетілдіру негізінде соңғы ақпараттық өнімді алуға дейін су нысандарының гидрологиялық бақылауының бүкіл жүйесін әзірлеуді және жаңғыртуды көздейді.

Зерттеу нәтижелері. Қазақстан Республикасының Ұлттық гидрометеорологиялық қызметі 1922 жылы ұйымдастырылған 100 жылға жуық даму жолын бастан өткерген әлемдегі ең көне ұйымдардың бірі болып табылады. Қазақстанның гидрологиялық желісі 80-90-жылдары өзінің ең үлкен дамуына жетті, өткен ғасырда оның саны 506 гидрологиялық бекет болған (1981 ж. дерегі бойынша) [10].

Осы уақытқа дейін су ресурстарын қалыптастырудың табиғи режимі жағдайында желінің жұмыс істеуінің ғылыми негіздемесі әзірленді, бақылау деректерін беру және қабылдау және гидрологиялық ақпаратты бақылау қамтамасыз етілді. Жалпы, гидрологиялық желінің сол кездегі жағдайы әлемдік деңгейге сәйкес келді. Дүниежүзілік метеорологиялық ұйымның (ДМО) ұсынымдары бойынша бекеттердің тығыздығы келесі талаптарға сай болуы керек: таулы аймақтарда 1000 км² аумаққа бір гидрологиялық бекет; 1875 км² жазық аумақта бір гидрологиялық бекет [11, 12].

КСРО-ның ыдырауына байланысты, 1990 жылдардан бастап нарықтық экономикаға өтуіне және «Қазгидромет» РМК-ның өте төмен бюджеттік қаржыландыруына байланысты бекеттер саны өткен ғасырдың аяғында 290-ға дейін қысқарды, негізінен шағын өзендердегі бекеттер есебінен (1997 ж. дерегі бойынша) 40 %-ға қысқарды. Қазақстан аумағында гидрологиялық желіде 1999 жылы 159 гидрологиялық бекет қана қалды, сандық көрсеткіш бойынша 1936 жылғы деңгейге жетті

[13]. Қазіргі уақытта гидрологиялық бақылау 377 гидрологиялық бекетте жүргізілуде, оның ішінде: 329 өзен, 38 көл, 10 теңіз бекеті [14]. Су шаруашылығы алаптарындағы гидрологиялық бекеттер саны 1-кестеде келтірілген.

1-кесте – ҚР өзендеріндегі гидрологиялық бекеттер саны («Қазгидромет» РМК)

Table 1 – Number of hydrological posts on rivers of the Republic of Kazakhstan (RSE «Kazhydromet»)

Сушаруашылық алабы	1981-1990 жж.	1991-2000 жж.	2001-2010 жж.	2021 ж.
Арал-Сырдария	64	59	37	38
Балқаш-Алакөл	128	85	59	69
Ертіс	76	61	35	57
Есіл	38	35	26	42
Жайық-Каспий	71	62	48	51
Нұра-Сарысу	38	31	16	27
Тобыл-Торғай	40	33	16	25
Шу-Талас	40	36	19	20
Жалпы гидрологиялық бекеттер саны	495	402	256	329

Қазақстан Республикасының аумағындағы желінің орташа тығыздығы бір гидрологиялық бекетке 8282 км² құрайды. 2-кестеде әлемнің әртүрлі елдеріндегі гидрологиялық бекеттер саны көрсетілген.

Қазіргі таңдағы гидрологиялық желі (саны мен тығыздығы бойынша) жедел ақпараттық қызмет және гидрологиялық болжау міндеттерін қамтамасыз ету үшін жеткіліксіз. Демек, ДМҰ талаптарына сәйкес [3, 6, 7] қажетті ең аз гидрологиялық желінің сандық құрамына талабына қойылатын талаптарға сәйкес әр түрлі аумақтардың аймақтық ерекшеліктерін, оның ішінде физика-географиялық жағдайды, сонымен қатар аумақтың экономикалық игерілгендігін ескере отырып, Қазақстан Республикасы тұтастай алғанда гидрологиялық бақылау талаптарына сәйкес келмейді.

2-кесте – Әлемнің әртүрлі елдеріндегі гидрологиялық бекеттер саны [10]

Table 2 – Number of hydrological stations in different countries of the world [10]

Мемлекет	Гидрологиялық бекеттер саны	Аумақ ауданы, км ²	Бір гидрологиялық бекетке шаққанда су жинау алабы, км ²
Қазақстан Республикасы	329	2 724 900	8282
Қырғыз Республикасы	51	199 951	3921
Тәжікстан Республикасы	92	143 100	1555
Түркіменстан	33	488 100	14 791
Өзбекстан Республикасы	121	447 700	3700
Қытай Халық Республикасы	9890	9 596 961	970
Ресей Федерациясы	2974	17 128 000	5759

Авторлардың зерттеулері бойынша [8] республиканың өзендеріндегі гидрологиялық бекеттердің ұсынылатын ең аз саны 500 бекеттен кем болмауы керек. Гидрологиялық желіні дамытуға кешенді көзқарас келесі қажетті іс-шараларды жүзеге асыруды талап етеді:

– шынайы ақпарат алу үшін гидрологиялық, гидрохимиялық және мамандандырылған желінің бақылау бекеттерін орналастыруды оңтайландыру;

– бақылау бағдарламаларын оңтайландыру, ақпараттық құрамын кеңейту;

– гидрологиялық бақылау жүйесін жаңғырту және техникалық жарақтандыру (қазіргі заманғы қашықтан автоматтандырылған әдістер мен өлшеу құралдарына көшу, гидрологиялық бекеттерді қазіргі заманғы автоматтандырылған бақылау құралдарымен, аспаптармен, байланыс жүйелерімен, оның ішінде деректерді жинау мен алмасуды спутниктік жүйелерімен жабдықтау);

– жеке бақылау бекеттеріндегі бақылауларды толық автоматтандыруға біртіндеп ауыстыру;
– гидрологиялық ақпаратты тарату және өңдеу технологияларын, оның ішінде жедел және жоспарлы су өтімін есепке алудың автоматтандырылған технологияларын әзірлеу және жетілдіру;
– ақпарат интеграциясы қағидатын іске асыру – дереккөздік және тақырыптық мазмұнына қарамастан ақпаратты біртұтас ақпараттық кеңістікке біріктіру және гидрологиялық ақпаратты жинау мен алмасудың интеграцияланған ақпараттық-телекоммуникациялық жүйесін құру негізінде ақпаратты кешенді пайдалануды ұйымдастыру.

Сондықтан кешенді тәсіл негізінен тек негізгі гидрологиялық желіні ғана емес, сонымен қатар мамандандырылған арнайы бақылаулар желісін (мысалы: су теңгерімінің бекеттері, әртүрлі су беткейінен булануды бақылау) оңтайландыруды және дамытуды көздейді, олардың деректері республиканың су ресурстарының өзгеруіне климаттың әсерін бағалаудағы ғылыми және қолданбалы мәселелерді шешу үшін қажет.

Қорытынды. Гидрологиялық желінің құрамы мен орналасуын оңтайландыру су ресурстарының орнықты бақылау жүйесін құру жолындағы маңызды қадам болып табылады және келесі міндеттерді қамтиды:

– реперлік (ұзақ қатарлы) бақылау бекеттерін сақтау жекелеген гидрологиялық сипаттамалардың аумақтық жалпылауын жүргізу, гидрологиялық есептер мен болжамдардың әдістерін әзірлеу және гидрологиялық режим элементтерінің ұзақ мерзімді өзгерістерін, оның ішінде климаттың өзгеруі жағдайында бағалау үшін өте қажет;

– гидрологиялық болжамдардың және қауіпті гидрологиялық құбылыстар туралы ескертулердің сенімділігін арттыру мақсатында ақпараттық бекеттердің санын ұлғайту;

– ірі су шаруашылығы кешендерінің аумақтарында, шаруашылық игеру келешегі бар аудандарда экономика салаларының гидрологиялық ақпаратқа деген қазіргі кездегі және келешектегі қажеттіліктерін жоғары деңгейде барынша қанағаттандыру мақсатында заманауи жабдықтармен жабдықталған гидрологиялық желінің бақылау бекеттерінің санын ұлғайту;

– су теңдестігі элементтері мен ағындының қалыптасу үдерістерінің және су теңдестігі элементтерінің тәжірибелік зерттеулерін (гидрологиялық болжамдар мен есептеулердің заманауи әдістері мен үлгілерін жетілдіру) қайта жаңғырту мақсатында, сондай-ақ әртүрлі төсеніш беткейлерден (су, топырақ, қар) буланудың аумақтық қорытуларының сенімділігін арттыру мақсатында мамандандырылған гидрологиялық желіні қалпына келтіру.

Қаржыландыру. Бұл ғылыми зерттеу Қазақстан Республикасы Су ресурстары және ирригация министрлігінің BR23791322 «ҚР су қауіпсіздігін қамтамасыз ету үшін су ресурстарын сақтаудың, молықтырудың және тиімді бөлістірудің ғылыми-техникалық қамтамасыздығы» бағдарламалық-мақсатты қаржыландыру негізінде жасалды.

ӘДЕБИЕТ

- [1] Қазақстан Республикасының Су кодексі, 60 бабы. https://adilet.zan.kz/kaz/docs/K030000481_
- [2] Методическое руководство. Модуль 1. Политические аспекты управления водными ресурсами. Совместный проект ЕС/ПРООН/ЕЭК ООН «Поддержка Казахстана по переходу к модулю зеленой экономики». – 2023. – 52 с.
- [3] Руководство по гидрологической практике. Том I. Гидрология: от измерений до гидрологической информации. – 2020. – № 168. – 317 с.
- [4] Егорова Ю. Д., Сафаров А. М. Мониторинг поверхностных вод. Автоматизированный анализ проб воды // Материалы X Всероссийской научно-практической конференции «Инновации в науке: пути развития». – 2019. – С. 11-14.
- [5] Чернякова И. М. Научное обоснование размещения пунктов государственной сети гидрометеорологических наблюдений Республики Беларусь (магистерская диссертация) / Науч. рук. доц. Ю. А. Гледко. – Минск, 2024. – 86 с.
- [6] Отчет о сеансе Всемирная метеорологическая организация (ВМО) №1277. Сокращенный окончательный отчет 73-й сессии. – Женева, 2021. – 1354 с. ISBN 978-92-63-41277-1 <https://library.wmo.int/idurl/4/43120>
- [7] Руководство по гидрологической практике. Том II. Управление водными ресурсами и практика применения гидрологических методов. – 2012. – № 168. – 324 с.
- [8] Ramos M.-H., Cudennec C., Cullmann J., Dogulu N., Luterbacher J., Pechlivanidis I., Salzberg A. WMO Hydrological Research Strategy 2022-2030: Operational Hydrology and Water Research Priorities. – Austria, 23-27 May 2022. – EGU22-11837. <https://doi.org/10.5194/egusphere-egu22-11837>, 2022
- [9] Vision and Strategy for Hydrology and Associated Plan of Action and WMO Hydrological Research Strategy WMO. – 2023. – № 1319. – 57 p.
- [10] Саиров С. Б., Алимбаева Д. К., Серікбай Н. Т., Елтай А. Г., Тілләкәрім Т. А. Calculation of the minimum number of hydrological observation stations of the hydrometeorological service network in the republic of Kazakhstan // Гидрометеорология и экология. – 2024. – № 1. – С. 39-46.

- [11] Достай Ж. Д., Кулебаев К. М., Камалиев А. М. Гидрологический мониторинг на реках Шу-Таласского бассейна и его развитие // Гидрометеорология и экология. – 2018. – № 1. – С. 84-91.
- [12] Квач Е. Г. Особенности гидрологического режима трансграничных водных объектов Республики Беларусь и Российской Федерации // Водное хозяйство России: проблемы, технологии, управление. – 2023. – № 4. – С. 93-104.
- [13] Скоцеляс И. И., Ли В. И., Попова В. П. К вопросу исследования поверхностных вод Гидрометслужбой Казахстана // Гидрометеорология и экология. – 2005. – № 1. – С. 35-41.
- [14] Официальный сайт РГП «Казгидромет» [Электронный ресурс]. – <https://www.kazhydromet.kz/ru/gidrologiya/ogidrologii>

REFERENCES

- [1] Kazakhstan Republic Code of Laws, Issue 60. <https://adilet.zan.kz/kaz/docs/K030000481>
- [2] Methodological guide. Module 1. Political aspects of water resources management. Joint EU/UNDP/UNECE project «Support to Kazakhstan in the transition to a green economy module». 2023. 52 p. (in Russ.).
- [3] Handbook of Hydrological Practice. Volume I. Hydrology: from measurements to hydrological information. 2020. No. 168. 317 p. (in Russ.).
- [4] Egorova Yu. D., Safarov A. M. Monitoring of surface waters. Automated analysis of water samples // Materials of the X All-Russian scientific and practical conference «Innovations in science: ways of development». 2019. P. 11-14 (in Russ.).
- [5] Chernyakova I. M. Scientific justification of the placement of points of the state network of hydrometeorological observations of the Republic of Belarus (master's thesis). scientific assistant professor Yu. A. Gledko. Minsk, 2024. 86 p. (in Russ.).
- [6] World Meteorological Organization (WMO) session Report No. 1277. Abridged final report of the seventy-third session. Geneva, 2021. 1354 p. ISBN 978-92-63-41277-1 <https://library.wmo.int/idurl/4/43120> (in Russ.).
- [7] Handbook of Hydrological Practice. Vol. II. Water Resources Management and Hydrological Practice. 2012. No. 168. 324 p. (in Russ.).
- [8] Ramos M. H., Cudenne C., Cullmann J., Dogulu N., Luterbacher J., Pechlivanidis I., Salzberg A. WMO Hydrological Research Strategy 2022-2030: Operational Hydrology and Water Research Priorities. Austria, 23-27 May 2022. EGU22-11837. <https://doi.org/10.5194/egusphere-egu22-11837>, 2022.
- [9] Vision and Strategy for Hydrology and Associated Plan of Action and WMO Hydrological Research Strategy WMO. 2023. No. 1319. 57 p.
- [10] Sairov S. B., Alimbaeva D. K., Serikbay N. T., Eltay A. G., Tillakkarim T. A. Calculation of the minimum number of hydrological observation stations of the hydrometeorological service network in the republic of Kazakhstan // Hydrometeorology and Ecology. 2024. No. 1. P. 39-46 (in Russ.).
- [11] Dostay Zh. D., Kulebaev K. M., Kamaliev A. M. Hydrological monitoring on the rivers of the Shu-Talas basin and its development // Hydrometeorology and ecology. 2018. No. 1. P. 84-91 (in Russ.).
- [12] Kвач E. G. Features of the hydrological regime of transboundary water bodies of the Republic of Belarus and the Russian Federation // Water management of Russia: problems, technologies, management. 2023. No. 4. P. 93-104 (in Russ.).
- [13] Skotselyas I. I., Li V. I., Popova V. P. On the issue of studying surface waters by the Hydrometeorological Service of Kazakhstan // Hydrometeorology and ecology. 2005. No. 1. P. 35-41 (in Russ.).
- [14] Official website of RSE «Kazhydromet» [Electronic resource]. <https://www.kazhydromet.kz/ru/gidrologiya/ogidrologii> (in Russ.).

А. Р. Медеу¹, С. К. Алимкулов², Л. К. Махмудова*³, Г. Р. Баспакова⁴

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

² К. г. н., ассоциированный профессор, заместитель председателя правления (АО «Институт географии и водной безопасности», Алматы, Казахстан; sayat.alimkulov@mail.ru)

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

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

СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ СИСТЕМЫ ГИДРОЛОГИЧЕСКИХ НАБЛЮДЕНИЙ

Аннотация. Рассмотрены основные аспекты оптимизации состава и размещения гидрологической сети Республики Казахстан в контексте обеспечения устойчивого мониторинга водных ресурсов. Основное внимание уделено сохранению реперных (длиннорядных) пунктов наблюдений, необходимых для территориальных обобщений, разработки методов гидрологических расчетов и прогнозов, а также оценки многолетних изменений гидрологического режима в условиях изменения климата. Подчеркиваются важность увеличения числа информационных постов для повышения надежности гидрологических прогнозов и предупреждений об опасных явлениях, оснащения гидрологической сети современным оборудованием в

стратегически важных районах и восстановления специализированных пунктов наблюдений для проведения экспериментальных исследований. Реализация предложенных мер позволит удовлетворить современные и перспективные потребности экономики в гидрологической информации, а также повысить точность и надежность гидрологических расчетов и прогнозов.

Ключевые слова: гидрологическая изученность, гидрологический пост, гидрологическая сеть, мониторинг, водные объекты.

A. R. Medeu¹, S. K. Alimkulov², L. K. Makhmudova*³, G. R. Baspakova⁴

¹ Academician NAS RK, Doctor in Geography, Chairman of the Board

(JSC «Institute of geography and water security», Almaty, Kazakhstan; *ingeo_2009@mail.ru*)

² Candidate of Geographical Sciences, Associate Professor, Deputy Chairman of the Board
(JSC «Institute of Geography and water security», Almaty, Kazakhstan; *sayat.alimkulov@mail.ru*)

^{3*} Candidate of Geographical Sciences, associate Professor, Leading Researcher
(JSC «Institute of Geography and water security», Almaty, Kazakhstan; *mlk2002@mail.ru*)

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

THE CURRENT STATE OF THE HYDROLOGICAL OBSERVATION SYSTEM

Abstract. The article considers the key aspects of optimization of the composition and placement of the hydrological network of the Republic of Kazakhstan in the context of ensuring sustainable monitoring of water resources. The main attention is paid to the preservation of reference (long-row) observation points necessary for territorial generalizations, development of methods for hydrological calculations and forecasts, as well as assessment of long-term changes in the hydrological regime in the context of climate change. The scientific study emphasizes the importance of increasing the number of information posts to improve the reliability of hydrological forecasts and warnings of hazardous phenomena, equipping the hydrological network with modern equipment in strategically important areas, and restoring specialized observation points for experimental research. The implementation of the proposed measures will meet the current and future needs of the economy for hydrological information, as well as improve the accuracy and reliability of hydrological calculations and forecasts.

Keywords: hydrological knowledge, hydrological station, hydrological network, monitoring, water bodies.

<https://doi.org/10.55764/2957-9856/2024-3-21-36.23>

MPHTI 37.27.17; 37.23.29

УДК 551.583, 504.45

А. В. Холопцев¹, Ж. К. Наурузбаева*²

¹ Д. г. н. (ФГБУ «Государственный океанографический институт им. Н. Н. Зубова», Севастополь, Российская Федерация; kholoptsev@mail.ru)

^{2*} PhD, руководитель лаборатории региональных климатических изменений (АО «Институт географии и водной безопасности», Алматы, Казахстан; naurozbaeva.zhanar@mail.ru)

СВЯЗИ МЕЖГОДОВЫХ ВАРИАЦИЙ СРЕДНЕМЕСЯЧНЫХ УРОВНЕЙ КАСПИЯ, СУММ АТМОСФЕРНЫХ ОСАДКОВ В ЕГО БАССЕЙНЕ И ИХ ИЗМЕНЕНИЯ ПРИ СОВРЕМЕННОМ ПОТЕПЛЕНИИ КЛИМАТА

Аннотация. В современном периоде уровень водной поверхности Каспия стремительно снижается, что создает существенные проблемы для населения и экономики всех стран Прикаспийского региона. Поэтому совершенствование методик прогнозирования дальнейших его изменений – актуальная проблема гидрологии, метеорологии и экологии. Принято считать, что главными причинами современного снижения уровня Каспия являются влияние на динамику компонентов его водного баланса антропогенных факторов и климатических изменений. Значимым компонентом приходной части этого баланса является количество атмосферных осадков, выпадающих в бассейне Каспия. Одним из методов, применяемых для прогнозирования уровня Каспия, является множественно-регрессионный анализ. Оправдываемость получаемых с его помощью прогнозов зависит от значимости связей между изучаемым процессом в будущем и учитываемыми при их разработке факторами, мониторинг которых осуществляется в настоящем и прошлом. Оценены значимость статистических связей межгодовых вариаций среднемесячных фоновых уровней Каспия с опережающей их по времени динамикой сумм атмосферных осадков в его бассейне, а также ее изменения за период современного потепления климата. Как фактический материал об осадках использована информация реанализа ERA 5. Сведения об уровнях получены из литературных источников. Установлено, что в 1979–2021 гг. вывод о значимости рассматриваемых связей характеризовался достоверностью не менее 0,95 лишь при условии, что изменения сумм осадков соответствовали маю. По мере увеличения временного сдвига между изучаемым процессом и этим фактором от 0 до 36 месяцев их корреляция остается положительной и значимой, но несколько ослабевает. За период современного потепления климата выявленная связь также становилась слабее, что позволяет сомневаться в ее значимости даже в ближайшем будущем. Выявлены также участки бассейна Каспия, для которых за тот же период рассматриваемые связи, напротив, усиливались. Из этого следует, что вероятность осуществления в будущем сценария, при котором они останутся значимыми, выше, чем вероятность других сценариев. Поэтому выявленные связи целесообразно учитывать при прогнозировании изменений среднего уровня Каспия.

Ключевые слова: Каспийское море, уровень водной поверхности, сумма атмосферных осадков, изменение климата, прогнозирование, значимость, тенденция.

Введение. Изменения уровней водных объектов существенно влияют на динамику их вод, экологические условия, переформирование их берегов, а также способны порождать чрезвычайные ситуации (ЧС) на прибрежных территориях. Поэтому совершенствование методик их долгосрочного прогнозирования – актуальная проблема гидрологии, экологии, гидрометеорологии и безопасности при ЧС [1–3].

Каспийское море отличается быстрыми и значительными физическими, химическими и биологическими изменениями уровня, которые возникают под влиянием внешних факторов и могут привести к серьезным последствиям. Море характеризуется не только уникальным расположением, объемом, фауной и флорой, но и высокой значимостью в экономическом, политическом и социальном секторах. Каспий на протяжении многих столетий является транспортной магистралью между окружающими его странами, богат природными ресурсами. В Прикаспийском регионе развиты нефтегазодобывающая и химическая промышленность, гидроэнергетика, рыбное хозяйство и пр. [4, 5].

Согласно представлениям о причинах изменений уровня Каспийского моря (УКМ) [6-10] все их разнообразие можно разделить на два класса. К первому можно отнести геолого-геоморфологические процессы, а ко второму – гидроклиматические [5, 6].

Многие геолого-геоморфологические процессы (трансгрессии и регрессии) влияют на изменения УКМ сотни лет и более, а его кратковременные колебания вызваны гидроклиматическими факторами (к которым относятся и климатические изменения) [6-10].

Гидроклиматические факторы изменений УКМ могут быть периодическими и непериодическими. К первым относятся его эвстатические (или водно-балансовые) изменения, вековые, многолетние, межгодовые и сезонные, вызванные вариациями объема вод моря. Ко вторым принадлежат непериодические изменения уровня в тех или иных районах моря, обусловленные сгонно-нагонными явлениями (которые могут быть названы также деформационными) [5, 6, 11].

Любые изменения УКМ приводят к значимым последствиям для всех стран, которым принадлежат побережья Каспия.

Последний подъем УКМ, происходивший с 1977 по 1995 г., привел к затоплению сотен квадратных километров прибрежных территорий, что вызвало миграцию населения. Во всех странах Прикаспийского региона появились «экологических» беженцы. Снижение УКМ, которое началось с середины 90-х годов XX века и ускорилось за последние 10 лет, нанесло не менее значимый ущерб. Средний уровень в Среднем Каспии за это время снизился, достигнув в 2022 году отметки в минус 28,67 м БС [12, 13].

По данным береговых и островных станций, в 2022 г. УКМ в Северном Каспии составлял в среднем минус 28,49 м, изменяясь от минус 27,57 до минус 29,44 м БС [12, 13].

В глубоководной казахстанской части Каспийского моря по данным МГ Форт-Шевченко, МГ Актау и МГП Фетисово средний уровень моря был минус 28,64 м БС с максимальным значением при подъеме до отметки минус 28,05 м БС и минимальным при спаде до отметки минус 29,38 м БС [12, 14].

Летом 2023 года УКМ в районе МГП Актау составлял минус 29,58 м БС [13, 14].

В работе [15] отображена цикличность вариаций УКМ, которая связана с колебаниями термического режима Каспия. Продолжительность периода цикла оценена в 90 лет.

Еще Берг Л. С. проводил восстановление временного хода уровня за более ранние годы [16]. Ныне установлены средние значения УКМ для каждого года, начиная с середины XIX века. Наиболее достоверной подобная информация является за период с 1900 года [6, 17].

Работы [6, 18] показывают связь УКМ с циркуляционными процессами в земной атмосфере.

Причинам изменений УКМ посвящены работы многих российских [4, 9, 10, 17] и казахстанских [7, 19-22] ученых. Эта проблема привлекает внимание также ученых других стран [23-26]. Ими рассмотрены не только исторические данные, но и осуществлены попытки прогнозирования будущих изменений УКМ [24].

Согласно представлениям о гидроклиматических факторах изменений уровня водной поверхности любого водоема основными являются вариации сумм атмосферных осадков, которые выпадают на территории его водосборного бассейна и являются одним из компонентов приходной части его водного баланса [6, 27]. Факторы, вызывающие эти вариации, весьма многочисленны, а многие из них не наблюдаемы. Поэтому такой процесс принято рассматривать как случайный.

При прогнозировании этих процессов может быть применен метод множественной регрессии [28]. В соответствии с ним прогноз Y изучаемого процесса y , обладающий заблаговременностью τ , определяется соотношением

$$Y(k+\tau) = c_0 + c_1 * X_1(k) + c_2 * X_2(k) + \dots + c_n * X_n(k),$$

где $X_1(k)$, $X_2(k)$, ..., $X_n(k)$ – предикторы модели, соответствующие моменту времени k ($k=1,2,\dots,K$), для которого разрабатывается прогноз, могут быть значимо статистически связаны с y , запаздывающим по отношению к ним на время τ . Длина этих рядов K превышает n (наилучший результат получается, если $K = 2 * n$), а сами они не являются линейно зависимыми. $c_0, c_1, c_2, \dots, c_n$ – действительные константы, минимизирующие среднеквадратическую ошибку $z(k+\tau) = y(k+\tau) - Y(k+\tau)$, которая вычислена с учетом всех k от 1 до K .

Будущее не предопределено, но его сценарий, при котором связи между процессами $y(k+\tau)$ и $X_i(k)$ останутся значимыми, если они были значимыми на всей доступной изучению их предыстории и при этом усиливались, является одним из наиболее вероятных [28, 29].

Учитывая причинную связь между изменениями УКМ и вариациями месячных сумм осадков (МСО) в его бассейне, допустимо предположить, что существуют участки его территории, где связи между этими процессами при некоторых τ являются значимыми и в прошлом усиливались.

Мониторинг атмосферных осадков, выпадающих в различных пунктах водосборного бассейна Каспия, уже многие десятилетия осуществляют многочисленные гидрометеорологические станции всех стран Прикаспийского региона. Результаты, полученные на многих из них, представлены на сайте [13].

Информация о часовых суммах атмосферных осадков, выпадавших с 0 ч 01.01.1959 г. по 23 ч 31.12.2023 г. во многих пунктах территории бассейна, представлена также в [30]. Упомянутые пункты соответствуют всем узлам координатной сетки реанализа ERA-5 [31-33], поддерживаемого сервисом Copernicus [30].

Тем не менее ранее справедливость выдвинутой гипотезы не проверялась, а участки бассейна Каспия, для которых связи МСО и УКМ за период современного потепления климата обладают указанными свойствами, не выявлены. Последнее не позволяет определить наиболее эффективные предикторы прогностической модели изменений УКМ и с ее помощью осуществить прогнозирование этой характеристики.

С учетом изложенного проверка выдвинутой гипотезы, а также поиск участков бассейна Каспия, для которых временные ряды МСО обладают требуемыми свойствами, представляют теоретический и практический интерес.

Цель данной работы – подобная проверка и выявление участков бассейна Каспия, для которых за период современного потепления климата временные ряды МСО значимо связаны с запаздывающими по времени рядами УКМ, и эти связи усиливались.

Для ее достижения решены следующие задачи:

1. Выявление условий, при которых статистические связи межгодовых вариаций МСО, выпадавших на всей территории водосборного бассейна Каспия за период современного потепления климата, а также изменений УКМ, запаздывающих на то или иное время, являлись значимыми.
2. Для условий, когда изучаемые связи были значимы, оценились тенденции изменений их силы, происходивших за период современного потепления климата.
3. Определение участков водосборного бассейна Каспийского моря, для которых рассматриваемые связи за период современного потепления климата были значимы и усиливались.

Материалы и методы. При выборе фактического материала об изменениях сумм атмосферных осадков проведено тестирование подобной информации, представленной в реанализе ERA-5 [30-33]. Тестирование осуществлено путем сопоставления вычисленных оценок МСО на участках бассейна Каспия, для которых информация о фактических значениях этих показателей, определенных по результатам мониторинга на территории России, Казахстана, Туркменистана, Ирана и Азербайджана, представлена в работе [13].

Тестирование показало, что упомянутая информация из реанализа ERA-5 наиболее точно соответствует оценкам, основанным на результатах мониторинга, для отрезка времени с 1.04.1975 г. по 31.10.2023 г., который включает основную часть периода современного потепления климата [12, 34, 35].

Как фактический материал о значениях МСО на различных участках бассейна Каспия использована информация реанализа ERA-5, соответствующая указанному отрезку времени [36, 37]. При этом учитывалось расположение границ бассейна, показанное согласно [38] на рисунке 1.

Как видно из рисунка 1, наибольшая часть бассейна Каспия принадлежит России и образует водосборный бассейн реки Волги. Также бассейн состоит из бассейнов рек Урал (Жайык), Эмба, Кума, Терек, Кура, Кызыл Узен и Атрек.

Из упомянутого фактического материала для каждого месяца и каждого пункта бассейна Каспия сформирован временной ряд МСО.

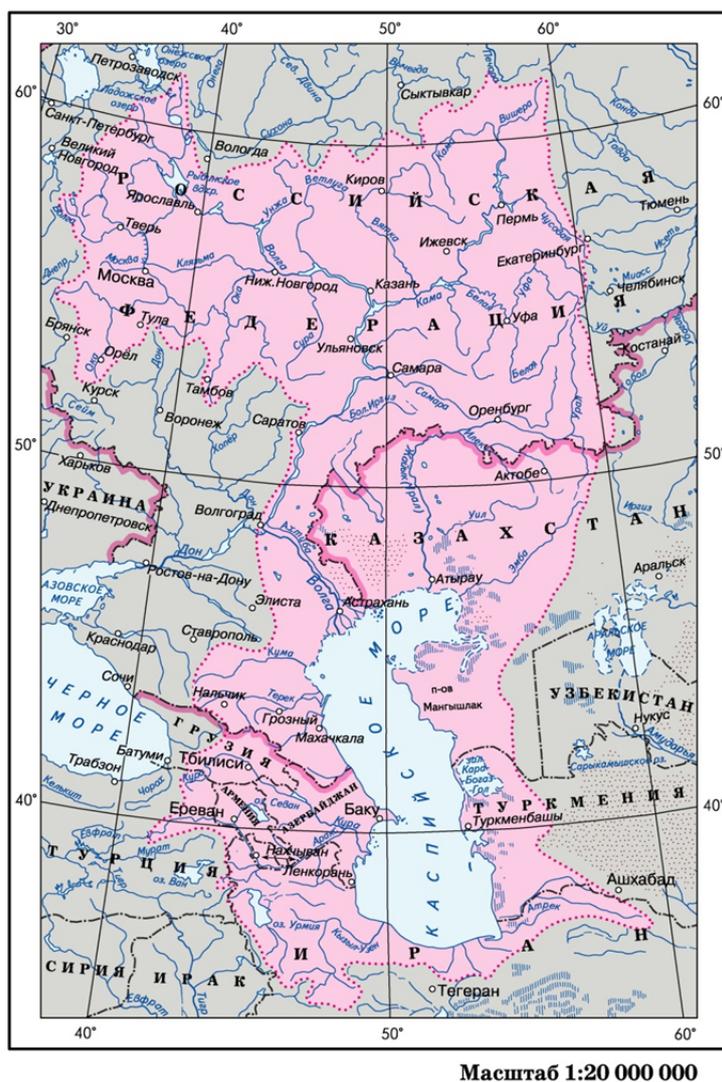


Рисунок 1 – Бассейн Каспийского моря [38]
 Figure 1 – Caspian Sea basin [38]

Как фактический материал об изменениях среднемесячных значений УКМ использована информация, которую предоставляет Координационный комитет по гидрометеорологии и мониторингу загрязнения Каспийского моря (КаспКОМ) [13]. КаспКОМ был организован гидрометеорологическими организациями прикаспийских государств при поддержке Всемирной метеорологической организации в 1994 году. По времени этот каталог охватывает весь период наблюдений, а по пространству – все побережье Каспийского моря. В каталог включены таблицы максимальных, минимальных и средних месячных значений уровня моря по данным наблюдений на 22 постах и полное описание базы данных. Сведения об уровнях моря предоставляются гидрометслужбами.

Согласно Наставлению к наблюдательным пунктам [14], на репрезентативных станциях и постах наблюдения осуществляются с дискретностью 6 ч. Измерения производятся с помощью рейки.

Средние значения УКМ вычисляются путем осреднения результатов измерений на МГП Махачкала, Форт-Шевченко, Туркменбаши, Баку как репрезентативных.

Сведения по станциям Казахстана также предоставляются в Ежегодных данных о режиме Каспийского моря на официальном сайте РГП «Казгидромет» [14]. Информация по станциям России представлена на сайте Единой государственной системы информации об обстановке в Мировом океане, а также в ежегодниках [39].

При решении первой задачи из временных рядов МСО для различных пунктов бассейна Каспия, путем их поочередного суммирования, сформированы временные ряды МСО для всей территории бассейна, соответствующие тем или иным месяцам. Члены этих рядов пропорциональны объему воды, поступившей за тот или иной месяц каждого года на всю изучаемую территорию.

Как пример на рисунке 2 показана зависимость от времени МСО на всей территории бассейна Каспия, которая соответствует маю.

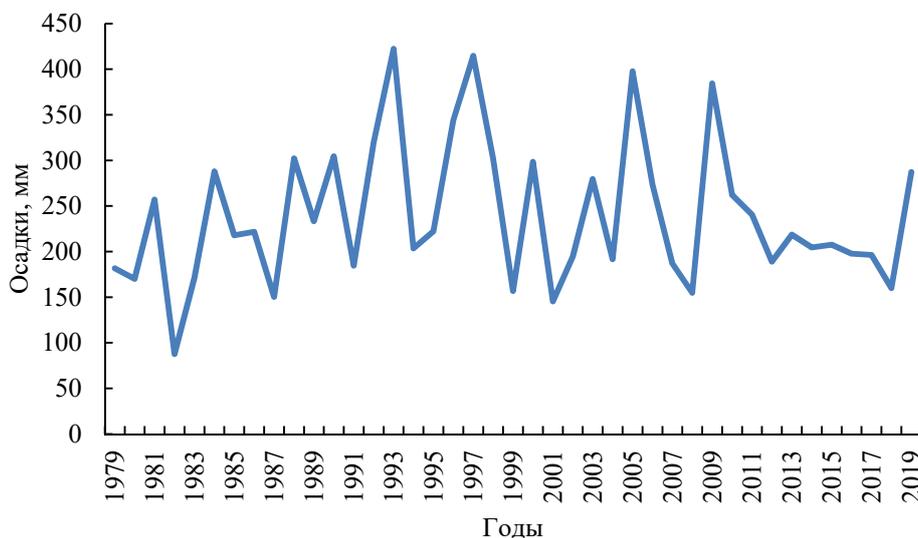


Рисунок 2 – Межгодовые изменения МСО для мая в бассейне Каспия

Figure 2 – Interannual changes in monthly precipitation amounts for May in the Caspian Sea basin

Из рисунка 2 следует, что межгодовые изменения МСО для мая в бассейне Каспия представляют собой сложные колебания. Высокочастотная мода спектра этих колебаний, которая может быть выделена по такому ряду, обладает периодом, близким к 3 годам. Его долгопериодная мода, вероятно, может иметь период около 100 лет, а на рассматриваемом отрезке времени ее максимум соответствует приблизительно 2000 году. Определить его не позволяет недостаточная длина изучаемых временных рядов.

Аналогичными особенностями обладают рассматриваемые процессы и для других месяцев, однако периоды и фазы мод спектров соответствующих зависимостей от времени МСО иные.

Для сравнения на рисунке 3 показаны зависимости от времени среднего УКМ для некоторых месяцев.

Из рисунка 3 следует, что в целом за период 1900-2021 гг. изменения УКМ носили убывающий характер. При этом в период 1935-1995 гг. эти изменения происходили на заметно более низком среднем уровне.

В современном климатическом периоде (1991-2020 гг.) средняя скорость снижения УВП составила 0,046 м/год, что значительно выше, чем для периода 1900-1929 гг. (0,020 м/год). Последнее может быть следствием повышения климатических норм температур воздуха и снижения климатических норм МСО в бассейне Каспия, что существенно повысило среднюю интенсивность испарения воды, а также строительства равнинных гидроэлектростанций на Волге.

Из рисунка 3 понятно, что межгодовые изменения УКМ значительно более выражены, чем внутригодовые вариации. При этом, как видно из рисунка 2, в период 1979-2019 гг. характер этих изменений подобен зависимости от времени предполагаемой долгопериодной моды межгодовых вариаций МСО для мая, поступающих в бассейн Каспия.

Такое подобие может приводить к наличию статистических связей временных рядов МСО для мая с рядами УКМ для любых месяцев. Так как для других месяцев периоды и фазы долгопериодной моды спектров рядов МСО иные, связи этих рядов с рядами УВП значимыми могут и не быть.

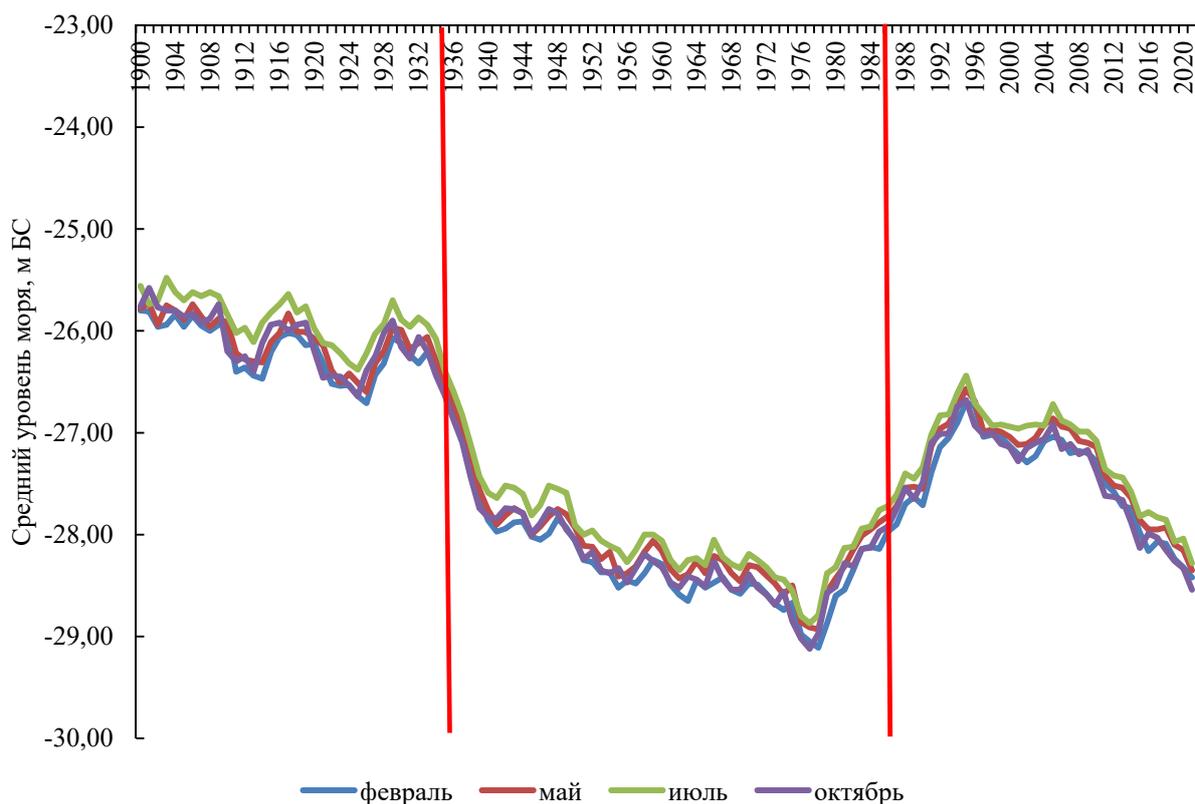


Рисунок 3 – Зависимости от времени среднемесячных значений среднего УКМ для некоторых месяцев
 Figure 3 – Depending on the time of the average monthly values of the average level of the Caspian Sea for some months

Как характеристика силы связи между изучаемыми временными рядами рассматривалось значение коэффициента их корреляции, поэтому при решении первой задачи применен метод корреляционного анализа.

Исследовались связи между сформированными временными рядами МСО для каждого месяца для периода 1979-2019 гг., а также между рядами среднемесячных УКМ, которые совпадают с ними по времени либо запаздывают на 1-36 мес. При оценке значимости рассматриваемых связей применен критерий Стьюдента.

В результате определения порогового уровня коэффициента корреляции учитывалось наименьшее количество степеней свободы сопоставляемых временных рядов. Упомянутое количество находилось для каждого ряда по его автокорреляционной функции. Его наименьшее значение для всей совокупности изучаемых рядов составило 39.

Перед вычислением коэффициента корреляции рассматриваемых временных рядов в каждом из них скомпенсирован линейный тренд, коэффициенты которого определены по методу наименьших квадратов.

Решение о значимости связей принималось, если достоверность этого статистического вывода превосходила 0,95 (величина модуля соответствующего порога корреляции составляет 0,33). Результаты корреляционного анализа сравнивались также с пороговым уровнем 0,42, который соответствует достоверности вывода о значимости связей 0,99.

При решении второй задачи из рассматриваемых временных рядов МСО для всех месяцев сформированы отрезки длиной 36 лет, окончание которых запаздывало по отношению к 2021 году на время $\tau = 0-10$ лет. Также сформированы отрезки ряда УКМ, запаздывающие по отношению к ним на 0-36 мес.

Для отрезков временных рядов УКМ, соответствующих каждому рассматриваемому месяцу и каждому τ , вычислены коэффициенты их корреляции (К) с отрезками рядов МСО, опережающих их на то или иное время.

Из вычисленных значений K для каждого пункта, месяца и τ сформирован временной ряд, содержащий 11 членов, который отражает зависимость силы связи между изучаемыми процессами от года начала соответствующего «скользящего окна» (отрезка времени, на котором она оценивалась).

По этому ряду установлен угловой коэффициент его линейного тренда, который признавался значимым, если достоверность такого вывода составляла не менее 0,95. Это решение выносилось, если выполнялось условие

$$39 * \text{УКЛТ } K > 1,65 * \text{СКО} ,$$

где УКЛТ K – угловой коэффициент линейного тренда ряда K ; СКО – среднеквадратическое отклонение этого ряда. При этом использовано допущение о том, что отклонения членов ряда от соответствующего тренда подчиняются нормальному закону, которое не проверялось ввиду малой длины этого ряда.

Решение о том, что для рассматриваемого ряда УМК его связи с изучаемыми вариациями МСО являлись значимыми и усиливались, принималось, если вычисленное значение УКЛТ K являлось отрицательным, а соответствующий коэффициент синхронной корреляции сопоставляемых рядов по модулю превышал 0,33.

Как следует из рассмотренной методики, проверка допущения о том, что отклонения членов ряда K от соответствующего тренда подчиняются нормальному закону, не была осуществлена, так как каждый ряд содержит всего 11 членов. Поэтому выводы, которые могут быть получены с ее применением, следует рассматривать как носящие лишь качественный характер.

Результаты исследования и их анализ. При решении первой задачи для каждого месяца, которому соответствует ряд МСО на всей территории бассейна Каспия за 1979-2019 гг., определены значения его взаимно корреляционной функции с рядами УМК, для их запаздываний τ , не превышающих 36 мес. Вычисленные значения сопоставлены с уровнем 0,33, при превышении которого вывод о значимости корреляции характеризуется достоверностью не менее 0,95.

Установлено, что вывод о значимости связей между рассматриваемыми рядами может быть сделан лишь при условии, что ряды МСО соответствуют мая (что свидетельствует о справедливости представленного вывода из анализа рисунков 2 и 3).

Как подтверждение на рисунке 4 приведена полученная таким образом зависимость от времени запаздывания τ рядов УМК, значений коэффициента их корреляции с рядами МСО для мая.

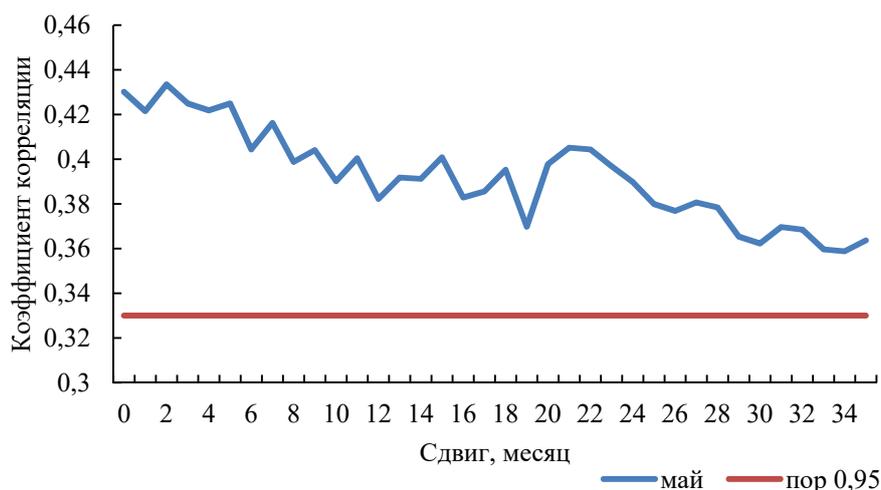


Рисунок 4 – Зависимость коэффициента корреляции межгодовых изменений МСО для мая в бассейне Каспия и вариаций УМК от месяца, которому соответствуют эти вариации

Figure 4 – Dependence of the correlation coefficient of interannual changes in monthly precipitation amounts for May in the Caspian basin and variations in the Caspian Sea level on the month with these variations correspond

Из рисунка 4 видно, что при любом сдвиге (времени запаздывания τ) между рядом УКМ и рядом МСО для мая коэффициент корреляции K существенно превышает выбранный пороговый уровень.

Для рядов МСО, которые соответствуют прочим месяцам, их корреляция с запаздывающими по времени рядами УКМ, как и следовало ожидать, значимой не является.

При решении второй задачи из временных рядов МСО для мая, а также запаздывающих рядов УКМ сформированы отрезки длиной 39 лет, начала которых соответствуют 1975-1985 гг. Из рядов УКМ вырезаны части, запаздывающие по отношению к этим отрезкам на $\tau = 0-36$ лет. Для каждого τ вычислены их коэффициенты корреляции (K).

Из значений K , соответствующих некоторому τ , сформированы временные ряды. Сдвиг τ отсчитывается от начала ряда УКМ в прошлое. Поэтому усилению той или иной рассматриваемой связи соответствует отрицательное значение УКЛТ K .

Полученная таким образом зависимость УКЛТ K от τ для случая, когда ряд МСО (для территории всего бассейна Каспия) соответствует маю, представлена на рисунке 5.

Из рисунка 5 видно, что величины УКЛТ K , которые соответствуют любым $\tau < 35$, являются положительными, хотя значимы они лишь для $17 < \tau < 21$.

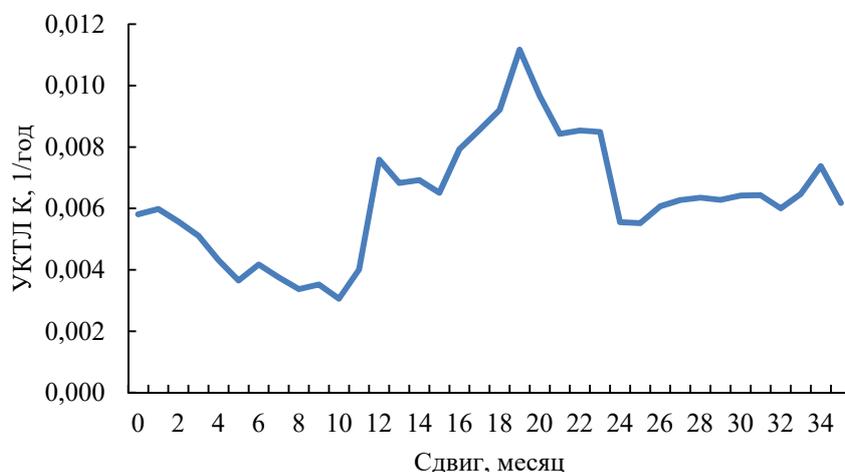


Рисунок 5 – Зависимость УКЛТ к ряду, сформированного из значений коэффициента корреляции отрезков рядов МСО для мая, а также рядов УКМ, от величины τ

Figure 5 – The trends dependence on the series formed from the values of the correlation coefficient of the series of monthly precipitation for May, as well as the series of the Caspian Sea level, on the value of τ

Следовательно, имеются веские основания для сомнений в том, что связи рядов УКМ и опережающих их рядов МСО для всего бассейна, соответствующих маю, в будущем (как и в прошлом) останутся значимыми. Поэтому весьма актуальным является решение задачи 3. В соответствии с изложенной методикой значимость связи и наличие ее усиления за период современного потепления климата проверялись для каждого участка бассейна Каспия.

Установлено, что, как и в рассмотренном случае, связи рядов УКМ с опережающими их по времени рядами МСО для некоторых участков его бассейна, соответствовавшими маю, являлись значимыми. Кроме того, значимыми они были и в некоторых других случаях.

Как пример в таблице приведено количество участков бассейна Каспия, для которых корреляция соответствующих им МСО за 1979-2021 гг., а также запаздывающих по отношению к ним рядов его УКМ для июня, июля и августа являлась значимой.

Из таблицы видно, что на упомянутой территории присутствуют и участки, где связи рядов УКМ для тех же месяцев и рядов МСО для декабря, февраля и других месяцев также значимы.

Расположения участков бассейна Каспия, для которых временные ряды МСО за 1979-2019 гг., соответствующие маю, значимо коррелированы с рядами УКМ для июня и июля, запаздывающих по отношению к ним на то или иное время, показаны на рисунке 6.

Количество участков бассейна Каспия, для которых корреляция соответствующих им МСО для всех месяцев, а также запаздывающих по отношению к ним рядов его УКМ (за 1979-2021 гг.) для июня, июля и августа являлась значимой

Number of Caspian Sea basin sites for which the correlation of their corresponding MSOs for all months, as well as the lagged series of its level (for 1979-2021) for June, July and August was significant

Год МСО	Месяц МСО	УВП июнь	УВП июль	УВП август	Год МСО	Месяц МСО	УВП июнь	УВП июль	УВП август
1979	Июн.	88	90	60	1977	Дек.	298	295	330
1979	Май.	693	700	473	1977	Ноя.	0	0	3
1979	Апр.	36	36	9	1977	Окт.	0	0	0
1979	Мар.	0	0	0	1977	Сен.	0	0	0
1979	Фев.	6	6	15	1977	Авг.	26	24	4
1979	Янв.	46	47	40	1977	Июл.	48	43	24
1978	Дек.	186	185	177	1977	Июн.	0	0	0
1978	Ноя.	15	15	10	1977	Май.	910	912	1036
1978	Окт.	0	0	0	1977	Апр.	41	37	57
1978	Сен.	0	0	0	1977	Мар.	75	75	90
1978	Авг.	48	44	74	1977	Фев.	69	69	53
1978	Июл.	13	13	7	1977	Янв.	3	3	3
1978	Июн.	1	1	0	1976	Дек.	50	48	15
1978	Май	584	583	764	1976	Ноя.	4	4	2
1978	Апр.	0	0	0	1976	Окт.	0	0	0
1978	Мар.	0	0	0	1976	Сен.	0	0	0
1978	Фев.	234	234	235	1976	Авг.	3	3	12
1978	Янв.	4	4	6	1976	Июл.	36	30	15

Рисунок 6 свидетельствует о том, что расположения участков территории бассейна Каспия, для которых временные ряды МСО за 1979-2019 гг., соответствующие маю, значительно коррелированы с рядами УКМ для июня и июля, запаздывающих по отношению к ним на 1-2, 13-14 и 25-26 мес., практически подобны. Последнее объясняется тем, что внутригодовая изменчивость УКМ значительно менее интенсивна, чем межгодовая изменчивость [7] (и это видно из рисунка 3).

Участки, где корреляция изучаемых процессов значима, многочисленны и при рассматриваемых τ расположены в бассейне либо Волги (Россия), либо рек Жайык (Урал) и Эмба (Россия и Казахстан).

Суммарная площадь таких участков при увеличении значения τ несколько возрастает.

Достоверность выводов о значимости корреляции между рассматриваемыми процессами для некоторых участков превышает не только 0,95, но и 0,99.

Установлено, что межгодовые изменения МСО для мая на всех таких участках не являются линейно зависимыми, поэтому соответствующие временные ряды МСО могут быть применены при моделировании вариаций УКМ для рассматриваемых месяцев. Вследствие существенного подобия зависимостей от времени УКМ для различных месяцев данный вывод справедлив и для прочих месяцев.

Для определения среди обнаруженных участков тех, для которых вероятность того, что корреляция между рядами МСО для мая и рядами УКМ окажется значима в будущем, является повышенной, осуществлен поиск участков, где за период современного потепления климата она значительно усиливалась. Как уже упоминалось, на таких участках значения УКЛТ К значимы и отрицательны.

Расположение участков территории бассейна Каспия, для которых связь между рядами МСО на них для мая, а также рядами УКМ для июня, июля и августа, запаздывающими на 13-15 мес., за период современного потепления климата значительно усиливалась, показано на рисунке 7, а, в и д.

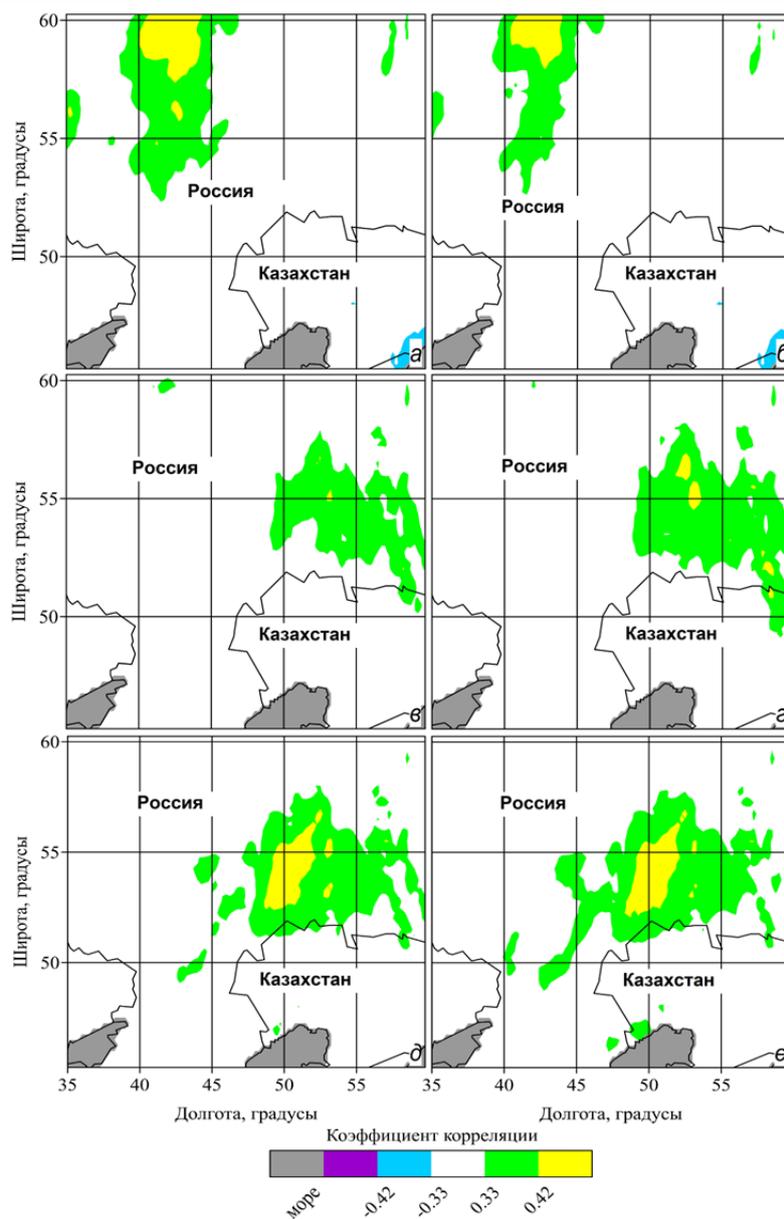


Рисунок 6 – Участки бассейна Каспия, где корреляция рядов МСО для мая и рядов УКМ для июня и июля, а также значимые значения при сдвигах по времени между ними: а – июнь 2 мес.; б – июль 2 мес.; в – июнь 14 мес.; г – июль 14 мес.; д – июнь 26 мес.; е – июль 26 мес.

Figure 6 – Sections of the Caspian Sea basin, where the correlation of the precipitation series for May and the water level series for June and July, as well as significant values with time shifts between them: а – June 2 months; б – July 2 months; в – June 14 months; г – July 14 months; д – June 26 months; е – July 26 months

Расположение участков, где корреляция между рассматриваемыми рядами усиливалась, являлась значимой и положительной, а также за период современного потепления климата усиливалась, представлено на рисунке 7, б, г и е.

Из рисунка 7, а, в и д следует, что корреляция между рядами МСО для мая, а также рядами УКМ для июня, июля и августа, которые запаздывают по отношению к ним на 13-15 мес., за период современного потепления климата значимо усиливалась (УКЛТ <0,003) на многих участках территории его бассейна. Такие участки преобладают во многих районах России и Казахстана.

На рисунке 7, где корреляция за 2, 14 и 26 месяцев для рассматриваемых рядов является значимой находятся в России, в бассейне реки Волги.

Таким образом, цель данной работы достигнута, а все ее задачи успешно решены.

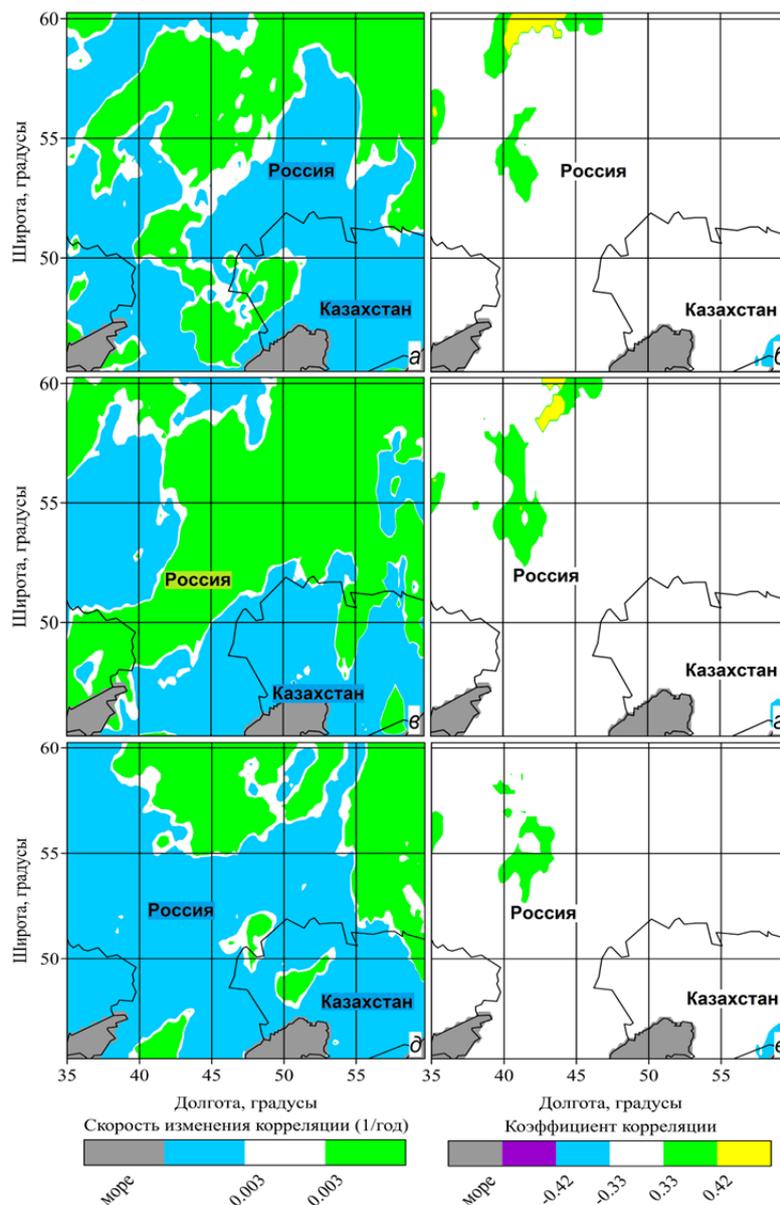


Рисунок 7 – Участки бассейна Каспия, где тренды корреляции МСО для мая и УКМ отрицательны, а их корреляция для 1979-2021 гг. значима и положительна: *a* – тренд 2 мес.; *б* – корреляция 2 мес.; *в* – тренд 14 мес.; *г* – корреляция 14 мес.; *д* – тренд 26 мес.; *е* – корреляция 26 мес.

Figure 7 – Sections of the Caspian basin territory where the trends of the correlation of the precipitation for May and water level are negative, and their correlation for 1979-2021 is significant and positive: *a* – trend 2 months; *b* – correlation 2 months; *c* – trend 14 months; *d* – correlation 14 months; *e* – trend 26 months; *f* – correlation 26 months

Обсуждение результатов. Полученные результаты качественно соответствуют представлениям о закономерностях изменения УКМ, проявляющихся в период современного потепления климата [7, 12, 34], а также об особенностях изменений МСО в бассейне, которые происходили в период 1979-2021 гг. [40-42].

При этом новыми установленными фактами являются:

1. Статистические связи межгодовых изменений МСО для всего бассейна Каспия за период современного потепления климата с совпадающими с ними по времени или запаздывающими на 1-36 месяцев вариациями [6, 43-44] являются значимыми лишь при условии, что МСО соответствуют маю.

2. Значимого усиления корреляции между этими процессами за период современного потепления климата не выявлено (более того, зафиксировано ее незначимое ослабление).

3. В бассейне Каспия выявлены многочисленные участки, расположенные в Поволжье, для которых статистические связи соответствующих им временных рядов МСО для мая, а также запаздывающих по времени рядов [40-42] в период современного потепления климата являлись значимыми и значимо усиливались.

Причины существенного снижения среднего уровня воды Каспийского моря [6, 7], произошедшего в середине XX века, нуждаются в выяснении. Вследствие значительной продолжительности периода, в котором произошло это явление (около 60 лет), связывать его с изменениями одного лишь гидротермического режима бассейна Каспия проблематично (периоды усиления засушливости климата на его территории были менее продолжительными). Невозможно объяснить резкое снижение УКМ также строительством на Волге и Каме равнинных гидроэлектростанций, поскольку в середине 30-х годов, когда это снижение произошло, упомянутые сооружения еще только проектировались, а их строительство состоялось лишь в 50-е годы.

Установленные закономерности свидетельствуют о целесообразности учета связей между вариациями МСО на выявленных участках бассейна Каспия при долгосрочном прогнозировании изменений его УКМ.

Выводы:

1. Корреляция временных рядов, отражающих межгодовые изменения месячных сумм атмосферных осадков на всей территории бассейна Каспия, а также рядов среднемесячных значений его среднего уровня, запаздывающих по отношению к ним на 0-36 мес., за период 1979-2021 гг. и различные его части была значимой лишь при условии, что ряды МСО соответствовали маю.

2. За период современного потепления климата значимого усиления их корреляции не выявлено (более того, зафиксировано ее незначимое ослабление), что снижает вероятность того, что она останется значимой в ближайшем будущем.

3. Выявлены многочисленные участки бассейна Каспия, расположенные преимущественно в России, где корреляции между соответствующими временными рядами месячных сумм местных атмосферных осадков для мая, а также запаздывающими по отношению к ним рядами Каспия в период современного потепления климата являлись значимыми и значимо усиливались.

4. Актуальной проблемой безопасности при ЧС на побережьях Каспия, вызванных изменениями среднего уровня его водной поверхности, является развитие на выявленных территориях Поволжья сети гидрометеорологических станций, где осуществляется мониторинг атмосферных осадков.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Стеблев И. В., Пивоварова Ж. Ф., Смоляков Б. С., Неделькина С. В. Биogeосистемы лесов и вод России. – М.: Наука, 1993. – 344 с.
- [2] Страхов В. В., Писаренко А. И., Борисов В. А. Леса мира и России // Использование и охрана природных ресурсов России. – М., 2001. – № 9. – С. 49-63.
- [3] Тишков А. А. Биосферные функции природных экосистем России. – М.: Наука, 2005. – 309 с.
- [4] Бухарицин П. И., Болдырев Б. Ю., Новиков В. И. Комплексная система гидрометеорологического обеспечения безопасности мореплавания, портов и транспортных комплексов на Каспийском море. – Астрахань, 2014. – 319 с.
- [5] Гидрометеорология и гидрохимия морей. Т. VI. Каспийское море. Гидрометеорологические условия. – СПб.: Гидрометеоиздат, 1992. – Вып. 1. – 359 с.
- [6] Водный баланс и колебания уровня Каспийского моря. Моделирование и прогноз / Под ред. Е. С. Нестерова. – М.: Триада ЛТД, 2016. – 378 с.
- [7] Ивкина Н. И., Терехов А. Г., Наурузбаева Ж. К. Колебания уровня Каспийского моря и диагностика современных изменений положения береговой линии по спутниковым данным LANDSAT периода 2005-2015 годов // Гидрометеорология и экология. – 2015. – № 2. – С. 89-99.
- [8] Каплин П. А., Селиванов А. О. Изменения уровня морей России и развитие берегов: прошлое, настоящее, будущее. – Москва: ГЕОС, 1999. – 299 с.
- [9] Малинин В. Н., Гордеева С. М. Уровень Каспийского моря как индикатор крупномасштабного влагообмена в системе «океан—атмосфера—суша» // Труды Карельского научного центра РАН. – 2020. – № 4. – С. 5-20. doi: 10.17076/lim1156
- [10] Малинин В. Н. Грозит ли Каспию судьба Арала? // Гидрометеорология и экология, – 2022. – № 69. – С. 746-760. doi: 10.33933/2713-3001-2022-69-746-760
- [11] Холощев А. В., Никифорова М. П. Солнечная активность и прогнозы физико-географических процессов // LAP LAMBERT Academic Publishing, 2013. – 333 p.

- [12] Восьмое национальное сообщение и Пятый оценочный доклад Республики Казахстан Рамочной конвенции ООН об изменении климата. – Астана, 2022. – 493 с.
- [13] Официальный сайт Координационного комитета по гидрометеорологии и мониторингу загрязнения Каспийского моря (КаспКОМ) <http://www.caspc.com/index.php?razd=main&lang=1>
- [14] Официальный сайт РГП «Казгидромет» <https://www.kazhydromet.kz/ru/kaspiyskoe-more/kaspiyskoe-more>
- [15] Шлямин Б. А. Каспийское море. – М.: Географгиз, 1954. – 128 с.
- [16] Берг Л. С. Географические зоны Советского Союза. Изд. 3. – М., 1947. – Т. 1; М., 1952. – Т. 2. – 397 с.
- [17] Ермаков В. Б. Многолетние изменения уровня Каспийского моря и современные варианты их прогнозирования // Известия РАН. Серия географическая. – 2023. – Т. 87, № 6. – С. 930-940. DOI: 10.31857/S2587556623060067
- [18] Тужилкин В. С., Косарев А. Н., Архипкин В. С., Никонова Р. Е. Многолетняя изменчивость гидрологического режима Каспийского моря в связи с вариациями климата // Вестник МГУ. Серия 5. География. – 2011. – № 2. – С. 62-71.
- [19] Лобанов В. А., Наурызбаева Ж. К. Влияние изменения климата на ледовый режим Северного Каспия. – СПб.: РГТМУ, 2021. – 140 с. http://elib.rshu.ru/files_books/pdf/rid_f9fc95690a374fa38903ed7cdd3be28b.pdf
- [20] Медеу А. Р., Мальковский И. М., Толеубаев Л. С., Алимкулов С. К. Водная безопасность Республики Казахстан: проблемы устойчивого водообеспечения. – Алматы, 2015. – 582 с.
- [21] Kholoptsev A. V., Naurozbayeva Zh. K. (2022). The Northern Caspian Levels and Its Ice Regime Changing During Current Climate Warming. In: Karev, V.I. (eds). Physical and Mathematical Modeling of Earth and Environment Processes. Springer Proceedings in Earth and Environmental Sciences. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-030-99504-1_15 1st ed. 2022. – 337 p. <https://link.springer.com/book/10.1007/978-3-030-99504-1>
- [22] Zhanar Naurozbayeva, Aziza Baubekova, Anastasia Kvasha, Vladimir Lobanov, Bjorn Kløve & Ali Torabi Haghighi (2023) Determining factors for changes in the ice regime of the Caspian Sea, International Journal of Water Resources Development. DOI: 10.1080/07900627.2023.2231099 <https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/07900627.2023.2231099?tab=permissions&scroll=top&role=tab>
- [23] Arpe K. Leroy S. The Caspian Sea level forced by the atmospheric circulation, as observed and modeled // Quaternary International. – 2007. – Vol. 173-174. – P. 144-152.
- [24] Roshan G., Moghbel M., Grab S. Modeling Caspian Sea water level oscillations under different scenarios of increasing atmospheric carbon dioxide concentrations // Journal of Environmental Health Science and Engineering. – 2012. – Vol. 9.
- [25] Prange, M., Wilke, T. & Wesselingh, F.P. The other side of sea level change // Commun Earth Environ 1, 69 (2020). <https://doi.org/10.1038/s43247-020-00075-6>
- [26] Renssen H., Longhead B. C., Aerts J. C., de Moel H., Ward P. J. Kwadijk J.C.J. Simulating long-term Caspian Sea level changes; the impact of Holocene and future climate conditions // Earth and Planetary Science Letters. – 2007. – Vol. 261. – P. 685-693.
- [27] Добровольский С. Г. Изменения климата и составляющих водного баланса // Актуальные проблемы водообеспечения. – Москва: Наука, 2003. – С. 119-130.
- [28] Дрейпер Н., Смит Г. Прикладной регрессионный анализ. – М.: Диалектика, 2017. – 912 с.
- [29] Клиге Р. К. Современные изменения уровня Мирового океана // Уровень берега и дно океана. – М.: Наука, 1978. – С. 136-180.
- [30] Copernicus Climate Change Service [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://climate.copernicus.eu/>
- [31] Hersbach H., Dee D. ERA5 reanalysis is in production // ECMWF Newsletter. – 2016. – Vol. 147. – P. 7.
- [32] Hersbach H., Bell B., Berrisford P., Hirahara S., Horányi A., Muñoz-Sabater Дж., Николас Дж., Пьюби К., Раду Р., Шеперс Д., Симмонс А., Соци К., Абдалла С., Абеллан Х., Бальзамо Г., Бехтольд П., Биавати Г., Бидло Дж., Бонавита М., Де Кьяра Г., Дальгрэн П., Ди Д., Диамантакис М., Драгани Р., Флемминг Дж., Форбс Р., Фуэнтес М., Гир А., Хаймбергер Л., Хили С., Хоган Р.Дж., Холм Е.А., Янискова М., Кили С., Лалоо П., Лопес П., Радноти Г., Росней П.Д., Розум И., Вамборг Ф., Вильом С., Тело Ж.-Н., 2020: The ERA5 глобальный реанализ. QJR Meteorol Soc. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://doi.org/10.1002/qj.3803>
- [33] Hoffmann L., Günther G., Li D., Stein O. et al. From ERA-Interim to ERA5: the considerable impact of ECMWF's next-generation reanalysis on Lagrangian transport simulations // Atm. Chem. Phys. – 2019. – Vol. 19. – P. 3097-3124.
- [34] Второй оценочный доклад Росгидромета об изменениях климата и их последствиях на территории Российской Федерации. – М.: Изд-во Росгидромета, 2014. – 1009 с.
- [35] Climate Change: The Physical Science Basis. (2013) [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://www.ipcc.ch/report/ar5/wg1/lncs>, last accessed 2016/11/21.
- [36] Банк данных об изменениях метеословий в различных регионах мира [Электронный ресурс]. Режим доступа: tutiempo.net/climate/.
- [37] База данных Результаты реанализа ERA5 hourly data on pressure levels from 1979 to present. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://cds.climate.copernicus.eu/cdsapp#!/dataset/reanalysis-era5-pressure-levels?tab=form> DOI: 10.24381/cds.bd0915c6
- [38] Карта бассейна Каспийского моря [Электронный ресурс]. Режим доступа: https://in.pinterest.com/pin/496944140130137104/?amp_client_id=CLIENT_ID%28_%29&mweb_unauth_id=&from_amp_pin_page=true
- [39] Официальный сайт Единая государственная система информации об обстановке в Мировом океане. <http://portal.esimo.ru/portal/portal/esimo-user/opermodule;jsessionid=60B449834441F8F87F2C3327E8DCBECC>
- [40] Анисимов О. А., Жильцова Е. Л. Об оценках изменений климата регионов России в XX и начале XXI веков по данным наблюдений // Метеорология и гидрология. – 2012. – № 6. – С. 95-107.
- [41] Григорьев А. А. Закономерности строения и развития географической среды: Избранные теоретические работы. – М., 1966. – 382 с.

- [42] Опасные природные явления юга России / Под ред. проф. Л. Н. Карлина. – СПб.: Изд-во ВВМ, 2006. – 216 с.
- [43] Elguindi N., Giorgi F. Simulating multi-decadal variability of Caspian Sea level changes using regional climate model outputs // *Climate Dynamics*. – 2006. – Vol. 26. – P. 167-181.
- [44] Kislov A. V., Panin A., Toropov P. A. Current status and palaeostages of the Caspian Sea as a potential evaluation tool for climate model simulations // *Quaternary International*. – 2014. – Vol. 345. – P. 48-55. doi: 10.1016/j.quaint.2014.05.014

REFERENCES

- [1] Steblev I. V., Pivovarova Zh. F., Smolyakov B. S., Nedelkina S. V. Biogeosystems of forests and waters of Russia. M.: Nauka, 1993. 344 p. (in Russ.).
- [2] Strakhov V. V., Pisarenko A. I., Borisov V. A. Forests of the World and Russia // *Use and Protection of Natural Resources of Russia*. M., 2001. No. 9. P. 49-63 (in Russ.).
- [3] Tishkov A. A. Biosphere functions of natural ecosystems of Russia. M.: Nauka, 2005. 309 p. (in Russ.).
- [4] Bukharitsin P. I., Boldyrev B. Y., Novikov V. I. Integrated system of hydrometeorological support of navigation safety, ports and transport complexes on the Caspian Sea. Astrakhan, 2014. 319 p. (in Russ.).
- [5] Hydrometeorology and hydrochemistry of the seas. Vol. VI. Caspian Sea. Hydrometeorological conditions. SPb.: *Gidrometeoizdat*, 1992. Vol. 1. 359 p. (in Russ.).
- [6] Water balance and level fluctuations of the Caspian Sea. Modelling and Forecasting / Ed. E. S. Nesterov. M.: Triada Ltd, 2016. 378 p. (in Russ.).
- [7] Ivkina N. I., Terekhov A. G., Naurozbayeva Zh. K. Caspian Sea level fluctuations and diagnostics of modern changes in the position of the coastline from LANDSAT satellite data of the period 2005-2015 // *Hydrometeorology and Ecology*. 2015. No. 2. P. 89-99 (in Russ.).
- [8] Kaplin P. A. Selivanov A. O. Changes in the sea level of Russia and coastal development: past, present, future. Moscow: GEOS, 1999. 299 p. (in Russ.).
- [9] Malinin V. N., Gordeeva S. M. Caspian Sea level as an indicator of large-scale moisture exchange in the system «ocean-atmosphere-land» // *Proceedings of the Karelian Scientific Centre of the Russian Academy of Sciences*. 2020. No. 4. P. 5-20. doi: 10.17076/lim1156 (in Russ.).
- [10] Malinin V. N. Does the fate of the Aral Sea threaten the Caspian Sea? // *Hydrometeorology and Ecology*. 2022. No. 69. P. 746-760. doi: 10.33933/2713-3001-2022-69-746-760 (in Russ.).
- [11] Kholoptsev A. V., Nikiforova M. P. Solar activity and forecasts of physiographic processes // *LAP LAMBERT Academic Publishing*. 2013. 333 p. (in Russ.).
- [12] Eighth National Communication and Fifth Assessment Report of the Republic of Kazakhstan to the United Nations Framework Convention on Climate Change. Astana, 2022. 493 p. (in Russ.).
- [13] Official website of the Coordination Committee on Hydrometeorology and Pollution Monitoring of the Caspian Sea (CASPCOM) <http://www.caspc.com/index.php?razd=main&lang=1> (in Russ.).
- [14] Official website of RSE Kazhydromet <https://www.kazhydromet.kz/ru/kaspiyskoe-more/kaspiyskoe-more> (in Russ.).
- [15] Shlyamin B. A. Caspian Sea. Moscow: Geografiz, 1954. 128 p. (in Russ.).
- [16] Berg L. S. Geographical zones of the Soviet Union. Ed. 3 M., 1947. Vol. 1.; M., 1952. Vol. 2. 397 p. (in Russ.).
- [17] Ermakov V. B. Long-term changes in the Caspian Sea level and modern options for their forecasting. // *Bulletin of the Russian Academy of Sciences, geographical series*, 2023. Vol. 87, No. 6. P. 930-940. DOI: 10.31857/S2587556623060067 (in Russ.).
- [18] Tuzhilkin V. S., Kosarev A. N., Arkhipkin V. S., Nikonova R. E. Multiyear variability of the hydrological regime of the Caspian Sea in connection with climate variations // *MSU Bulletin. Series 5. Geography*. 2011. No. 2. P. 62-71 (in Russ.).
- [19] Lobanov V. A., Naurozbayeva Zh. K. Impact of climate change on the ice regime of the Northern Caspian Sea. St. Petersburg, 2021. 140 p. http://elib.rshu.ru/files_books/pdf/rid_f9fc95690a374fa38903ed7cdd3be28b.pdf (in Russ.).
- [20] Medeu A. R., Malkovskiy I. M., Toleubaev L. S., Alimkulov S. K. Water security of the Republic of Kazakhstan: problems of sustainable water supply. Almaty, 2015. 582 p. (in Russ.).
- [21] Kholoptsev A. V., Naurozbayeva Z. K. (2022). The Northern Caspian Levels and Its Ice Regime Changing During Current Climate Warming. In: Karev, V.I. (eds). *Physical and Mathematical Modeling of Earth and Environment Processes*. Springer Proceedings in Earth and Environmental Sciences. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-030-99504-1_15 1st ed. 2022. 337 p. <https://link.springer.com/book/10.1007/978-3-030-99504-1>
- [22] Zhanar Naurozbayeva, Aziza Baubekova, Anastasia Kvasha, Vladimir Lobanov, Bjorn Kløve & Ali Torabi Haghighi (2023). Determining factors for changes in the ice regime of the Caspian Sea, *International Journal of Water Resources Development*. DOI: 10.1080/07900627.2023.2231099 <https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/07900627.2023.2231099?tab=permissions&scroll=top&role=tab>
- [23] Arpe K. Leroy S. The Caspian Sea level forced by the atmospheric circulation, as observed and modeled // *Quaternary International*. 2007. Vol. 173-174. P. 144-152.
- [24] Roshan G., Moghbel M., Grab S. Modeling Caspian Sea water level oscillations under different scenarios of increasing atmospheric carbon dioxide concentrations // *Journal of Environmental Health Science and Engineering* (2012). Vol. 9.
- [25] Prange M., Wilke T. & Wesselingh, F.P. The other side of sea level change // *Commun Earth Environ* 1, 69 (2020). <https://doi.org/10.1038/s43247-020-00075-6>
- [26] Renssen H., Longhead B. C., Aerts J. C., de Moel H., Ward P. J. Kwadijk J.C.J. Simulating long-term Caspian Sea level changes; the impact of Holocene and future climate conditions // *Earth and Planetary Science Letters*. 2007. Vol. 261. P. 685-693.
- [27] Dobrovolsky S.G. Changes in climate and water balance components. // *Actual problems of water supply*. Moscow: Nauka, 2003. P. 119-130 (in Russ.).

- [28] Draper N., Smith G. Applied regression analysis. Moscow: Dialectics, 2017. 912 p. (in Russ.).
- [29] Klige R. K. Modern changes in the level of the World Ocean // Coastal level and the ocean floor. Moscow: Nauka, 1978. P. 136-180 (in Russ.).
- [30] Copernicus Climate Change Service [Electronic resource]. Access mode: <https://climate.copernicus.eu/>
- [31] Hersbach H., Dee D. ERA5 reanalysis is in production // ECMWF Newsletter. 2016. Vol. 147. P. 7.
- [32] Hersbach H., Bell B., Berrisford P., Hirahara S., Horányi A., Muñoz-Sabater J., Nicholas J., Paby K., Radu R., Schepers D., Simmons A., Soci K., Abdallah S., Abellan X., Balsamo G., Bechtold P., Biawati G., Bidlo J., Bonavita M., De Chiara G., Dahlgren P., Dee D., Diamantakis M., Dragani R., Flemming J., Forbes R., Fuentes M., Geer A., Heimberger L., Healy S., Hogan R.J., Holm E.A., Janiskova M., Keely S., Laloo P., Lopez P., Radnoti G., Rosney P.D., Rozum I., Wamborg F., Villaume S., Thépault J.-N., 2020: The ERA5 global reanalysis. QJR Meteorol Soc. [Electronic resource]. Access mode: <https://doi.org/10.1002/qj.3803>
- [33] Hoffmann L., Günther G., Li D., Stein O. et al. From ERA-Interim to ERA5: the considerable impact of ECMWF's next-generation reanalysis on Lagrangian transport simulations // Atm. Chem. Phys. 2019. Vol. 19. P. 3097-3124.
- [34] Second assessment report of Roshydromet on climate change and its consequences on the territory of the Russian Federation. Moscow: Roshydromet Publishing House, 2014. 1009 p. (in Russ.).
- [35] Climate Change: The Physical Science Basis. (2013) [Electronic resource]. Access mode: <https://www.ipcc.ch/report/ar5/wg1/lncs>, last accessed 2016/11/21.
- [36] Data Bank on changes in meteorological conditions in different regions of the world [Electronic resource]. Access mode: tutiempo.net/climate/. (in Russ.).
- [37] Database Results of ERA5 reanalysis hourly data on pressure levels from 1979 to present. [Electronic resource]. Access mode: <https://cds.climate.copernicus.eu/cdsapp#!/dataset/reanalysis-era5-pressure-levels?tab=form> DOI: 10.24381/cds.bd0915c6 (in Russ.).
- [38] Map of the Caspian Sea Basin [Electronic resource]. Access mode: https://in.pinterest.com/pin/496944140130137104/?amp_client_id=CLIENT_ID%28_%29&mweb_unauth_id=&from_amp_pin_page=true (in Russ.).
- [39] Official site Unified State System of Information on the Situation in the World Ocean. <http://portal.esimo.ru/portal/portal/esimo-user/opermodule;jsessionid=60B449834441F8F87F2C3327E8DCBECC> (in Russ.).
- [40] Anisimov O. A., Zhiltsova E. L. On estimates of climate changes in Russian regions in the 20th and early 21st centuries based on observational data // Meteorology and Hydrology. 2012. No. 6. P. 95-107 (in Russ.).
- [41] Grigoriev A. A. Zakonerosti stroeniya i razvitiya geograficheskoy obrazovaniya geograficheskoy obrazovaniya: Izbraniye teoreticheskie zarubezhdeniya [Laws of structure and development of geographical environment: Selected theoretical works]. M., 1966. 382 p. (in Russ.).
- [42] Dangerous Natural Phenomena in the South of Russia / Ed. by prof. L. N. Karlin. SPb.: IzD-VO VVM, 2006. 216 p. (in Russ.).
- [43] Elguindi N., Giorgi F. Simulating multi-decadal variability of Caspian Sea level changes using regional climate model outputs // Climate Dynamics. 2006. Vol. 26. P. 167-181.
- [44] Kislov A. V., Panin A., Toropov P. A. Current status and palaeostages of the Caspian Sea as a potential evaluation tool for climate model simulations // Quaternary International. 2014. Vol. 345. P. 48-55. doi: 10.1016/j.quaint.2014.05.014.

А. В. Холопцев¹, Ж. К. Наурызбаева^{*2}

¹ Г. ф. д. (Н. Н. Зубов атындағы Мемлекеттік океанография институты, Севастополь, Ресей Федерациясы; kholoptsev@mail.ru)

^{*2} PhD, аймақтық климаттың өзгеруі зертханасының меңгерушісі
(АҚ «География және су қауіпсіздігі институты», Алматы, Қазақстан; naurozbaeva.zhanar@mail.ru)

КАСПИЙДІҢ ОРТАША АЙЛЫҚ ДЕҢГЕЙЛЕРІНІҢ ЖЫЛ АРАЛЫҚ ВАРИАЦИЯЛАРЫНЫҢ, СОНДАЙ-АҚ ОНЫҢ БАССЕЙНІНДЕГІ АТМОСФЕРАЛЫҚ ЖАУЫН-ШАШЫННЫҢ ҚОСЫНДЫЛАРЫНЫҢ ЖӘНЕ ОЛАРДЫҢ ҚАЗІРГІ КЛИМАТТЫҢ ЖЫЛЫНУЫНДАҒЫ ӨЗГЕРУІНІҢ БАЙЛАНЫСЫ

Аннотация. Қазіргі кезеңде Каспий теңізінің су бетінің деңгейі тез төмендейді, бұл Каспий өңірінің барлық елдерінің халқы мен экономикасы үшін елеулі проблемалар туғызады. Сондықтан оның одан әрі өзгеруін болжау әдістерін жетілдіру гидрология, метеорология және экологияның өзекті мәселесі болып табылады. Каспий деңгейінің қазіргі төмендеуінің негізгі себептері оның су балансының құрамдас бөліктерінің антропогендік факторлар мен климаттық өзгерістерге әсері болып табылады. Бұл тепе-теңдіктің кіріс бөлігінің маңызды құрамдас бөлігі Каспий бассейніне түсетін жауын-шашын мөлшері болып табылады. Каспий деңгейін болжау үшін қолданылатын әдістердің бірі-бірнеше регрессиялық талдау. Оның көмегімен алынған болжамдардың негізділігі болашақта зерттелетін процесс пен олардың дамуы кезінде ескерілетін факторлар арасындағы байланыстардың маңыздылығына байланысты, олардың мониторингі қазіргі және өткен кезеңдерде жүзеге асырылды. Каспийдің орташа айлық фондық деңгейлерінің жыларалық вариацияларының статистикалық байланыстарының маңыздылығы оның бассейніндегі жауын-шашын сомаларының

уақыт бойынша озық динамикасымен, сондай-ақ оның қазіргі климаттың жылыну кезеңіндегі өзгерістерімен бағаланды. Жауын-шашынның нақты деректер ретінде ERA 5 реанализі туралы ақпарат пайдаланылды. Деңгейлер туралы мәліметтер әдеби дереккөздерден алынған. 1979-2021 жылдары қарастырылып отырған байланыстардың маңыздылығы туралы қорытынды жауын-шашын мөлшерінің өзгеруі мамыр айына сәйкес келген жағдайда ғана 0,95-тен кем емес сенімділікпен сипатталғаны анықталды. Зерттелетін процесс пен осы фактор арасындағы уақыт ауысуы 0-ден 36 айға дейін ұлғайған сайын олардың корреляциясы оң және маңызды болып қалады, бірақ біршама төмендеді. Қазіргі климаттың жылыну кезеңінде анықталған байланыс төмендеді, бұл оның жақын болашақта да маңыздылығына күмәндануға мүмкіндік береді. Сондай-ақ, Каспий бассейнінің учаскелері анықталды, олар үшін сол кезеңде қаралатын байланыстар, керісінше, жоғарлады. Бұдан шығатыны, болашақта олар маңызды болып қалатын сценарийді орындау ықтималдығы басқа сценарийлердің ықтималдығынан жоғары. Сондықтан анықталған байланыстарды Каспийдің орта деңгейінің өзгеруін болжау кезінде ескерген жөн.

Түйінді сөздер: Каспий теңізі, су бетінің деңгейі, жауын-шашын мөлшері, климаттың өзгеруі, болжау, маңыздылығы, тренд.

A. V. Kholoptsev¹, Zh. K. Naurozbayeva^{*2}

¹ Doctor of Geographical Sciences (N. N. Zubov State Oceanographic Institute, Sevastopol, Russian Federation; kholoptsev@mail.ru)

^{2*} PhD, Head of the Regional Climate Changes Laboratory («Institute of Geography and Water Security» JSC, Almaty, Kazakhstan; naurozbaeva.zhanar@mail.ru)

CORRELATIONS OF INTERANNUAL VARIATIONS IN AVERAGE MONTHLY LEVELS OF THE CASPIAN SEA, AS WELL AS THE TOTAL PRECIPITATION IN ITS BASIN, AND THEIR CHANGES UNDER MODERN CLIMATE WARMING

Abstract. In the modern period, the level of the Caspian Sea water surface is rapidly decreasing, which creates significant problems for the population and economy of all countries of the Caspian region. Therefore, improvement of the methods for forecasting its further changes is an urgent problem of hydrology, meteorology and ecology. It is generally accepted that the main reasons for the current decline in the Caspian Sea level are the influence of anthropogenic factors and climatic changes on the dynamics of its water balance components. A significant component of the incoming part of this balance is the amount of precipitation falling in the territory of the Caspian basin. One of the methods used for forecasting the Caspian Sea level is multiple regression analysis. The validity of the forecasts obtained with its help depends on the significance of the relationships between the studied process in the future and the factors monitored in the present and in the past that are taken into account in their development. The article assesses the significance of statistical correlations between interannual variations in the average monthly background levels of the Caspian Sea and the dynamics of precipitation amounts in its basin, as well as its changes during the period of modern climate warming. The ERA 5 reanalysis information was used as factual material on precipitation. Information on the levels was obtained from literary sources. It was found that in the period of 1979-2021 the conclusion on the significance of the relationships under consideration was characterized by the reliability of at least 0.95 only if the changes in precipitation amounts corresponded to May. As the time shift between the analyzed process and this factor increases from 0 to 36 months, their correlation remains positive and significant, but slightly weakens. During the period of modern climate warming, the revealed correlation also became weaker, which allows us to doubt its significance even in the near future. There were also identified the Caspian basin areas for which, on the contrary, the considered relationship strengthened during the same period. It implies that the probability of the scenario in which they remain significant in the future is higher than that of other scenarios. Therefore, it is reasonable to take the identified relationships into account when forecasting changes in the average level of the Caspian Sea.

Keywords: Caspian Sea, water surface level, precipitation amount, climate change, forecasting, significance, trend.

<https://doi.org/10.55764/2957-9856/2024-3-37-44.24>

IRSTI 38.61.31

UDC 556.38

A. M. Jabassov¹, A. M. Yermenbay², A. Zh. Zhakibayeva^{*3}, Yu. N. Livinsky⁴

¹ Candidate of Geological and Mineralogical Sciences, Head of the Laboratory of Groundwater Resources (Institute of Hydrogeology and Geoecology named after U. M. Akhmedsafin, Almaty, Kazakhstan; jabassov.abai@mail.ru)

² Scientific Researcher of the Laboratory of Groundwater Resources (Institute of Hydrogeology and Geoecology named after U. M. Akhmedsafin, Almaty, Kazakhstan; ms.ermenbay@mail.ru)

^{3*} Master of Science in hydrogeology and engineering geology, Junior Scientific Researcher of the Laboratory of Groundwater Resources (Institute of hydrogeology and geoecology named after U. M. Akhmedsafin, Almaty, Kazakhstan; zhakibaeva8@gmail.com)

⁴ Candidate of Geological and Mineralogical Sciences, Leading Researcher of the Laboratory of Groundwater Resources (Institute of hydrogeology and geoecology named after U. M. Akhmedsafin, Almaty, Kazakhstan; livinskii_yur@mail.ru)

USE OF ARTIFICIAL GROUNDWATER RECHARGE TECHNOLOGIES FOR CENTRAL KAZAKHSTAN PASTURES WATERING

Abstract. The most acute problem of pasture watering is bound to one of the arid regions of the Republic that is Central Kazakhstan. Under the current conditions, groundwater plays a significant role in providing high-quality drinking water resources. Conservation of surface flow in underground aquifers in arid and semi-arid areas of Central Kazakhstan is of great importance. For the first time in the practice of watering pastures in the foothills and hilly areas of Kazakhstan, the process of creating underground reservoirs based on low-power flows of underground fissure-groundwater is studied. The result of this study is a substantiated and developed concept scheme for creating watering structures on pastures based on artificial groundwater recharge (creation of mainly small underground reservoirs) in the hilly areas of Central Kazakhstan (Sary-Arka pasture).

Keywords: water resources, Sustainable Development Goals 2, groundwater, artificial groundwater recharge, pastures watering.

Introduction. One of the conditions for sustainable development of the nation state is a water supply to economic sectors, the largest water consumer of which is agriculture, an industry designed to provide the population with food. This problem has priority attention in the 17 sustainable development goals (SDGs) developed in 2015 with the main goal being SDG-2: Zero Hunger, which aims to end hunger, ensure food security, improve nutrition, and promote sustainable agricultural development. Current estimates suggest that nearly 690 million people, or 8.9 % of the world's population, are hungry. Food security is also one of the main directions of national security of the Republic of Kazakhstan. At the same time, the development of traditional cattle breeding requires solving the issues of watering livestock.

Research developments on the effective use of groundwater for the sustainable development of farm livestock are very relevant and prompt. Pasture watering plays a major role in the use of groundwater resources in Kazakhstan [1, 2, 4].

Within the bounds of Central Kazakhstan, predominantly structure of free-flow fractured waters of shallow circulation is distinctive for the region. It is confined to the zone of open fractures of effusive, intrusive, terrigenous-sedimentary and metamorphic pre-Paleozoic and Paleozoic formations. Good exposure of the rocks promotes active water exchange and the development of fresh, slightly brackish and brackish waters [7, 5].

Slightly inclined accumulative plains, situated in wide ancient and modern river valleys, play a crucial role in the surface structure for artificial groundwater replenishment [3]. Karaganda region, in general, has an underdeveloped river network. In this region, alluvial-proluvial deposits of buried valleys, which underlie both permanent and temporary surface watercourses, serve as natural collectors for storing surface water emissions [13].

Materials and research methods. Among the main natural factors that determine the possibility of using the method of artificial groundwater replenishment in the region, as well as influencing the effectiveness and the choice of rational technological schemes, the physical and geographical conditions

of the region have prime importance and include geomorphological, geological, hydrogeological, climatic (mainly precipitation) and hydrological (development of the hydrographic network) factors [8]. These factors determine natural collectors and the possibility of artificial collectors creation which are suitable for surface water storage, allow to assess and collect unused water runoff, are cost-effective for replenishment [12].

For practical application, the following schemes and methods of artificial groundwater recharge are used:

a) Direct non-pressure circuits:

- Flooding of the area;
- Use of infiltration basins or reservoirs;
- Increasing the planned size of surface water flow;
- Use of infiltration channels or trenches;

b) Direct pressure circuits:

- Use of discharge wells;
- Use of absorption pits and mines;
- Use of absorption wells;
- Pouring water into boreholes;
- Filling natural (karst) cavities and caverns with water;

c) Combined methods:

- Infiltration pools in combination with pits or wells;

d) Indirect methods

- Recharge from a surface water source caused by a decline in groundwater levels;
- Artificial modification of the aquifer (hydraulic fracturing, crushing of water-bearing rocks using explosions, etc.).

The method of artificial recharge consists of increasing the incoming component of the general balance of the exploited aquifer during the year or certain seasons by filtering surface stream water from special structures (pools, canals, trenches, etc.), or through occasional flooding of natural depressions [6].

Results and its discussion. Central Kazakhstan has many pasture areas confined to various natural-geographical zones. Predominantly, these are dry steppes, where the amount of precipitation does not exceed 100-300 mm/year. Under these conditions, water is the main factor limiting the use of pastures due to its low water supply. Pasture lands, occupying a significant area (more than 160 million hectares), are located in arid climatic conditions and are generally deprived of surface water sources [4]. Nevertheless, they have a large feed capacity potential, sufficient to support, for example, more than 80 million sheeps. The pastures harbor large areas of fertile land, which, if irrigated, could produce high and stable yields of high-calorie feed. However, modern effective pasture areas development systems in the region are hampered by the lack of surface watercourses. A significant part of the Central Kazakhstan pasture lands is located far from the rivers; in addition, surface waterflow of the region is defined mainly as small rivers and temporary watercourses with a pronounced spring flood, which occurs within 0.5-1.5 months and makes up to 90% of the annual flow. Therefore, areas watered by rivers (about 2150 thousand hectares) are areas with low reliability to water sources, which are periodically inactive. Jointly with unwatered areas, this amounts to more than 50% of all pastures in the territory.

Additionally, vast areas of pastures cannot be flooded with groundwater due to either: the low productivity of the aquifer, the absence of fracture zones, or the reduction of groundwater reserves during seasonal droughts (July-September) [2]. The water of wells existing on pastures is often highly mineralized, whereas filling trenches quickly dry out in the climatic conditions of Central Kazakhstan (high temperatures and strong winds) [1]. The scientific developments of Kazakh scientists carried out in recent years make it possible to solve this complex problem by artificially recharging groundwater reserves of the upper aquifers and extraction it to the surface [8]. The use of specific technologies makes it possible to create watering points in artificial ground reservoirs on the thinnest groundwater aquifers and stage-by-stage restoration of productive pasture lands.

Despite the fact that certain problems of storing groundwater for water management facilities are reflected in a number of fundamental works by scientists from the CIS and Kazakhstan [14, 16, 17], listed research has not covered the issues of artificial regulation of groundwater flow of small temporary watercourses by underground dams with the creation of groundwater reservoirs and, thus, increasing

groundwater reserves specifically in pastures. The unique scientific developments available in Kazakhstan for the creation of watering points at ground reservoirs can significantly increase the possibilities of grazing livestock in Central Kazakhstan and contribute to the solution of this major national economic problem [4]. The issue of creating watering points in Central Kazakhstan allows to practically approach the solution to the complex problem of watering the Sary-Arka pastures. Watering points can be created by dint of the water accumulated in artificially created underground reservoirs, within underground drainage basins, in narrowed areas in places of “exit” and “crimps” of the underground flow cross-section [15].

These watering points are provided with water all year round, are environmentally friendly, have the necessary pressure and volume for watering large (up to 500 heads of livestock or more) flocks of sheep, cattle and camels, do not damage pasture lands as all structures are hidden underground, and are simple in service. One such watering point is capable of watering about 3 thousand hectares of pastures.

The artificial recharge of groundwater reserves considered in this work, and the construction of irrigation structures on this basis ensure a sufficient amount of water of drinking quality in pastures, simplicity and accessibility of maintenance, low cost and quick payback of construction costs [10, 11]. The research carried out will make it possible to stop the threat of further spread of land degradation and desertification of pastures. For the first time in the practice of watering pastures, the process of creating underground reservoirs and regulating low-power flows of underground fissure-groundwater on this basis is being studied. The prospects of research are determined by the ability to create highly efficient watering structures in a short time, with low construction costs, that will solve the problem of creating productive pasture lands in Kazakhstan.

As a water collector for underground reservoirs, a large area with a leveled surface, surrounded by small hills (a cirque in an inter-hill saddle with the dimensions of 2×3 km) is selected. The selected territory turns out to be in a saddle-like terrain where solid precipitation accumulates and where melt water flows. Well-divided relief and intense fracturing of rocks create favorable conditions for the infiltration of precipitation. The zone of exogenous fracturing, which has a relatively small thickness, forms in the selected area a kind of relatively small underground runoff basin, the boundaries of which are determined by the terrain. In this case, the boundaries of underground and temporary surface flow usually coincide. There are practically no permanent surface watercourses here. Groundwater drainage basins in Central Kazakhstan are usually interconnected, so underground overflow occurs from one basin to another, located lower hypsometrically. It was this circumstance that was used in the theoretical substantiation of the idea of building artificial underground reservoirs for watering pastures - in the closing section of the basin, in narrowed areas in the places of “exit” and “pinching” of the underground flow section [9]. The amount of underground flow that is planned to be used for a watering point is determined by the drainage area of the basin.

A typical technological scheme of a watering point based on artificial replenishment of groundwater reserves using ground reservoirs is shown in figure 1. A water retaining dam with an inspection well is built at the closing section of the underground drainage basin. At a depth of 2.5-3.0 m, a drainage trench located in the dam site and filled with water-bearing soil (stone clastic material, coarse crushed stone) reveals the aquiferous zone of bedrock. In addition, the complex includes: a tubular water conduit, a storage tank and a water trough.

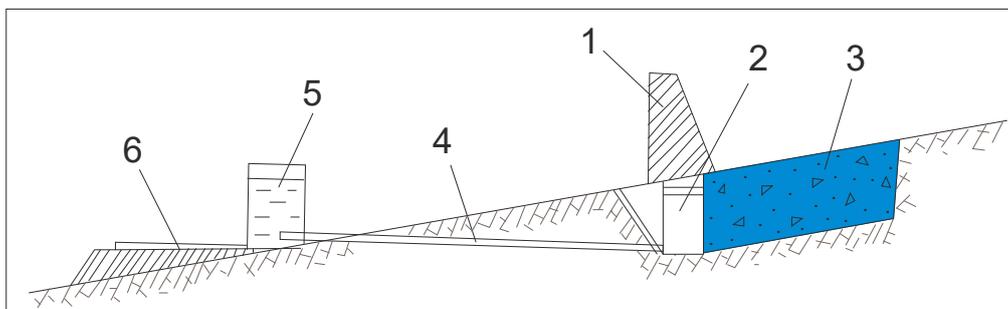


Figure 1 – Typical technological scheme of a watering point based on artificial replenishment using groundwater reservoirs:
1 – earth dam; 2 – inspection well; 3 – drainage trench; 4 – tubular water conduit; 5 – storage tank; 6 – watering trough

Figure 2 shows a system of artificial replenishment of groundwater with the placement of the entire complex of structures on one site with a) linear single-row and b) double-row arrangement of infiltration structures (pools). It is advisable to use such schemes to: increase the productivity of existing water intake; increasing groundwater reserves in the area of the newly designed water intake; reducing the length of capture structures in conditions where permeable rocks are characterized by sand or gravel-pebble deposits of sufficient thickness with a total thickness of cover low-permeable layers of no more than four meters. This scheme is acceptable for water supply to rural settlements located in pastoral areas of the region.

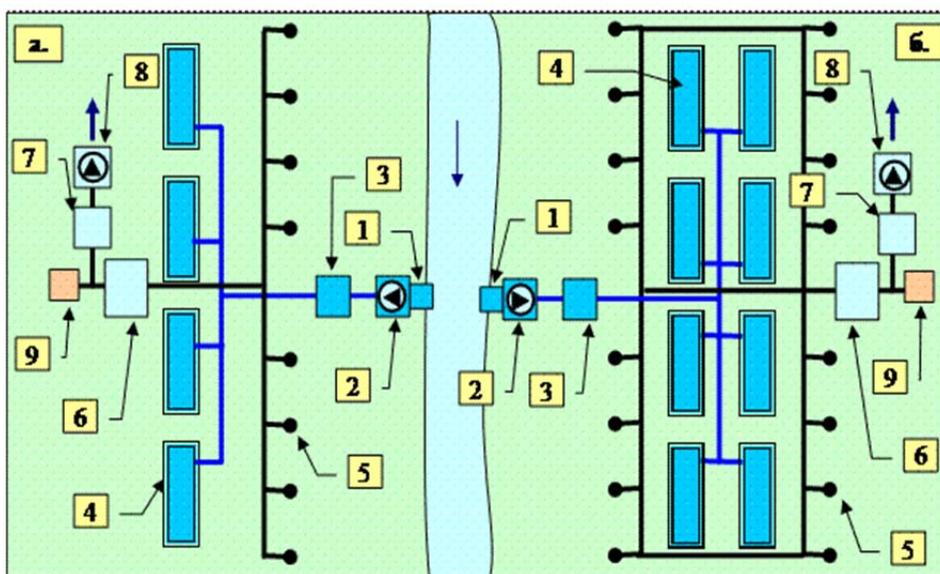


Figure 2 – Open scheme of artificial groundwater replenishment (type I) using infiltration basins:
 1 – water intake from a surface source; 2 – first lift pumping station; 3 – water preliminary treatment facilities (if necessary);
 4 – infiltration basins; 5 – wells; 6 – facilities for groundwater purification; 7 – clean water tank;
 8 – pumping station of the second lift; 9 – installation for water disinfection

When designing systems for artificial replenishment of groundwater, the following steps should be carried out: selection of the technological scheme of the system; choosing the type, design, operating mode and method of regeneration of infiltration structures, determining their performance; calculation of the flow rate of capture structures and changes in water levels in the zone of their influence, taking into account the flow of water from infiltration structures; determination of the required degree of water preparation from the replenishment source, the design and composition of treatment facilities, taking into account predicted quality of water in groundwater intakes.

The design of devices for collecting water from a replenishment source and its transportation, pre- and post-treatment facilities for water, clean water reservoirs, pumping stations and water pipelines is carried out in the same way as the design of corresponding structures in conventional (without replenishment) domestic and drinking water supply systems using surface water and groundwater.

The examination and analysis of proposed schemes of artificial replenishment of groundwater have facilitated their systematization and justified the organization and creation of underground reservoirs for collecting and storing flood runoff and meltwater, the result of which is shown in the table.

Zoning of Central Kazakhstan was carried out according to the terms of the artificial replenishment of groundwater. The map (Figure 3) highlights the schemes for artificial groundwater recharge and identifies areas where large underground reservoirs could potentially be created:

1. Valleys of densely populated and industrially developed main rivers of the region – Nura, Sherubai-Nura, Taldy, Zharly, Tunduk, Kengir, Sarysu, etc. For these areas, an open replenishment system (type I) with infiltration basins is proposed. A typical technological replenishment scheme involves using gravity to convey surface water, including settling basins, infiltration basins, and horizontal water intakes.

Types of technological schemes of artificial replenishment of groundwater

Recommended standard technological schemes of artificial replenishment	Scheme No.	Description of a standard technological scheme	Operating principle of a standard technological scheme
Open technological schemes			
Type I	1	An open system of artificial groundwater replenishment structures with infiltration basins	Water from the replenishment source is directed to a water intake structure, where it is pumped through a distribution pipeline into infiltration structures, such as pools. From these structures, the water percolates into the aquifer, replenishing the groundwater reserves. Groundwater can be extracted using various structures designed for this purpose, such as wells or horizontal catchments, with wells being the most commonly used. The extracted water is then collected in a storage tank. If the groundwater meets GOST standards for drinking water, the storage tank serves as a clean water reservoir. However, if the groundwater contains substances in concentrations exceeding permissible limits for drinking water, treatment facilities are incorporated into the system to remove these contaminants. The treated water, compliant with SanPIN standards, is then supplied to consumers. In all cases, the water undergoes disinfection using chlorine at the treatment facility.
Type I	2	An open system of artificial groundwater replenishment structures with infiltration basins with a preliminary reduction in water turbidity (used when using flood waters)	
Type I	3	A system for artificial groundwater replenishment in sandy areas	
Type I	4	A system of karst carbonate structure with places of point and area infiltration of recharged fissure-karst waters and groundwater	
Type I	5	Cascade of water retention dams	
Type I	6	A system using reservoirs on rivers within alluvial fans in areas of intensive water intake	
Closed technological schemes			
Type II	7	Groundwater replenishment system through absorption wells	An important feature of closed-type systems is the preliminary improvement of water quality, the turbidity of which should not exceed 1-3 mg/l. These systems consist of rows of wells, which can be both infiltration and water intake wells. This arrangement helps combat clogging (calmatization) and restore the injectivity of the wells. Additionally, preliminary water treatment is included to meet the required standards.

2. Areas of development of carbonate structures. In these regions, an open replenishment system No. 4 (type I) is recommended. This is particularly relevant for areas where carbonate structures are prevalent.

Areas of possible creation of underground reservoirs associated with the largest buried valleys. Many modern rivers on the platform plains of Central Kazakhstan have ancient buried valleys formed during the Lower Quaternary and Pliocene periods. These regions are suitable for the accumulation of underground runoff and spring floodwaters to replenish groundwater reserves. An open replenishment system No. 6 (type I) is suggested for these areas.

3. In certain areas, a closed replenishment scheme No. 7 (type II) is recommended, utilizing absorption wells to enhance groundwater reserves.

Conclusion. Reservoirs constructed in the bowels of the earth under appropriate hydrogeological conditions do not disturb the environment and are economically beneficial.

Detailed knowledge of the geological and hydrological features of the area is necessary in order to select a site and structure for artificial groundwater recharge. In this case, it is necessary to take into account and consider the following factors: geological boundaries; hydraulic boundaries; groundwater inflow and outflow; volume of aeration zone; porosity; hydraulic conductivity; surface water resources available for groundwater recharge; water balance of the territory; lithology and depth of the aquifer.

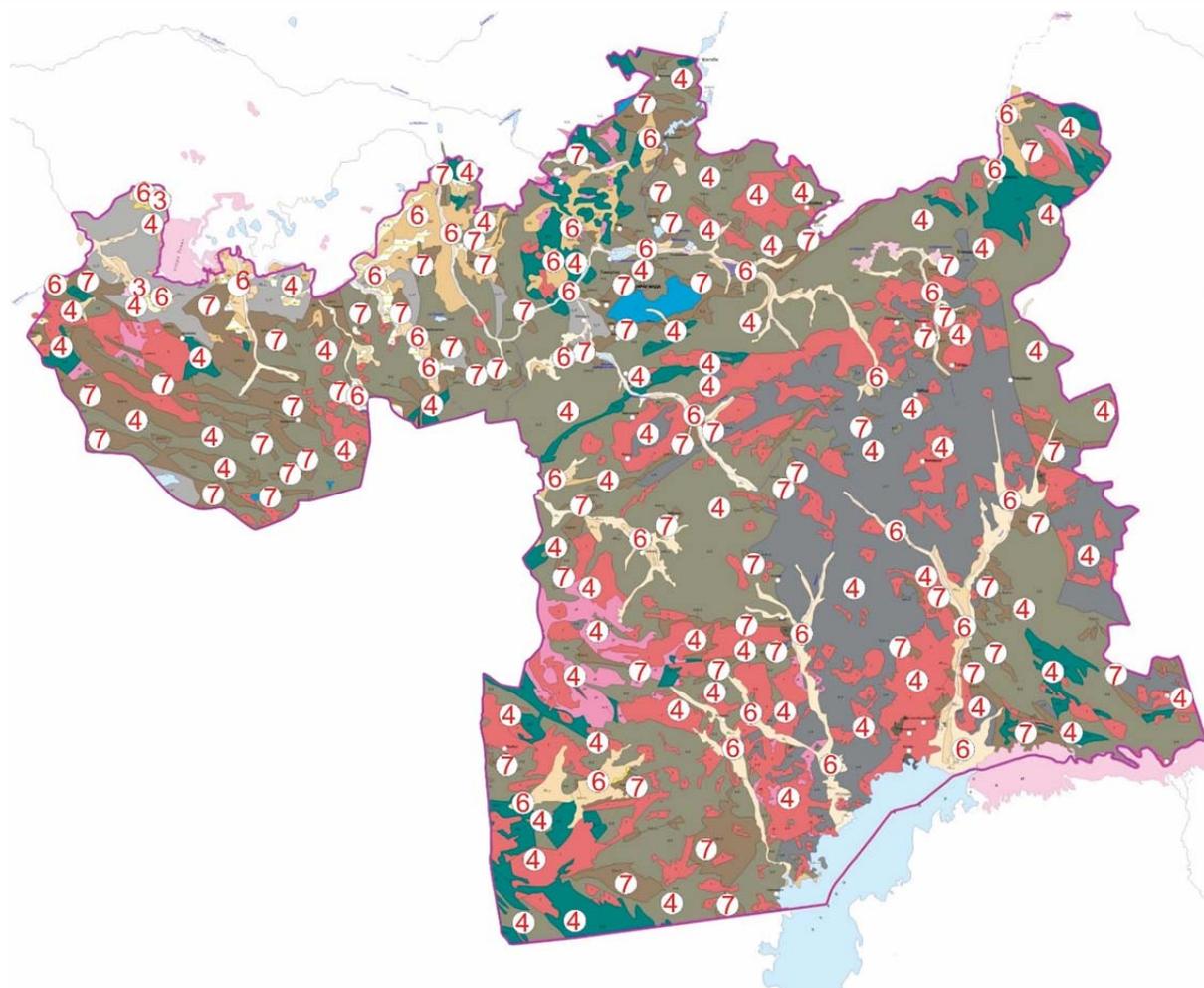


Figure 3 – Location of typical schemes of artificial replenishment of groundwater in the Karaganda region.

Note: the color and geological index correspond to the age of the water-bearing rocks. Digits indicate the number of the recommended standard technological scheme of artificial replenishment from table.

Aquifers with high vertical and moderate horizontal water conductivity and a significant thickness of the aeration zone are best applied to organize artificial groundwater recharge. In any case, when carrying out artificial groundwater recharge, the thickness of the aeration zone should not be less than 3 m to prevent flooding of the area.

For the first time in the practice of watering pastures in the foothills and hilly areas of Kazakhstan, the process of creating underground reservoirs based on low-power flows of underground fissure-groundwater is being studied.

The results of the conducted research within the framework of this work showed that in Central Kazakhstan there are favorable conditions for the widespread use of methods for artificial replenishment of groundwater reserves, depending on hydrogeological conditions and the availability of surface water sources.

REFERENCES

- [1] Akhmedsafin U.M., Dzhabasov M.Kh., Zhaparkhanov S.Zh. Groundwater in pasture areas of Kazakhstan. Alma-Ata: Science, 1968. P. 178-213 (in Russ.).
- [2] Akhmedsafin U.M., Dzhabasov M.Kh. Groundwater in Kazakhstan is a reserve for irrigated agriculture. Alma-Ata: Science of the Kazakh SSR, 1988. 127 p. (in Russ.).
- [3] Govindaraj V., Thirumalasamy S., Sankar J.I., Gopi S. Groundwater potential mapping and natural remediation through artificial recharge structures in Vellore District, Tamil Nadu, India using geospatial techniques. *Desalination and Water Treatment*, 2022, 254, p. 229-237. <https://doi.org/10.5004/dwt.2022.28351>
- [4] Groundwater in pasture areas of Kazakhstan. Alma-Ata: Nauka, 1968. 318 p. (in Russ.).
- [5] Hydrogeology of the USSR. Central Kazakhstan. Karaganda region. Vol. XXXIV. M.: Nedra, 1970. 564 p. (in Russ.).

[6] Jagannathan K., Kumar, N.V., Jayaraman V., Manivel M. An approach to demarcate Ground water potential zones through Remote Sensing and Geographic Information System // International Journal of Remote Sensing, 1996, 17, p. 1867-1884. <https://doi.org/10.1080/01431169608948744>

[7] Janusz-Pawletta B., Jabassov A., Atanov S., Gorshkova E., Oravcová M. Groundwater management at Pretashkent Aquifer and Ecological disaster zone of the Aral Sea region (Kazakhstan). Catalogue of Hydrologic Analysis for Asia and the Pacific. Vol. 3. Groundwater. P. 64-90.

[8] Jin Z., Tang S., Yuan L., Xu Zh., Chen D., Liu Zh., Meng X., Shen Zh., Chen L. Areal artificial recharge has changed the interactions between surface water and groundwater // Journal of Hydrology. 2024. 637. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2024.131318>

[9] Lagutin E.I. Underground reservoirs in pastures of Central Kazakhstan. Taraz, 2009. Pp. 25-37; 135-138 (in Russ.).

[10] Makhmutov T.T., Burakov M.M., Zhumataev B.K. Scientific foundations and principles of artificial replenishment of groundwater // Proceedings of the international scientific-practical conf. "Water: resources, quality, monitoring, use and protection of water." Almaty, 2008. P. 51-53 (in Russ.).

[11] Makhmutov T.T., Sagimbayev S.S., Burakov M.M. Artificial replenishment of groundwater reserves in carbonate structures of Central Kazakhstan // Using the achievements of scientific and technological progress in the field of nature conservation in Kazakhstan. Alma-Ata, 1990. P. 44-50 (in Russ.).

[12] Mishra U., Mohapatra A.K., Mandal A., Singh A. Identification of potential artificial groundwater recharge sites in an alluvial setting: A coupled electrical resistivity tomography and sediment characterization study // Groundwater for Sustainable Development, 2023, 20, <https://doi.org/10.1016/j.gsd.2022.100875>

[13] Shafa N.S., Babazadeh H., Aghayari F., Saremi A. Optimal utilization of groundwater resources and artificial recharge system of Shahriar plain aquifer, Iran. Physics and Chemistry of the Earth, Parts A/B/C, 2023, 129. <https://doi.org/10.1016/j.pce.2023.103358>

[14] Sychev K.I., Chernov A.S., Plotnikov N.A. and others. Methodological recommendations for the use of IVZPV systems in various natural conditions of the territory of the USSR. M.: Vsegingeo, 1985. 90 p. (in Russ.).

[15] Yermenbay A., Shagarova L., Absametov M., Osipov S. Prospects of water supply with fresh groundwater under anthropogenic impact conditions // GEOLINKS International Conference, 2020. P. 281-289 <https://doi.org/10.32008/GEOLINKS2020/B1/V2/29>

[16] Zhaparkhanov S.Zh., Zhumataev B.K. On the issue of zoning the territory of Central Kazakhstan according to the conditions for creating artificial groundwater reserves // Mater. international scientific-practical conf. "Geological science and industrial development of the Republic of Kazakhstan." Almaty, 2010. P. 333-336 (in Russ.).

[17] Zhaparkhanov S.Zh., Zhumataev B.K. Artificial replenishment of groundwater reserves in arid regions of Central Kazakhstan. Almaty, 2012. P. 53-68; 94-128; 129-137 (in Russ.).

А. М. Джабасов¹, А. М. Ерменбай², А. Ж. Жакибаева^{*3}, Ю. Н. Ливинский⁴

¹ Геология-минералогия ғылымдарының кандидаты, жер асты сулары зертханасының меңгерушісі («У. М. Ахмедсафин атындағы гидрогеология және геоэкология институты» ЖШС, Алматы, Қазақстан; jabassov.abai@mail.ru)

² Жер асты сулары зертханасының ғылыми қызметкері («У. М. Ахмедсафин атындағы гидрогеология және геоэкология институты» ЖШС, Алматы, Қазақстан; ms.ermenbay@mail.ru)

^{3*} Жаратылыстану ғылымдарының магистрі, жер асты сулары зертханасының кіші ғылыми қызметкері («У. М. Ахмедсафин атындағы гидрогеология және геоэкология институты» ЖШС, Алматы, Қазақстан; zhakibaeva8@gmail.com)

⁴ Геология-минералогия ғылымдарының кандидаты, жер асты сулары зертханасының жетекші ғылыми қызметкері («У. М. Ахмедсафин атындағы гидрогеология және геоэкология институты» ЖШС, Алматы, Қазақстан; livinskii_yur@mail.ru)

ОРТАЛЫҚ ҚАЗАҚСТАНДАҒЫ ЖАЙЫЛЫМДАРДЫ СУАРУ ҮШІН ЖЕР АСТЫ СУЛАРЫН ЖАСАНДЫ ТОЛТЫРУ ТЕХНОЛОГИЯЛАРЫН ҚОЛДАНУ

Аннотация. Жайылымды суарудың ең өткір мәселесі республиканың құрғақ аймақтарының бірі – Орталық Қазақстанда болып отыр. Мұндай жағдайларда жер асты сулары сапалы ауыз су ресурстарымен қамтамасыз етуде маңызды рөл атқарады. Орталық Қазақстанның құрғақ және жартылай құрғақ аймақтарындағы жер асты сулы горизонттарында жер үсті ағынын сақтаудың маңызы зор. Қазақстанның тау бөктеріндегі және таулы аймақтарындағы жайылымдарды суару тәжірибесінде алғаш рет жер асты жарықтары-жер асты суларының қуаттылығы аз ағындары негізінде жерасты су қоймаларын құру процесі зерттелуде. Орталық Қазақстанның таулы аймақтарында (Сарыарқа жайлауында) жер асты суларын жасанды түрде толықтыру (негізінен шағын жерасты су қоймаларын құру) негізінде жайылымдарда суару құрылыстарын құрудың негізгі схемасы негізделді және әзірленді.

Түйін сөздер: су ресурстары, Тұрақты Даму Мақсаттары-2, жер асты сулары, жасанды толықтыру, жайылымдарды суару.

А. М. Джабасов¹, А. М. Ерменбай², А. Ж. Жакибаева^{*3}, Ю. Н. Ливинский⁴

¹ К. г. н., заведующий лабораторией ресурсов подземных вод (ТОО «Институт гидрогеологии и геоэкологии им. У. М. Ахмедсафина», Алматы, Казахстан; *jabassov.abai@mail.ru*)

² Научный сотрудник лаборатории ресурсов подземных вод (ТОО «Институт гидрогеологии и геоэкологии им. У. М. Ахмедсафина», Алматы, Казахстан; *ms.ermenbay@mail.ru*)

^{3*} Магистр естественных наук, младший научный сотрудник лаборатории ресурсов подземных вод (ТОО «Институт гидрогеологии и геоэкологии им. У. М. Ахмедсафина», Алматы, Казахстан; *zhakibaeva8@gmail.com*)

⁴ К. г. н., ведущий научный сотрудник лаборатории ресурсов подземных вод (ТОО «Институт гидрогеологии и геоэкологии им. У. М. Ахмедсафина», Алматы, Казахстан; *livinskii_yur@mail.ru*)

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИЙ ИСКУССТВЕННОГО ВОСПОЛНЕНИЯ ПОДЗЕМНЫХ ВОД ДЛЯ ОБВОДНЕНИЯ ПАСТБИЩ ЦЕНТРАЛЬНОГО КАЗАХСТАНА

Аннотация. Наиболее остро проблема обводнения пастбищ стоит в одном из аридных регионов республики – Центральном Казахстане. В этих условиях значительную роль в обеспечении доброкачественными ресурсами питьевых вод играют подземные воды. Сохранение поверхностного стока в подземных водоносных горизонтах в засушливых и полузасушливых районах Центрального Казахстана имеет большое значение. Впервые в практике обводнения пастбищ в предгорных и мелкосопочных районах Казахстана исследуется процесс создания подземных водохранилищ на основе маломощных потоков подземных трещинно-грунтовых вод. Обоснована и разработана принципиальная схема создания обводнительных сооружений на пастбищах на базе искусственного восполнения подземных вод (создание преимущественно небольших подземных водохранилищ) на территории мелкосопочных районов Центрального Казахстана (пастбища «Сары-Арка»).

Ключевые слова: водные ресурсы, Цели Устойчивого Развития-2, подземные воды, искусственное восполнение, обводнение пастбищ.

Опасные экзогеодинамические процессы Қауіпті экзогеодинамикалық процестер Dangerous exogeodynamic processes

<https://doi.org/10.55764/2957-9856/2024-3-45-57.25>

МРНТИ 39.21/39.23.15
УДК 551.3/796.5

С. А. Тарихазер^{*1}, С. Г. Мамедов², З. А. Гамидова³

^{1*} Д.г.н., доцент, главный научный сотрудник

(Институт географии им. академика Г. А. Алиева, Баку, Азербайджан; kerimov17@gmail.com)

² К. г. н. (Производственное объединение «Азнефть», SOCAR; seyurmurmq@gmail.com)

³ К. г. н., доцент, старший научный сотрудник (Институт географии им. академика Г. А. Алиева, Баку, Азербайджан; zernura@gmail.com)

ПРИМЕНЕНИЕ КОЛИЧЕСТВЕННОГО МЕТОДА В ИССЛЕДОВАНИИ ОПОЛЗНЕВОЙ ВОСПРИИМЧИВОСТИ БАССЕЙНА РЕКИ АГСУЧАЙ

Аннотация. С помощью количественного метода анализируются опасные оползневые процессы, протекающие в селеопасном бассейне реки Агсучай, с учетом активного развития туристско-рекреационной деятельности в Шамахи-Исмаиллинском регионе. С целью выявления оползневой восприимчивости и вероятного проявления оползней определен «вес» 9 факторов, взаимосвязанных с оползнями, – гипсометрия, углы наклона (крутизна склонов), экспозиция склонов, геологическое строение (литология), расстояние от разломов, среднегодовая сумма осадков, расстояние до эрозионной сети, расстояние до дорог, а также землепользование. Сложив все без исключения факторы оползнеобразования и перемножив их на свой «вес», мы составили карту оползневой восприимчивости селеопасного бассейна реки Агсучай. Достоверность полученных моделей проанализирована благодаря оценке AUC ROC (площадь под кривой ошибок) в 72%, которая продемонстрировала достаточно высокую эффективность примененного метода.

Ключевые слова: оползневая восприимчивость, селеопасный бассейн, геосистема, селевой риск, ущерб, оползневая опасность.

Введение. В последние годы наблюдается ускоренное задействование в хозяйственный оборот горных и предгорных зон, подвергающихся влиянию селевых процессов. Исследование селей все еще весьма актуально в целях устранения чрезвычайных последствий, а также для обоснования и выработки способов по охране регионов и отраслей хозяйства от их воздействия, усовершенствования методов их предвидения [1].

Селевой процесс формируется многочисленными факторами, среди которых главными выступают литология коренных пород, определяющих твердую составляющую селевых процессов и характеризующихся трещиноватостью и выветренностью. Выявление закономерностей формирования и накопления твердой составляющей в корреляции с геологической и геоморфологической обстановкой позволит спроцировать формирование разнотипных селевых потоков и обосновать методы охраны областей, испытывающих их воздействие.

Проблема проявления селевых потоков актуальна для Азербайджана в силу мирового изменения климата, неблагоприятных экологических последствий от ошибочных решений людей и пр. В республике выявляются риски проявления селей, разрабатываются планы по борьбе с ними, внедряются современные методы по уменьшению и устранению их воздействия на сооружения. Страна входит в число 180 стран мира, ратифицировавших документ Азиатского центра снижения риска стихийных бедствий (АЦСРСБ) на 2015-2035 гг.

Одним из регионов Азербайджана, наиболее подверженных воздействию селей, является южный склон Большого Кавказа, конкретно Шамахи-Исмаиллинский район, где исключительно селеопасным бассейном является р. Агсучай (рисунки 1, 2).

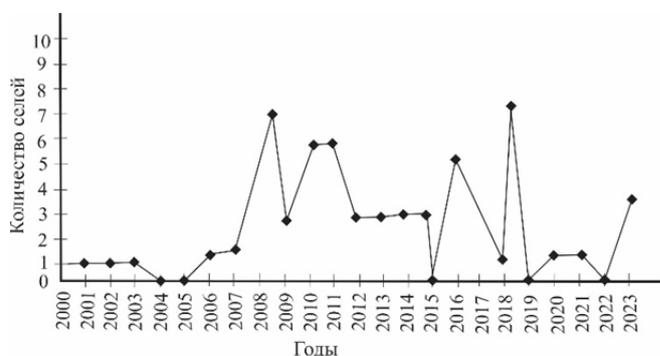


Рисунок 1 – Количество селей на р. Агсучай за 2000-2023 гг.

Figure 1 – The number of mudflows on the Agsuchai River in 2000-2023

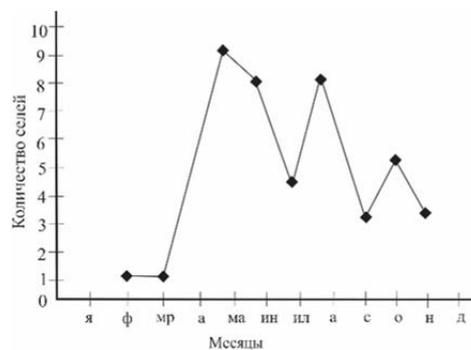


Рисунок 2 – Количество прошедших селей по месяцам за 2000-2023 гг.

Figure 2 – The number of past mudflows by months for 2000-2023

Из рисунка 1 следует, что с 2000 по 2023 г. на р. Агсучай прошло 42 наиболее катастрофических селевых потока. Приведем несколько примеров: селевой поток, прошедший 30 мая 2013 г., разрушил дорогу города Агсу, многочисленные заборы, электрические столбы. Дворы жилых домов и подвалы были затоплены толстым слоем ила. Селевой поток 10 октября 2016 г. разрушил селезащитные укрепления в селах Мешадганлы и Агаларбейли и мост в городе Агсу. 3 июня 2018 г. селевой поток разрушил дорогу, соединявшую село Мешадганлы с населением 1500 жителей с районным центром, линии электропередачи и телефонные столбы, прервано водо- и газоснабжение села, полностью вышли из строя оросительные каналы. 4 августа 2020 г. селевой поток повредил участок дороги Шамахи-Исмаиллы. Несколько частных домов и центр отдыха с находящимися на его территории коттеджами затопило илом. Сель унес большое число домашней птицы и скота. 7 сентября 2023 г. сель повредил столбы и провода электропередачи и связи. Была прекращена подача электроэнергии в некоторые села, в том числе в город Агсу. Селевой поток повредил участок дороги Агсу-Исмаиллы.

Хотелось бы отметить, что Шамахи-Исмаиллинский район считается одним из крупных рекреационных и курортных регионов республики. Тысячи людей в год посещают такие достопримечательности, как Сафари-парк, Шамахинская обсерватория, 5-звездочные отели «Шамахи-Палас-Шерадиль», «Басгал-Ресорт», курортный отель «Сакит-гель» и многие другие, возведенные в горных или высокогорных зонах, где масштабно развиты оползневые процессы. Они внезапны, непредсказуемы и тесно связаны с селевыми процессами. Анализ развития и проявления оползней в Шамахи-Исмаиллинском районе обеспечит урегулирование многочисленных хозяйственных и практических проблем, позволит предугадать опасные последствия, спровоцированные неоправданным преобразованием рельефа, использовать результаты исследования в целях оптимальной эксплуатации, а также уменьшения ущерба и оползневой риска [2, 3].

Цель исследования – определить главные причины формирования и проявления оползней в бассейне р. Агсучай, являющейся селеопасной рекой не только Шамахи-Исмаиллинского района, но и всего южного склона Большого Кавказа в границах Азербайджана. Кроме того, необходимо вскрыть условия их образования, оценить восприимчивость местности к оползневым процессам и разработать методы предотвращения оползней и селей, уменьшения тяжести их последствий и защиты от этих природных явлений.

Характеристика района исследования. В строении Шамахи-Исмаиллинского района преобладают третичные осадочные и вулканогенно-осадочные отложения мелового периода. Река Агсучай протекает по волнистому, относительно широкому плато, возвышающемуся порою до

высоты 1000 м. На западе бассейн обрамлен Гюрдживанским плато, на востоке – Лянгябизским хребтом. Средняя густота речной сети $0,46 \text{ км/км}^2$. Большинство селевых очагов, а именно оползни и оползни-потоки (ишгыны), наблюдается на высоте свыше 1200 м. Главные факторы масштабного проявления оползней – наличие разрывных нарушений и глинистых отложений большой мощности, а также широкое развитие крутых склонов в Шамахи-Исмаиллинском районе.

В селеопасном бассейне р. Агсучай в последнее время наблюдается увеличение числа оползней (рисунок 3).



Рисунок 3 – Оползневые процессы в долине р. Агсучай
Figure 3 – Landslide processes in the valley of the Agsuchai River

К примеру, если в прошлом оползни проявлялись лишь в верхних зонах среднегорья, а также в высокогорье, сейчас они уже масштабно формируются в предгорных и низкогорных зонах селеопасного бассейна р. Агсучай. Здесь помимо природных факторов огромное воздействие оказывает антропогенная (прокладка линейной инфраструктуры, подрезка склонов и мн. др.) деятельность [4].

Селеопасный бассейн р. Агсучай обладает сложным геолого-геоморфологическим строением. Основой служит складчато-глыбовое строение рельефа, где комбинируются мелкие и крупные, простые и сложные, отрицательные и положительные структуры, тектонические покровы и разломы.

Вдоль долины р. Агсучай проходит мощное Западно-Каспийское нарушение, по которому заложена долина реки. Он пересекает восточный сегмент Говдагского хребта, осевую зону Ниялдагского хребта и Лахыджскую котловину, усложняя их строение, что в конечном итоге и вызывает активизацию оползневых процессов.

В истоковой части долина р. Агсучай представляет собой ущелье с крутыми склонами, тесниной и водопадами. В средней части долина реки расширяется, периодически срезает изверженные породы с прослоями известняков и песчаников, формируя теснину с крутыми скалистыми склонами. Притокам селеопасной р. Агсучай присуща приуроченность их долин к запрокинутым на юг складкам. Северные склоны отвесные, а южные пологие, что совпадает с напластованием слагающих отложений. Долины притоков более глубокие, сформированные в сравнительно легко разрушающихся породах большой мощности. В нижней части долина р. Агсучай выделяется широкой ящикообразной долиной с речными террасами и высоко приподнятой поймой.

Агсучай, проходя через низкогорье и предгорье, формирует конус выноса, образованный значительными по объему отложениями селевых потоков (рисунок 4).

Среднегорье бассейна селеопасной р. Агсучай выделяется формированием обвальных и осыпных склонов из массивных песчано-известняковых пород юры и мела, высокогорье – зоной нивально-денудационного влияния и гравитационных процессов.

Территория среднего течения селеопасной р. Агсучай изобилует мощными оползневыми массивами, амфитеатрами, цирками, медленно сползающими потоками, стенками отрыва оползней, которые усложняют рельеф, сглаживая его структурную специфику. Примером могут служить



Рисунок 4 – Верховье конуса выноса р. Агсучай

Figure 4 – Upper reaches of the Agsuchai River outflow cone

структуры низких порядков, черты которых сглажены гравитационными процессами и формами рельефа. Мощные оползневые потоки, переходящие в сели с внушительными конусами выноса, занимают дно котловин и их склонов. По данным Н. Ш. Ширинова (1982), интенсивная раздробленность бортов продольного участка долины р. Агсучай обязана резкой расчлененности нижнемеловых известняков, мергелей и песчаников, чередой энергичных в новейшем этапе продольных нарушений, строению склонов, сложенных слоями, падающими на север.

свидетельствует, что важным фактором формирования оползней служит геолого-геоморфологическое строение.

Материалы и методы исследования. Оползни представляют огромную угрозу, что мотивирует исследователей находить более целесообразные способы и методы их прогнозирования. За последнее время появилось множество способов прогноза оползней, но чаще всего используют вероятностно-статистические методы. Опубликовано большое число работ по исследованию оползневой восприимчивости [5-17]. К примеру, Чалкова Ю. С., Черепанов Б. М. [18] оползневые процессы изучали методом сравнительно-геологического анализа условий их развития. Фоменко И. К., Пендин В. В., Нгуен Ч. К. [19] для оценки оползневой опасности территорию исследования делят на зоны, которые друг от друга отличаются природными условиями образования оползней, по активности и характеру воздействия антропогенного фактора. Анализ оползневых факторов ученые проводят способом взвешенных сумм или взвешенных произведений. Леонова А. В., Строкова Л. А., Никитенкова А. Н. [20] определяют закономерности развития оползней, дают оценку активности их образования и проводят прогноз вероятности их проявления.

Оползневая восприимчивость (landslide susceptibility) – «это ареальная допустимость оползней, проявляющихся в конкретном регионе, с учетом местных ситуаций, свидетельствующая, где, возможно, образуются оползни» [21, 22], т.е. оползневая восприимчивость идентифицируется как вероятность образования оползня на конкретной территории, оцениваемая на основе качественной и количественной интерпретации ряда природных и антропогенных факторов, провоцирующих формирование оползней. Картирование оползневой восприимчивости (LSM – Landslide Susceptibility Mapping) – «это алгоритм выявления пространственной дифференциации и систематизации участков территории на базе их предрасположенности к развитию оползней. На это воздействуют топография, геология, особенности свойств грунтов, климат, растительность и антропогенное влияние» [23]. Пространственный анализ с помощью ГИС «объясняет взаимосвязи между множественными факторами устойчивости склонов и формированием оползневых процессов, служа продуктивным подходом для оценки оползневой восприимчивости» [24, 25].

Как отмечалось, при анализе оползневой восприимчивости чаще всего используют статистический метод, где оползни и формирующие их причины служат главными составляющими при создании модели восприимчивости к оползням, «дабы предвидеть образование оползней в перспективе» [26]. Обычно парадигмы оценки оползневой восприимчивости подразделяют на качественные и количественные [5, 10, 27]. С недавних пор наблюдается рост числа количественных методов при исследовании оползневой восприимчивости по причине того, что результаты этих методов более достоверны. Однако качественные методы все еще актуальны при анализе оползневой восприимчивости на крупных ареалах, и вдобавок, если количественные методы нереализуемы вследствие неполноты данных.

В работе в целях оценки оползневой восприимчивости и разработки карт вероятного формирования оползней в селеопасном бассейне р. Агсучай применены способы соотношения частот (англ. Frequency Ratio method – FR) и индекса энтропии (Index of entropy).

Способ соотношения частот основан на выявляемых соотношениях между дифференциацией оползней и отдельным из зависимых от них факторов для того, чтобы установить взаимосоответствие между местами обнаружения процесса и факторами, его провоцирующими. Следовательно, каждый фактор делится на ряд групп, а степень частоты (FR) для любой группы факторов устанавливается по уравнению

$$F_{ij} = \frac{N_i/N}{P_i/P}, \quad (1)$$

где N_i – число точек (пикселей) оползней в группе факторов i ; N – сумма числа точек (пикселей) оползней на карте территории изучения; P_i – сумма числа точек (пикселей) в группе факторов i ; P – общая сумма числа точек (пикселей) на карте территории изучения.

Затем для выявления «веса» любого фактора, образующего оползней, применен индекс энтропии Шеннона. «Энтропия – мера оценки бессистемности, непредсказуемости, неясности и неустойчивости конкретной системы». Между функцией энтропии и уровнем бессистемности в системе существует согласованность, описываемая формулой Больцмана. Шеннон воспользовался этим принципом, усовершенствовал его и создал «энтропийную модель для теории информации» [28]. В настоящее время принцип информационной энтропии широко используется для выявления индекса «веса» опасных явлений, в том числе в качестве совокупного экологического анализа природных процессов, таких, как оползней, обвалы, сели и др.

Итогом этого анализа служит выделение на изучаемой территории пяти зон вероятностного формирования оползневой процесса, таких, как весьма низкая, низкая, средняя, высокая и весьма высокая.

При анализе оползневой восприимчивости результаты сверяются с оценкой AUCROC (площадь под кривой ошибок).

ROC-кривая, или кривая ошибок (англ. Receiver Operating Characteristic), – график, дающий возможность понять качество бинарной классификации, демонстрирует зависимость числа правильно классифицированных положительных примеров от ошибочно систематизированных отрицательных примеров. Площадь под ROC-кривой AUC (Area Under Curve) служит объединенной особенностью классификации, неподконтрольной показателю суммы ошибок. Чем выше значимость AUC, тем качественнее оценка восприимчивости.

Инвентаризация оползней. Важным элементом методологии FR служит создание инвентаризационной карты оползней (ИКП). Такая карта может создаваться как на базе полевых работ,

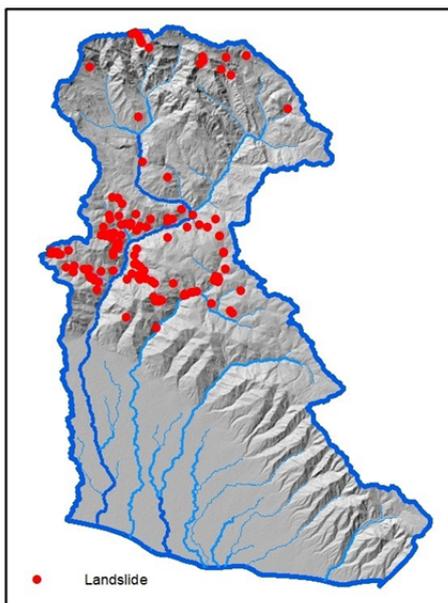


Рисунок 5 – ИКП селеопасного бассейна р. Агсучай

Figure 5 – LIM of the mudflow – prone basin of the Agsuchai River

так и методом интерпретации мультиспектральных изображений, полученных благодаря дистанционному зондированию. ИКП (LIM – Landslide Inventory Mapping) – карта, где указано количество оползней. Кроме того, эта карта содержит такую информацию, как геометрические параметры оползней (размеры, площадь, глубина захвата склонового массива оползневыми деформациями), специфика геолого-геоморфологического строения (литология, структура, свойства грунтов) и гидрогеологических условий.

Создание ИКП выполняется с помощью алгоритма возрастания контрастов, рекомендованного Гондом и Броньоли в 2005 г. Основой методологии является комбинирование спектральных диапазонов для разработки индексов растительности (NDVI) и индексов влажности (NDWI). Затем эти слои соединяются со средним инфракрасным интервалом (MIR) для повышения контрастности территории (рисунок 5).

В селеопасном бассейне р. Агсучай выделено более 120 оползней. В основном оползни зафиксированы в Лахыдж-Мюдринской внутригорной впадине, на склонах Ниалдагского и Говдагского хребтов и по Аджичайскому тектоническому нарушению.

Результаты исследования. Опираясь на имеющиеся данные, специфику оползней и взаимосвязи между формированием склоновых деформаций и факторами, провоцирующими оползни, для графического представления карт оползневой восприимчивости и вероятностного проявления оползней взяты 9 факторов, взаимосвязанных с оползнями, – гипсометрия, углы наклона (крутизна склонов), экспозиция склонов, геологическое строение (литология), расстояние от разломов, среднегодовая сумма осадков, расстояние до эрозионной сети, расстояние до дорог и землепользование (рисунок 6).

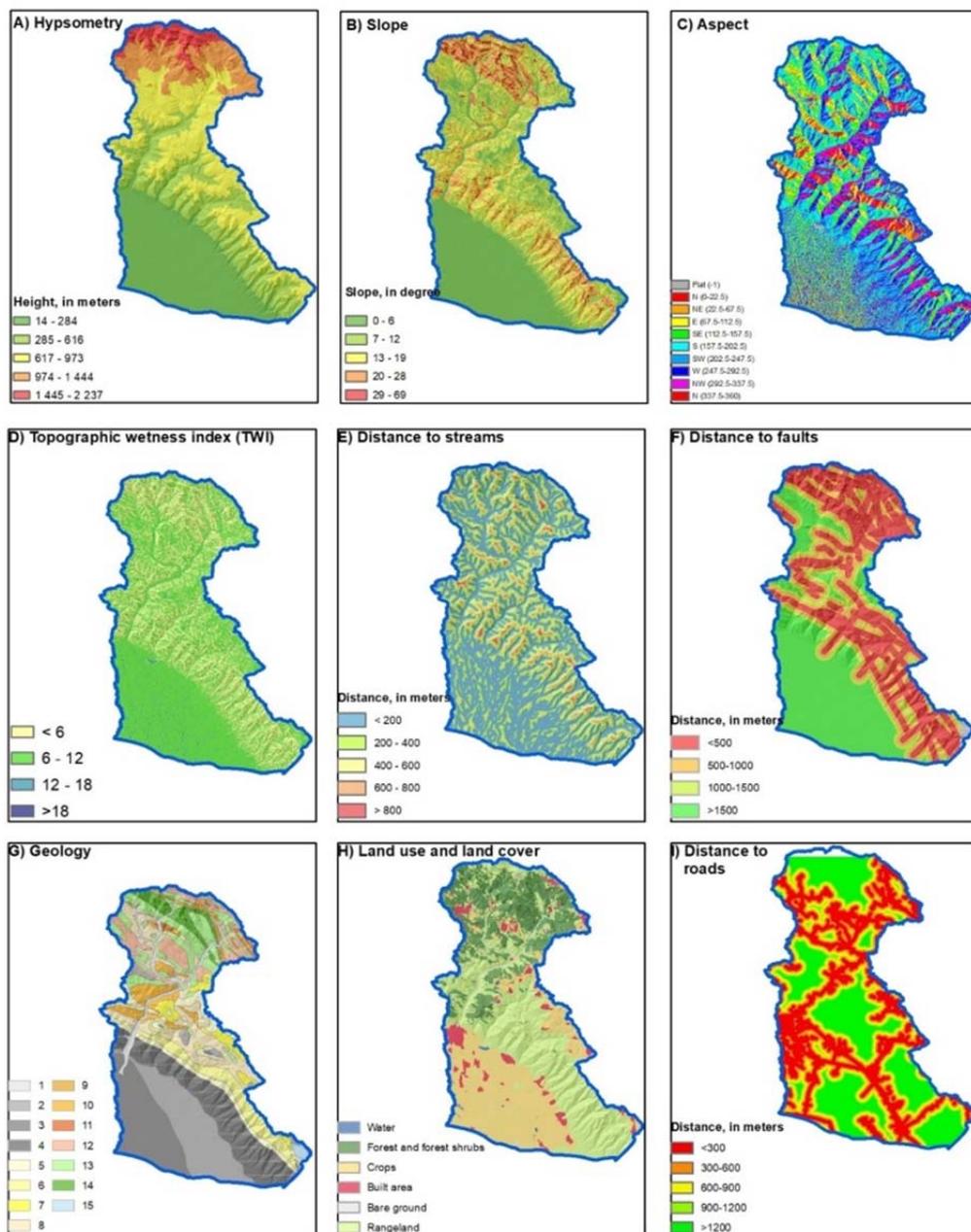
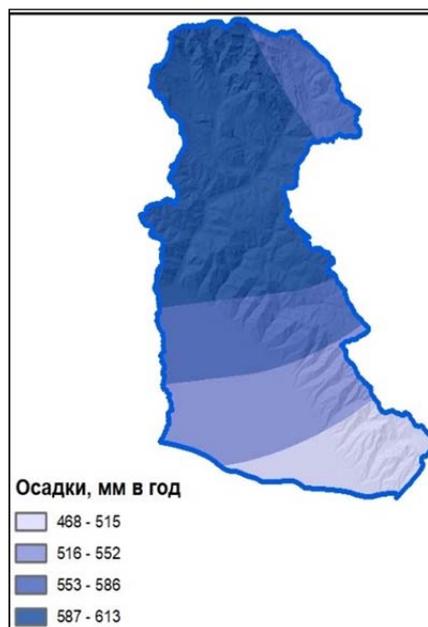


Рисунок 6 – Карты факторов оползнеобразования в селеопасном бассейне р. Агсучай
 Figure 6 – Maps of landslide factors in the mudslide-prone basin of the Agsuchai River

Рисунок 7 – Карта среднемесячной суммы осадков в селеопасном бассейне р. Агсучай

Figure 7 – Map of the average monthly precipitation in the mudflow basin of the Agsuchai River



Карты гипсометрии, крутизны и экспозиции склонов созданы с помощью цифровой модели рельефа (ЦМР) с разрешением 12,5-30 м. Расстояния до разломов, дорог и эрозионной сети оценены посредством инструмента Евклидово расстояние в ArcGIS. Карта среднемесячной суммы осадков создана способом интерполяции данных о сумме осадков в близрасположенных поселениях (рисунок 7). Карта землепользования (Land use and land cover map) создана на базе обучающей систематизации в информационной установке ArcGIS.

Материалы о геологическом строении (литологии) и глубинные разломы оцифрованы с геологической карты Горно-Ширванского экономического района масштаба 1:200 000. Затем в целях оценки все карты преобразованы в растровый формат, чтобы рассчитать «вес» классов и факторов и в конечном итоге составить карту оползневой восприимчивости.

Так как крутизна склона является одним из существенных факторов формирования оползней, этот параметр получен на базе ЦМР благодаря инструментам пространственной оценки и разделен на 5 групп на основании алгоритма естественных интервалов (границ): 0-6, 6-12, 12-19, 19-28 и 28-69°.

Значимым источником преобразования качеств грунта значится экспозиция склонов. Воздействие экспозиции склонов выражается в различиях в температуре и влажности. Такие различия обозначают изменения свойств почвы по причине их влияния на вегетационные и микроклиматические условия. К примеру, освещенность, осадки, засушливый ветер и пр. влияют на развитие оползней. Экспозицию склонов подразделили на 8 групп: плоская (-1°), северная ($0-22,5^\circ$; $337,5-360^\circ$), северо-восточная ($22,5-67,5^\circ$), восточная ($67,5-112,5^\circ$), юго-восточная ($112,5-157,5^\circ$), южная ($157,5-202,5^\circ$), юго-западная ($202,5-247,5^\circ$), западная ($247,5-292,5-292,5-337,5^\circ$), северо-западная ($292,5-337,5^\circ$).

Важным фактором, конкретизирующим устойчивость склона, считается расстояние до рек, так как реки подмывают основание склона, тем самым способствуя развитию эрозионных процессов. Значит, чем дальше от реки, тем меньше вероятность развития оползня.

По параметру «расстояние до рек» выделено 5 групп посредством инструмента Евклидово расстояние ArcGIS: менее 200, 200-400, 400-600, 600-800 и свыше 800 м.

По параметру «расстояние до дорог» определены 4 группы посредством ArcGIS: менее 6, 6-12, 12-18 и свыше 18 м.

По параметру «расстояние до разломов» установлены 4 группы: менее 500, 500-1000, 1000-1500 и свыше 1500 м.

Обсуждение. В работе проведен анализ взаимосвязи между факторами, формирующими оползни. Паритеты частотностей (F_{ij}) и величины «веса» всех без исключения факторов (W_j) рассчитаны с помощью моделей FR и IoE (см. таблицу). Для селеопасного бассейна р. Агсучай значения LSI при составлении карт индекса оползневой восприимчивости найдены по формуле

$$LSI = [(гипсометрия \times W_j) + (углы наклона \times W_j) + (экспозиция \times W_j) + (геологическое строение \times W_j) + (дальность до разломов \times W_j) + (дальность до водотоков \times W_j) + (дальность до дорог \times W_j) + (землепользование и растительный покров \times W_j) + (сумма атмосферных осадков \times W_j)]. \quad (2)$$

Оценка взаимосвязи между факторами, формирующими оползни, и распространением оползней
Assessment of the relationship between factors shaping landslides and landslide distribution

Фактор	Класс фактора	Площадь класса P_i	Площадь, занятая оползнем N_i	FR (N_i / P_i)	«Вес» фактора W_i
1	2	3	4	5	6
Гипсометрия, м	14-284	306323400	4993,08222	0,005907426	3,83
	284-616	203414900	1314290,198	2,341629738	
	616-973	258086400	828851,6485	1,1639,1537	
	973-1444	117177100	49930,8222	0,154431429	
	1444-2237	54171620	393343,9215	2,631542192	
Углы наклона, град.	0-6	330906600	66019,64268	0,072005394	3,32
	6-12	227688500	841611,7475	1,334037325	
	12-19	217790500	1162278,583	1,926054587	
	19-28	121181000	483219,4015	1,439153503	
	28-69	37695560	38280,29702	0,3666507096	
Экспозиция	Север	26740180	110957,3827	1,497576918	1,00
	Северо-восток	64591080	272955,1613	1,525162171	
	Восток	82213330	207490,3056	0,910862518	
	Юго-восток	131276500	357282,7722	0,982250699	
	Юг	173426400	601389,014	1,251519271	
	Юго-запад	184496600	494869,9267	0,968054829	
	Запад	131472300	309016,3107	0,848290108	
	Северо-запад	90236100	163107,3525	0,652364743	
Геологическое строение	1	29494140	97087,70982	1,193028445	2,86
	2	140260100	0	0	
	3	120623500	0	0	
	4	139786350	0	0	
	5	51286170	155895,1226	1,101677652	
	6	61790515	164216,9263	0,963204235	
	7	33116900	42718,59232	0,467508526	
	8	108513000	760612,8581	2,540412095	
	9	11266060	221914,7653	7,138984167	
	10	43814306	848269,1903	7,01681515	
	11	5965070	4438,295306	0,269663974	
	12	59204091,1	12760,09901	0,078113232	
	13	98113539,1	128155,777	0,473403567	
	14	31160724,2	155340,3357	1,806753797	
	Вулканические брекчии	4806120	0	0	

Окончание таблицы					
1	2	3	4	5	6
Дальность до разломов, м	0-500	347749900	1543971,98	1,597895539	3,15
	500-1000	161212200	662415,5744	1,47879718	
	1000-1500	87413350	1543971,98	1,30424907	
	>1500	336260300	662415,5744	0,073035113	
Дальность до водотоков, м	<200	469655500	1388076,857	1,067794446	2,61
	200-400	277143300	763016,9347	0,994679918	
	400-600	140608000	338604,946	0,870035199	
	600-800	44409040	101710,9341	0,827465345	
	>800	4429420	0	0	
Дальность до дорог, м	<300	278845400	242441,8811	0,310793604	2,28
	300-600	165115200	315673,7536	0,683406856	
	600-900	116582400	367823,7235	1,127806665	
	900-1200	84719300	378364,6748	1,596452995	
	>1200	281064000	1287105,683	1,636955589	
Землепользование	Водоемы	2350633	21537	0,0856443955	5,26
	Леса и лесохозяйственные угодья	194466200	769	0,46585411	
	Пахотные земли	290814400	6154	0,017306357	
	Населенные пункты	50804620	14615	0,150578142	
	Территории с разреженной растительностью	9854127	101526,0051	3,738647165	
	Луга и пастбища	392064100	2204723,193	2,040573919	
Сумма атмосферных осадков, мм/год	468-515	120732192,2	0	0	8,77
	515-552	177959026	0	0	
	552-586	223405512,7	64355,28194	0,104399699	
	586-613	417074996,9	2527054,39	2,195883873	
<p><i>Примечание.</i> Геологические классы: 1 – голоцен, современные аллювиальные отложения – галька, гравий, пески, супеси, суглинки; 2 – голоцен, современные делювиально-пролювиальные отложения – гальки, суглинки, супеси, глины; 3 – средний и верхний плейстоцен, аллювиально-пролювиальные отложения – глины, суглинки, супеси, галька с прослоями вулканического пепла; 4 – эоплейстоцен, абшерон морские отложения – глины, пески, песчаники, известняки с прослоями вулканического пепла, суглинки, мергели, конгломераты; 5 – верхний плиоцен, ачкагыльские осадочные отложения – глины, вулканический пепел, брекчии, пески, песчаники, галька, известняки; 6 – нижний плиоцен, балаханские осадочные отложения – глины, суглинки, пески, песчаники, галька, гравелиты, конгломераты; 7 – верхний миоцен, понтийские осадочные отложения – пески, песчаники, глины, известняки, конгломераты, вулканические породы, пепел; 8 – нижний миоцен, верхнемайкопские осадочные отложения – сланцевые глины с прослоями глинистых сидеритовых конкреций, вулканический пепел, пески, песчаники, гравелиты, конгломераты; 9 – майкопские осадочные породы олигоцена и нижнего миоцена – глины, аргиллиты, песчаники, мергели; 10 – эоценовые (говундагская свита) осадочные отложения – глины, мергели, песчаники, глинистые доломиты, вулканический пепел, конгломераты; 11 – средний и верхний палеоцен (сумгаитская свита), осадочные месторождения – глины, мергели, песчаники; 12 – осадочные отложения нижнего палеоцена – известняки, песчаники, мергели, аргиллиты, глины; 13 – верхнемеловые вулканогенно-осадочные и осадочные отложения – туфопесчаники, базальты андезиты, порфириты, известняки, песчаники, мергели, аргиллиты, глины; 14 – нижнемеловой вулканогенно-осадочный и осадочные отложения – туфопесчаники, песчаники, мергели, известняки, аргиллиты, туфоконгломераты, туфы, туффиты, порфириты, андезиты.</p>					

С этой целью в среде программирования ArcGIS с использованием инструмента пространственной оценки «Калькулятор раstra», сложив все факторы оползнеобразования и перемножив на свои «веса», мы составили карту оползневой восприимчивости селеопасного бассейна р. Агсучай (рисунок 8).

С помощью способа систематизации истинных границ в среде программирования ArcGIS бассейн р. Агсучай разделен на 5 зон по потенциалу формирования оползней: весьма низкая, низкая, средняя, высокая и весьма высокая. Анализ данных показал, что зоны с весьма низкой, низкой, средней, высокой и весьма высокой вероятностью формирования оползней охватывают соответственно 17,98; 17,03; 24,64; 23,41 и 16,94% площади бассейна реки.

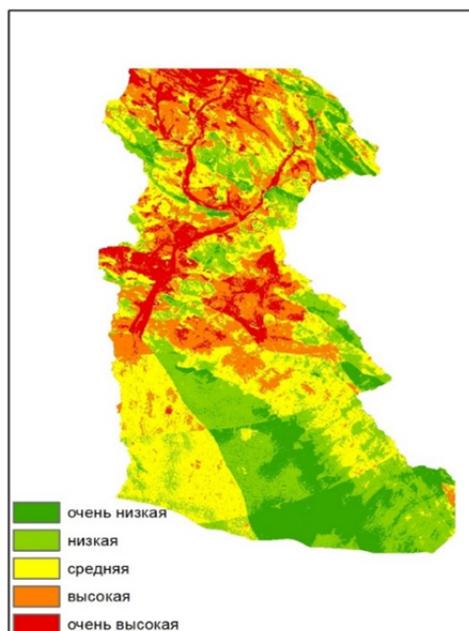


Рисунок 8 –
Карта оползневой восприимчивости
селеопасного бассейна р. Агсучай

Figure 8 –
Map of landslide susceptibility
of the mudslide-prone basin
of the Aghsu River

Зоны с высокой и весьма высокой оползневой восприимчивостью главным образом соответствуют Бабадагскому, Говдагскому, Ниалдагскому хребтам, Лахыдж-Мюдринской впадине и местами склонам Третичного плато (Аджичайская область). Все высокогорье бассейна располагается в зоне весьма высокой и высокой оползневой восприимчивости. Зоны низкой и весьма низкой восприимчивости выявлены в равнинной части и на плоских участках бассейна. Значение AUC 72% свидетельствует об эффективности данного подхода для картирования оползневой восприимчивости и вероятности формирования оползней в селеопасном бассейне р. Агсучай (рисунок 9).

Выводы. Оценка оползневой опасности значителен главным звеном национальной стратегии устранения и митигации последствий стихийных явлений в Азербайджане. Районирование территории по возможности формирования оползневого процесса считается базой для анализа оползневой опасности в этой связи с риском и планирования программ своевременного предвидения.

С этой целью впервые в Азербайджане и был проведен анализ формирования оползневого процесса в селеопасном бассейне р. Агсучай. Для оформления карт оползневой восприимчивости применялись статистические модели (на базе ГИС), позволившие обозначить важность каждого фактора, воздействующего на образование

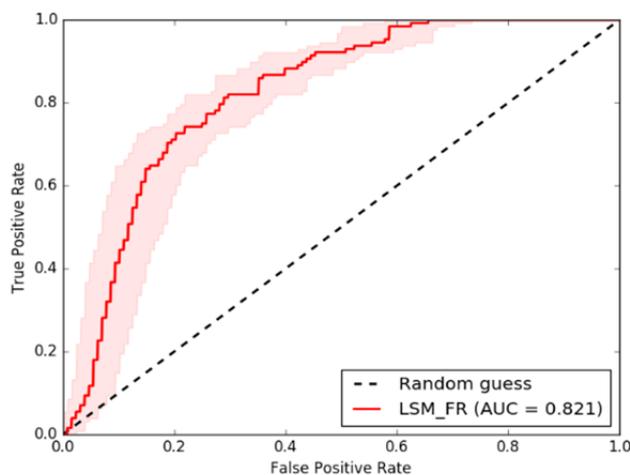


Рисунок 9 –
График, доказывающий
достоверность модели

Figure 9 –
A graph proving the reliability
of the model

оползневых процессов. Затем оценка восприимчивости была осуществлена за счет агрегирования итогов анализа отобранных факторов с помощью пространственных концептуальных формул. Район изучения по степени потенциального формирования оползней был разделен на пять зон: весьма низкая, низкая, средняя, высокая и весьма высокая. Правдивость извлеченных моделей проанализирована благодаря AUC ROC (площадь под кривой ошибок), выявившей высокую эффективность примененного подхода – 72%. Благодаря высокой достоверности используемый метод нами применяется для оценки оползневой восприимчивости по всем бассейнам рек Азербайджана.

Результаты вычислений принципиально значимы в целях анализа оползневой опасности и рисков, разработки стабильного землепользования и снижения урона от оползней на изучаемой территории.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Тарихазер С. А. Геолого-геоморфологический анализ оползневых процессов в заповеднике «Гобустан» в целях туристско-рекреационной деятельности // География и водные ресурсы. – 2022. – № 2. – С. 19-27. <https://doi.org/10.55764/2957-9856/2022-2-19-27/09>
- [2] Tarikhazer S. A. Assessment of ecological strength and risk of geosystems of the north-eastern slope of the Great Caucasus (within Azerbaijan) // Visnyk of VN Karazin Kharkiv National University, series «Geology. Geography». – 2022. – No. 56. – P. 264-267. <https://doi.org/10.26565/2410-7360-2022-56-20>
- [3] Tarikhazer S. A., The geographical prerequisites for the identification and prevention of dangerous geomorphological processes in the mountain geosystems of the Alpine-Himalayan belt (on the example of the Major Caucasus of Azerbaijan) // Journal of Geology, Geography and Geocology. – Dnepropetrovsk, 2020. – No. 1. – P. 176-187. DOI <https://doi.org/10.15421/112016>
- [4] Tarikhazer S. A., Mammadov S. G., Hamidova Z. A. Application of quantitative methods for the assessment of landslide susceptibility of the Aghsuchay river basin // Visnyk of VN Karazin Kharkiv National University, series «Geology. Geography». – 2023. – No. 58. – P. 257-273. <https://doi.org/10.26565,2410-7360-2023-58-20>
- [5] Guzzetti F., Reichenbach P., Cardinali M., Galli M., Ardizzone F. Probabilistic landslide hazard assessment at the basin scale // Geomorphology. – 2005. – Vol. 72, iss. 1. – P. 272-299. URL: <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2005.06.002>.
- [6] Lee S., Pradhan B. Landslide hazard mapping at Selangor, Malaysia using frequency ratio and logistic regression models // Landslides. – 2007. – Vol. 4. – P. 33-41.
- [7] Van Westen C.J., Castellanos E., Kuriakose S.L. Spatial data for landslide susceptibility, hazard, and vulnerability assessment: An overview // Engineering Geology. – 2008. – Vol. 102. – P. 112-131.
- [8] Castellanos Abella EA., Van Westen CJ. Qualitative landslide susceptibility assessment by multicriteria analysis: A case study from San Antonio del Sur, Guantánamo, Cuba // Geomorphology. – 2008. – Vol. 94. – P. 453-466.
- [9] Oh H.-J., Lee S. Cross-application used to validate landslide susceptibility maps using a probabilistic model from Korea // Environmental Earth Science. – 2011. – Vol. 64. – P. 395-409.
- [10] Пендин В. В., Фоменко И. К. Методология оценки и прогноза оползневой опасности. – М.: ЛЕНАНД, 2015. – 320 с.
- [11] Arabameri A., Pradhan B., Rezaei K., Lee C.-W. Assessment of landslide susceptibility using statistical- and artificial intelligence-based FR–RF integrated model and multiresolution DEMs // Remote Sensing. – 2019. – Vol. 11, iss. 9. URL: <https://doi.org/10.3390/rs11090999>.
- [12] Cantarino I., Carrion M.A., Goerlich F., Martinez Ibañez V. A ROC analysis-based classification method for landslide susceptibility maps // Landslides. – 2019. – Vol. 16, iss. 2. – P. 265-282. URL: <https://doi.org/10.1007/s10346-018-1063-4>.
- [13] Mandal S., Mandal S. Statistical approaches for landslide susceptibility assessment and prediction. – Switzerland: Springer International Publishing, 2019. – 200 p.
- [14] Nahayo L., Mupenzi C., Habiyaremye G., Kalisa E., Udahogora M., Nzabarinda V., Li L. Landslides hazard mapping in Rwanda using bivariate statistical index method // Environmental Engineering Science. – 2019. – Vol. 36, iss. 8. – P. 892-902. URL: <https://doi.org/10.1089/ees.2018.0493>.
- [15] Shano L., Raghuvanshi T. K., Meten M. Landslide susceptibility evaluation and hazard zonation techniques—a review // Geoenvironmental Disasters. – 2020. – Vol. 7, iss. 1. URL: <https://doi.org/10.1186/s40677-020-00152-0>.
- [16] Харченко С. В., Шварев С. В. Прогнозирование оползневой опасности в окрестностях Красной Поляны на основе линейного дискриминантного анализа // Вестник Московского государственного университета. Серия 5. География. – 2020. – № 3. – С. 22-33.
- [17] Roccati A., Paliaga G., Luino F., Faccini F., Turconi L. GIS-based landslide susceptibility mapping for land use planning and risk assessment // Land. – 2021. – Vol. 10, iss. 2. URL: <https://doi.org/10.3390/land10020162>.
- [18] Чалкова Ю. С., Черепанов Б. М. Оползневые процессы, их прогнозирование и борьба с ними // Ползуновский вестник. – 2007. – № 1-2. – С. 80-89.
- [19] Фоменко И. К., Пендин В. В., Нгуен Ч. К. Оценка ущерба, опасности и риска от оползневых процессов (на примере Северо-Западного Вьетнама) // Сб. науч. тр. XIII Общерос. науч.-практич. конф. и выставки «Перспективы развития инженерных изысканий в строительстве в Российской Федерации». – 2017. – С. 27-34.
- [20] Леонова А. В., Строкова Л. А., Никитенкова А. Н. Оценка оползневых процессов на территории г. Томска с использованием ГИС-технологий // Вестник Воронежского государственного университета. Сер. «Геология». – 2021. – № 1. – С. 94-103.
- [21] Sestraș P., Bilașco Ș., Roșca S., Naș S., Bondrea M.V., Gălgău R., Vereș I., Sălăgean T., Spalević V., Cîmpeanu S.M. Landslides susceptibility assessment based on GIS statistical bivariate analysis in the hills surrounding a metropolitan area // Sustainability. – 2019. – Vol. 11, iss. 5. URL: <https://doi.org/10.3390/su11051362>.
- [22] Kose D. D., Turk T. GIS-based fully automatic landslide susceptibility analysis by weight-of-evidence and frequency ratio methods // Physical Geography. – 2019. – Vol. 40, iss. 5. – P. 481-501. URL: <https://doi.org/10.1080/02723646.2018.1559583>.
- [23] Fell R., Corominas J., Bonnard C., Cascini L., Leroi E., Savage W. Z. Guidelines for landslide susceptibility, hazard and risk zoning for land use planning // Engineering Geology. – 2008. – Vol. 102, iss. 3. – P. 85-98. URL: <https://doi.org/10.1016/j.enggeo.2008.03.022>
- [24] Van Westen C.J., Van Asch T.W.J., Soeters R. Landslide hazard and risk zonation – why is it still so difficult? // Bulletin of engineering geology and the environment. – 2006. – Vol. 65, iss. 2. – P. 167-184. URL: <https://doi.org/10.1007/s10064-005-0023-0>.
- [25] McColl S.T. Chapter 2. Landslide causes and triggers // Landslide hazards, risks and disasters / Eds. J. F. Shroder, T. Davies. – Boston: Academic Press, 2015. – P. 17-42. URL: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-396452-6.00002-1>.

[26] Tiranti D., Cremonini R. Editorial: landslide hazard in a changing environment // *Frontiers in Earth Science*. – 2019. – Vol. 7, iss. 3. URL: <https://doi.org/10.3389/feart.2019.00003>.

[27] Gaidzik K., Ramírez-Herrera M.T. The importance of input data on landslide susceptibility mapping // *Scientific Reports*. – 2021. – Vol. 11, iss. 1. URL: <https://doi.org/10.1038/s41598-021-98830-y>.

[28] Shannon C.E. Prediction and entropy of printed English // *The Bell System Technical Journal*. – 1950. – Vol. 30. – P. 50-64.

REFERENCES

[1] Tarikhazer S. A. Geological and geomorphological analysis of landslide processes in the reserve «Gobustan» for the purpose of tourist and recreation activities // *Geography and water resources*. 2022. No. 2. P. 19-27. <https://doi.org/10.55764/2957-9856/2022-2-19-27/09> (in Russ.).

[2] Tarikhazer S. A. Assessment of ecological strength and risk of geosystems of the north-eastern slope of the Great Caucasus (within Azerbaijan) // *Visnyk of VN Karazin Kharkiv National University, series «Geology. Geography.»* 2022. No. 56. P. 264-267. <https://doi.org/10.26565/2410-7360-2022-56-20>

[3] Tarikhazer S. A. The geographical prerequisites for the identification and prevention of dangerous geomorphological processes in the mountain geosystems of the Alpine-Himalayan belt (on the example of the Major Caucasus of Azerbaijan) // *Journal of Geology, Geography and Geoecology*. Dnepropetrovsk, 2020. No. 1. P. 176-187. DOI <https://doi.org/10.15421/112016>

[4] Tarikhazer S. A. Mammadov S. G., Hamidova Z. A. Application of quantitative methods for the assessment of landslide susceptibility of the Aghsuyay river basin // *Visnyk of VN Karazin Kharkiv National University, series «Geology. Geography.»* 2023. No. 58. P. 257-273. <https://doi.org/10.26565,2410-7360-2023-58-20>

[5] Guzzetti F., Reichenbach P., Cardinali M., Galli M., Ardizzone F. Probabilistic landslide hazard assessment at the basin scale // *Geomorphology*. 2005. Vol. 72, iss. 1. P. 272-299. URL: <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2005.06.002>

[6] Lee S., Pradhan B. Landslide hazard mapping at Selangor, Malaysia using frequency ratio and logistic regression models // *Landslides*. 2007. Vol. 4. P. 33-41.

[7] Van Westen C.J., Castellanos E., Kuriakose S.L. Spatial data for landslide susceptibility, hazard, and vulnerability assessment: An overview // *Engineering Geology*. 2008. Vol. 102. P. 112-131.

[8] Castellanos Abella EA., Van Westen CJ. Qualitative landslide susceptibility assessment by multicriteria analysis: A case study from San Antonio del Sur, Guantánamo, Cuba // *Geomorphology*. 2008. Vol. 94. P. 453-466.

[9] Oh H.-J., Lee S. Cross-application used to validate landslide susceptibility maps using a probabilistic model from Korea // *Environmental Earth Science*. 2011. Vol. 64. P. 395-409.

[10] Pendin V. V., Fomenko I. K. Methodology for assessing and forecasting landslide hazard. M.: LENAND, 2015. 320 p. (in Russ.).

[11] Arabameri A., Pradhan B., Rezaei K., Lee C.-W. Assessment of landslide susceptibility using statistical- and artificial intelligence-based FR-RF integrated model and multiresolution DEMs // *Remote Sensing*. 2019. Vol. 11, iss. 9. URL: <https://doi.org/10.3390/rs11090999>.

[12] Cantarino I., Carrion M. A., Goerlich F., Martinez Ibañez V. A ROC analysis-based classification method for landslide susceptibility maps // *Landslides*. 2019. Vol. 16, iss. 2. P. 265-282. URL: <https://doi.org/10.1007/s10346-018-1063-4>.

[13] Mandal S., Mondal S. Statistical approaches for landslide susceptibility assessment and prediction. Switzerland: Springer International Publishing, 2019. 200 p.

[14] Nahayo L., Mupenzi C., Habiyaemye G., Kalisa E., Udahogora M., Nzabarinda V., Li L. Landslides hazard mapping in Rwanda using bivariate statistical index method // *Environmental Engineering Science*. 2019. Vol. 36, iss. 8. P. 892-902. URL: <https://doi.org/10.1089/ees.2018.0493>.

[15] Shano L., Raghuvanshi T. K., Meten M. Landslide susceptibility evaluation and hazard zonation techniques—a review // *Geoenvironmental Disasters*. 2020. Vol. 7, iss. 1. URL: <https://doi.org/10.1186/s40677-020-00152-0>.

[16] Kharchenko S. V., Shvarev S. V. Forecasting landslide hazard in the vicinity of Krasnaya Polyana based on linear discriminant analysis // *Bulletin of Moscow State University. Episode 5. Geography*. 2020. No. 3. P. 22-33 (in Russ.).

[17] Roccati A., Paliaga G., Luino F., Faccini F., Turconi L. GIS-based landslide susceptibility mapping for land use planning and risk assessment // *Land*. 2021. Vol. 10, iss. 2. URL: <https://doi.org/10.3390/land10020162>.

[18] Chalkova Yu. S., Cherepanov B. M. Landslide processes, their forecasting and combating them // *Polzunovsky vestnik*. 2007. No. 1-2. P. 80-89 (in Russ.).

[19] Fomenko I. K., Pendin V. V., Nguyen C. K. Assessment of damage, danger and risk from landslide processes (on the example of North-West Vietnam) // *Sb. nauch. tr. XIII All-Russian scientific and practical conf. and the exhibition "Prospects for the development of engineering surveys in construction in the Russian Federation"*. 2017. P. 27-34 (in Russ.).

[20] Leonova A. V., Strokova L. A., Nikitenkov N. A. Assessment of landslide processes on the territory of Tomsk using GIS technologies // *Bulletin of the Voronezh State University. Ser. «Geologiya»*. 2021. No. 1. P. 94-103 (in Russ.).

[21] Sestraş P., Bilaşco Ş., Roşca S., Naş S., Bondrea M.V., Gălgău R., Vereş I., Sălăgean T., Spalević V., Cîmpeanu S.M. Landslides susceptibility assessment based on GIS statistical bivariate analysis in the hills surrounding a metropolitan area // *Sustainability*. 2019. Vol. 11, iss. 5. URL: <https://doi.org/10.3390/su11051362>.

[22] Kose D. D., Turk T. GIS-based fully automatic landslide susceptibility analysis by weight-of-evidence and frequency ratio methods // *Physical Geography*. 2019. Vol. 40, iss. 5. P. 481-501. URL: <https://doi.org/10.1080/02723646.2018.1559583>.

[23] Fell R., Corominas J., Bonnard C., Cascini L., Leroi E., Savage W. Z. Guidelines for landslide susceptibility, hazard and risk zoning for land use planning // *Engineering Geology*. 2008. Vol. 102, iss. 3. P. 85-98. URL: <https://doi.org/10.1016/j.enggeo.2008.03.022>

[24] Van Westen C. J., Van Asch T. W. J., Soeters R. Landslide hazard and risk zonation – why is it still so difficult? // *Bulletin of engineering geology and the environment*. 2006. Vol. 65, iss. 2. P. 167-184. URL: <https://doi.org/10.1007/s10064-005-0023-0>.

- [25] McColl S. T. Chapter 2. Landslide causes and triggers // *Landslide hazards, risks and disasters* / Eds. J. F. Shroder, T. Davies. Boston: Academic Press, 2015. P. 17-42. URL: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-396452-6.00002-1>.
- [26] Tiranti D., Cremonini R. Editorial: landslide hazard in a changing environment // *Frontiers in Earth Science*. 2019. Vol. 7, iss. 3. URL: <https://doi.org/10.3389/feart.2019.00003>.
- [27] Gaidzik K., Ramírez-Herrera M.T. The importance of input data on landslide susceptibility mapping // *Scientific Reports*. 2021. Vol. 11, iss. 1. URL: <https://doi.org/10.1038/s41598-021-98830-y>.
- [28] Shannon C. E. Prediction and entropy of printed English // *The Bell System Technical Journal*. 1950. Vol. 30. P. 50-64.

С. А. Тарихазер^{*1}, С. Г. Мамедов², З. А. Гамидова³

^{1*} Д. ф. д., доцент, бас ғылыми қызметкер (Академик Г. А. Әлиев атындағы География институты, Баку, Әзірбайжан; kerimov17@gmail.com)

² Ф. ф. к. («Азнефть» ӨБ, SOCAR, Баку, Әзірбайжан; seymurmq@gmail.com)

³ География ғылымдарының кандидаты, доцент, аға ғылыми қызметкер (Академик Г. А. Алиев атындағы География институты Баку, Әзірбайжан; zernura@gmail.com)

САҢҒЫ ҚАУІПТІ ӨЗЕН АЛСАСЫНЫҢ КӨШКІККЕ СЕЗІМДІЛІГІН ЗЕРТТЕУДЕГІ САНДЫҚ ӘДІСТІ ҚОЛДАНУ

Аннотация. Мақалада сел қаупі бар өзен бассейніндегі Агсучай қауіпті көшкін процестерін талдау үшін сандық әдіс қолданылады, Шамахи-Исмайиллы аймағындағы туризм мен рекреациялық қызметтің белсенді дамуын ескере отырып. Көшкінге бейімділік пен көшкіннің ықтимал көрінісін анықтау үшін көшкінмен өзара байланысты 9 фактордың «салмағы» анықталды – гипсометрия, еңіс бұрыштары (еңістің тіктігі), еңіс экспозициясы, геологиялық құрылымы (литология), бұзылудан қашықтығы, орташа жылдық жауын-шашын мөлшері, эрозия желілеріне дейінгі қашықтық, жолдарға дейінгі қашықтық және жерді пайдалану. Әрбір көшкіннің түзілу коэффициентін қорытындылау және олардың «салмағы» көбейту арқылы сел қаупі бар өзен бассейнінің Агсучай көшкінге бейімділік картасы жасалды. Алынған үлгілердің сенімділігі AUC ROC (қате қисығы астындағы аудан) талдауы арқылы бағаланды, ол қолданылған әдістің жоғары – 72% тиімділігін көрсетті.

Түйін сөздер: көшкінге бейімділік, сел бассейні, геожүйе, сел қаупі, зақымдану, көшкін қаупі.

S. A. Tarikhazer^{*1}, S. G. Mammadov², Z. A. Gamidova³

^{1*} Doctor of Geographical Sciences, Associate Professor, Chief Researcher (Institute of Geography named after academician G. A. Aliyev, Baku, Azerbaijan; kerimov17@gmail.com)

² Candidate of Geographical Sciences (Azneft Production Association, SOCAR, Baku, Azerbaijan; seymurmq@gmail.com)

³ Candidate of Geographical Sciences, Associate Professor, Leading Researcher (Institute of Geography named after academician G. A. Aliyev, Baku, Azerbaijan; zernura@gmail.com)

APPLICATION OF A QUANTITATIVE METHOD IN STUDYING LANDSLIDE SUSCEPTIBILITY OF THE AGSUCHAY RIVER BASIN

Abstract. The article uses a quantitative method to analyze dangerous landslide processes occurring in the mudflow-prone Agsuchay River basin, taking into account the active development of tourism and recreational activities in the Shamakhi-Ismayilli region. In order to identify landslide susceptibility and the potential manifestation of landslides, the “weight” of 9 factors associated with landslides was determined, including hypsometry, slope angles (slope steepness), slope exposure, geological structure (lithology), distance from faults, average annual precipitation, distance to the erosion networks, distance to roads and land use. By summing up all the landslide formation factors without exception and multiplying them by their “weight”, a map of landslide susceptibility of the mudflow-prone Agsuchay River basin was compiled. The reliability of the obtained models was assessed using the AUC ROC (area under the error curve) analysis, which showed a fairly high efficiency (up to 72 %) of the applied method.

Keywords: landslide susceptibility, mudflow-prone basin, geosystem, mudflow risk, damage, landslide hazard.

Палеогеография и геоморфология

Палеогеография және геоморфология

Paleogeography and geomorphology

<https://doi.org/10.55764/2957-9856/2024-3-58-67.26>

МРНТИ 39.01.00; 39.01.94; 39.19.00
УДК 551.4.042; 551.4.02

А. Д. Абитбаева¹, А. А. Бектурсынова², Ж. М. Шарапханова³, К. Б. Егембердиева*⁴

¹ К. г. н., ведущий научный сотрудник (АО «Институт географии и водной безопасности», Алматы, Казахстан; ainagul_1982@mail.ru)

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

³ PhD студент (Казахский национальный университет им. аль-Фараби, Алматы, Казахстан; sharaphanova@gmail.com)

^{4*} К. г. н., руководитель лаборатории геотуризма и геоморфологии (АО «Институт географии и водной безопасности», Алматы, Казахстан; kamshat.yegemberdiyeva@gmail.com)

ОЦЕНКА И КАРТОГРАФИРОВАНИЕ СТЕПЕНИ ОПАСНОСТИ ГЕОЛОГО-ГЕОМОРФОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ ЧАРЫНСКОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО НАЦИОНАЛЬНОГО ПРИРОДНОГО ПАРКА

Аннотация. Целью этой статьи являются оценка и составление интегральной карты степени опасности геолого-геоморфологических процессов Чарынского государственного национального природного парка (ГНПП) для обеспечения безопасности посетителей и защиты туристской инфраструктуры. В исследовании использованы полевые методы для определения опасных геолого-геоморфологических процессов. На основе собранных данных выполнен сравнительный анализ в камеральных условиях, применён картографический метод с использованием ГИС-технологий для построения тематических карт. Оценка опасности была проведена на основе таких показателей, как вертикальная и горизонтальная расчленённость, крутизна и экспозиция склона, литологический состав пород и функциональные зоны. В результате исследования составлена карта степени опасности геолого-геоморфологических процессов для территории Чарынского ГНПП. Выявлены опасные обвально-осыпные и эрозионные процессы (боковая и овражная эрозия), представляющие угрозу для туристов и препятствующие безопасному развитию деятельности ГНПП.

Ключевые слова: геолого-геоморфологические процессы, плоскостной смыв, боковая эрозия, овражная эрозия, обвально-осыпные процессы, государственный национальный природный парк.

Введение. Чарынский ГНПП славится своими живописными ландшафтами, которые сформированы причудливыми формами рельефа, где также развиваются геолого-геоморфологические процессы. Именно эти процессы могут быть лимитирующим фактором для развития туристско-рекреационной деятельности в национальном парке. Например, интенсивное развитие боковой и овражной эрозии может разрушить природные формы рельефа, создавая опасные участки и ухудшая условия для туристов. Образование и расширение оврагов, вызванные интенсивным стоком воды, могут привести к обрушению склонов и разрушению туристских троп. Обвально-осыпные процессы могут стать серьёзной угрозой для туристских троп и инфраструктуры. В результате они блокируют дороги и тропы, создают опасные участки и приводят к значительным разрушениям. В этой связи оценка и картографирование степени опасности геолого-геоморфологических процессов являются важными исследованиями [1], которые позволяют

разработать меры по предотвращению или смягчению потенциальных угроз, таких, как укрепление склонов, создание защитных конструкций или ограничение доступа к наиболее опасным зонам. Знание о потенциальных опасностях позволяет своевременно информировать посетителей, создать предупреждающие знаки и разработать инструкции по безопасности.

Таким образом, оценка и картографирование степени опасности геолого-геоморфологических процессов Чарынского ГНПП играют ключевую роль в обеспечении безопасности туристов, устойчивом развитии туризма и охране природных ресурсов. Эти действия способствуют сохранению живописных природных ландшафтов и поддержанию комфортных условий для посетителей, а также минимизации потенциальных рисков и ущерба.

Материалы и методы исследования. Оценка степени опасности геолого-геоморфологических процессов Чарынского ГНПП проведена на основе методики, разработанной в Институте геологических наук Армении Ф. С. Геворкян и других зарубежных авторов [2–5].

В соответствии с этой методикой оценка проводится с учетом четырех основных показателей рельефа, которые определяют степень их опасности – вертикальное (глубина) расчленение рельефа, горизонтальное (густота) расчленение рельефа, уклон (крутизна склонов) и экспозиция склонов. В ходе работ эта методика была адаптирована и дополнена для территории Чарынского ГНПП двумя показателями: литологией слагающих пород, которая существенно влияет на распространение и степень развития геолого-геоморфологических процессов, а также функциональными зонами территории с соответствующими режимами использования.

В качестве исходных материалов при оценке степени опасности геолого-геоморфологических процессов Чарынского ГНПП были использованы цифровая модель рельефа (ЦМР) Airbus WorldDEM4Ortho с разрешением 24 м, топографические и геологические карты в масштабе 1:200 000. Первым этапом оценки стало разбиение территории на сетки расчетных квадратов площадью 1 км². Далее каждому квадрату присваивались от 1 до 3 баллов по каждому показателю. Расчеты проведены с использованием инструментов стандартного модуля ArcGIS 10.8 – Spatial Analyst (рисунок 1). По особенностям этих показателей была составлена оценочная таблица (см. таблицу) и карта с учетом вклада показателей в общую интегральную оценку.

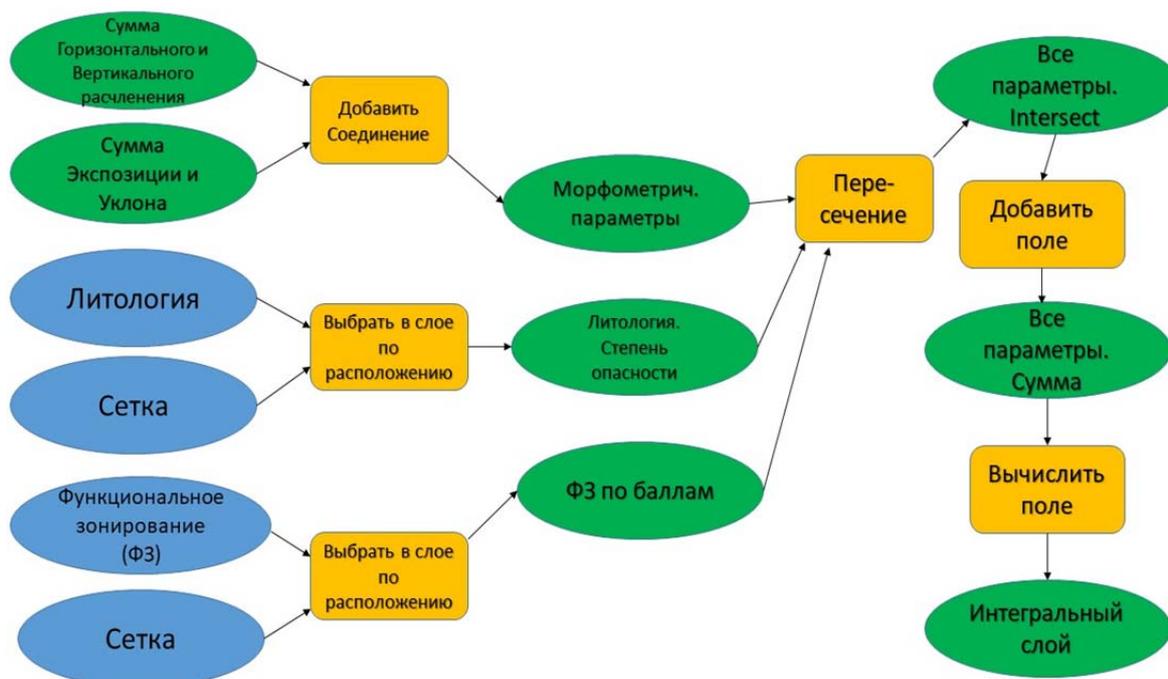


Рисунок 1 – Общая геоинформационная модель построения интегральной карты по степени опасности геолого-геоморфологических процессов Чарынского ГНПП

Figure 1 – General geoinformation model for the construction of integral map by the degree of geological and geomorphological processes' danger in the Charyn SNNP

Параметры оценки степени опасности геолого-геоморфологических процессов
Parameters of geological and geomorphological processes assessment by the degree of danger

Вертикальное расчленение рельефа		Горизонтальное расчленение рельефа		Крутизна склона (уклон)		Экспозиция склонов		Литологический состав пород		Функциональная зона	
м/км ²	баллы	км/км ²	баллы	градус	баллы	градус	баллы	породы	баллы	зоны	баллы
6,4-48,3	1	0-1,33	1	До 8	1	С, СВ, СЗ	1	Известняки, песчаники, алевролиты, конгломераты, валунно-галечники	1	Заповедного режима, экологической стабилизации	1
48,3-130,5	2	1,34-3,04	2	8-35	2	В, З	2	Глины, мергели	2	Туристской и рекреационной деятельности	2
130,5-451,6	3	3,1-7,6	3	Более 35	3	ЮЗ, ЮВ, Ю	3	Лёссы, лёссовидные супеси, суглинки, пески	3	Ограниченной хозяйственной деятельности	3

Результаты и их обсуждение. *Вертикальное расчленение рельефа.* Интенсивность вертикального расчленения позволяет охарактеризовать активность геодинамических процессов (рисунок 2). Показателем вертикального расчленения рельефа служит амплитуда колебания высот земной поверхности, т.е. относительное превышение вершин положительных форм над ближайшими отрицательными формами. Эта величина равна глубине расчленения рельефа [6, 7]. Данный показатель определялся с помощью инструмента зональной статистики (Zonal Statistics), где в пределах выделенных квадратов вычислялась разница между наименьшим и наибольшим значениями всех ячеек раstra, которые принадлежат той же зоне, что и выходная ячейка (RANGE) [8]. По результатам оценки более 71,4% (976,9 м/км²) территории Чарынского ГНПП занимает слабая степень вертикального расчленения рельефа, умеренная и сильная степень – 20,6% (281,8 м/км²) и 8% (109,9 м/км²) соответственно. Крутые склоны выделены по лево- и правобережью южной части р. Шарын, гор Торайгыр и Улькен Бугыты, что подтверждает развитие обвально-осыпных процессов.

Горизонтальное расчленение рельефа. Показателем горизонтального расчленения рельефа явился детальный анализ эрозионной сети (рисунок 3). Этот показатель получен с использованием ЦМР и алгоритмом вычислений с помощью инструментов «Гидрология» (Spatial Analyst), который проводился в следующей последовательности [9]: заполнение некорректных понижений рельефа (Fill), классификация направлений стока по румбам (Flow Direction), построение растрового слоя суммарного стока (Flow Accumulation), идентификация водотоков (Stream Link), порядка водотоков (Stream order), водоток в пространственный объект (Stream to Feature). Далее инструментами слияние (Dissolve), пересечение (Intersect) и пространственное соединение (Join Features) устанавливалась протяженность эрозионной сети в пределах выделенных квадратов. По результатам оценки более 45,8% территории Чарынского ГНПП занимает умеренная степень горизонтального расчленения рельефа, слабая и сильная степень – 26,4 и 27,8% соответственно. Полученные результаты показывают, что эрозионная сеть на территории ГНПП распределена равномерно. Это свидетельствует о наличии плоскостного смыва по всей территории парка.

Крутизна склона (уклон). Далее уклон поверхности рассчитывался инструментом уклон (Slope) группы инструментов «Поверхность» (Surface) (рисунок 4). Для каждой ячейки инструмент уклон вычисляет максимальную степень изменения в значении z между конкретной ячейкой и соседними с ней ячейками [10]. Расчет диапазона уклона аналогичен расчету диапазона значений вертикального расчленения. Диапазоны значений уклона были сгруппированы в 3 группы: до 8° – очень пологие и пологие; 8°-35° – средней крутизны и крутые; более 35° – очень крутые [11].

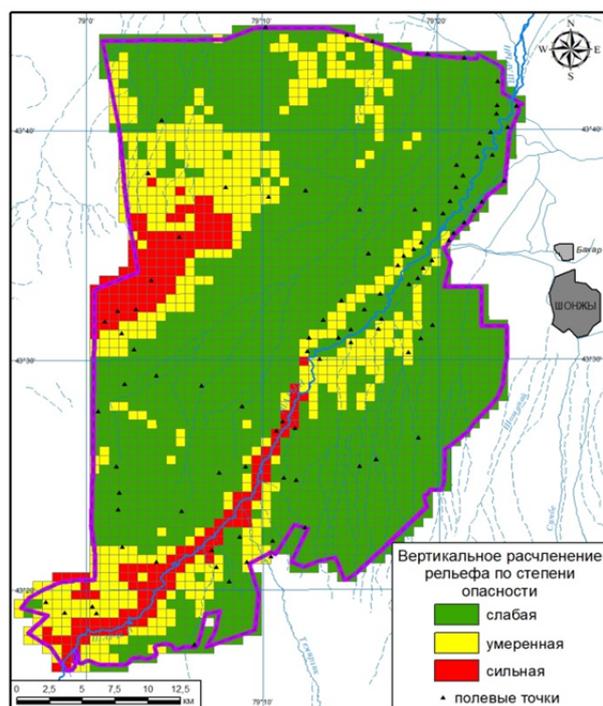


Рисунок 2 – Вертикальное расчленение рельефа

Figure 2 – Vertical dissection of the relief

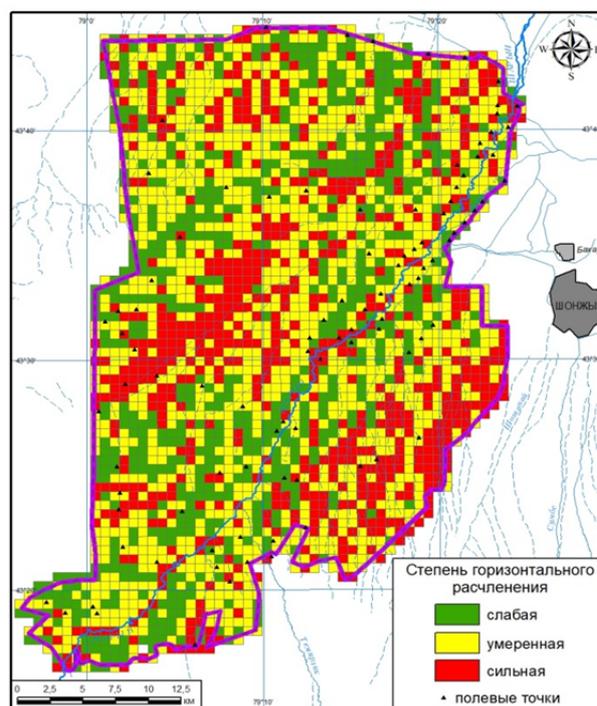


Рисунок 3 – Горизонтальное расчленение рельефа

Figure 3 – Horizontal dissection of the relief

Характер и интенсивность склоновых процессов находятся в большой зависимости от крутизны склонов. На территории Чарынского ГНПП наибольшие показатели уклонов поверхности (более 35° составляет 12,2% площади ГНПП) подвержены сильной степени опасности и характерны для гор Улькен Бугыты и Торайгыр, а также для высоких пойм каньона р. Шарын до выхода ее на равнину. Территории со средними показателями уклонов ($8-35^\circ$ – 43% территории) расположены на денудационно-наклонном пенеппене на увалистых и грядовых холмах к юго-западу от горы Торайгыр, на аккумулятивно-эрозионных холмах овражного размыва выше междуречья рек Шарын и Темирлик. Также территории со средними показателями уклонов приурочены к эрозионным холмам (бедленд) южнее урочища Сарытогай, к долинно-увалистым холмам севернее гор Улькен Бугыты. Большую часть территории Чарынского ГНПП занимают районы с низкими значениями уклонов (до 8° – 44,8 % территории ГНПП).

Экспозиция склонов рассчитывалась с помощью инструмента экспозиция (Aspect), который извлекает экспозицию склонов из растровой поверхности (рисунок 5). Инструмент определяет направление уклона максимальной скорости изменения значений от каждой ячейки до соседних с ней ячеек [12]. Каждой экспозиции дали соответствующий балл, где в основе лежит неравномерное распределение солнечной энергии на различных склонах. Соответственно на карте экспозиции склонов Чарынского ГНПП слабую степень получили северные, северо-восточные и северо-западные направления, которые занимают 44,3% территории ГНПП, сильная степень занимает юго-восточные, южные и юго-западные экспозиции склонов с небольшим 14,6% соотношением, восточные и западные экспозиции склонов занимают остальные 41,1% территории ГНПП с умеренной степенью.

Литологический состав пород. Оценка литологического состава пород и далее классификация были проведены по степени размываемости (рисунок 6). К сильной степени размываемости пород относятся рыхлые несцементированные обломочные породы – лёссы, лёссовидные супеси и суглинки, а также пески (см. таблицу). К территориям, сложенным этими породами, принадлежат долинно-увалистые холмы и пролювиально-наклонные равнины вокруг гор Улькен Бугыты, поймы и первые надпойменные террасы р. Шарын (начиная с урочища Сарытогай до северо-восточной части ГНПП), а также юго-восточная часть национального парка. Территории с сильной степенью проявления занимают $429,7 \text{ км}^2$, или 31,4% от общей площади парка ($1368,6 \text{ км}^2$).

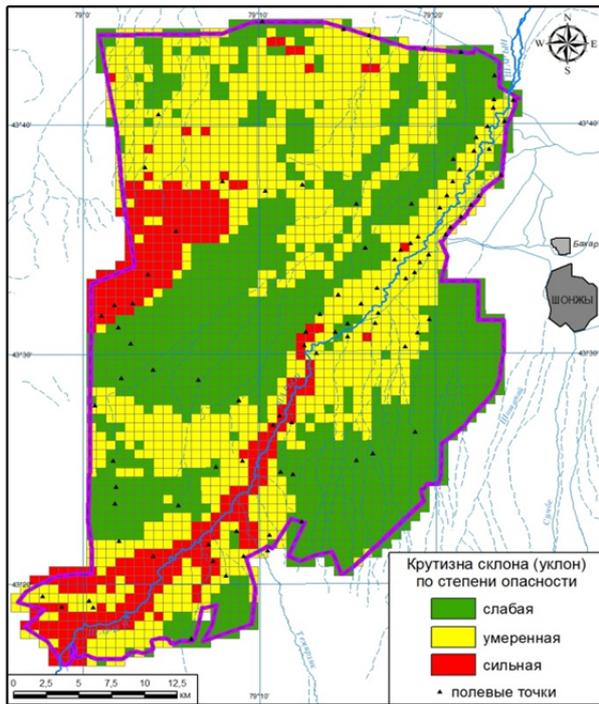


Рисунок 4 – Кривизна склона (уклон)
Figure 4 – Curvature (Slope)

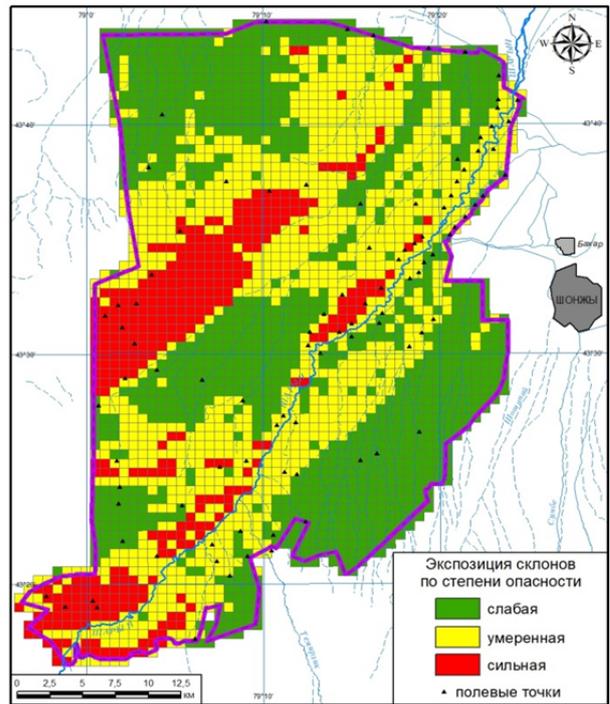


Рисунок 5 – Экспозиция склонов
Figure 5 – Aspect of slopes

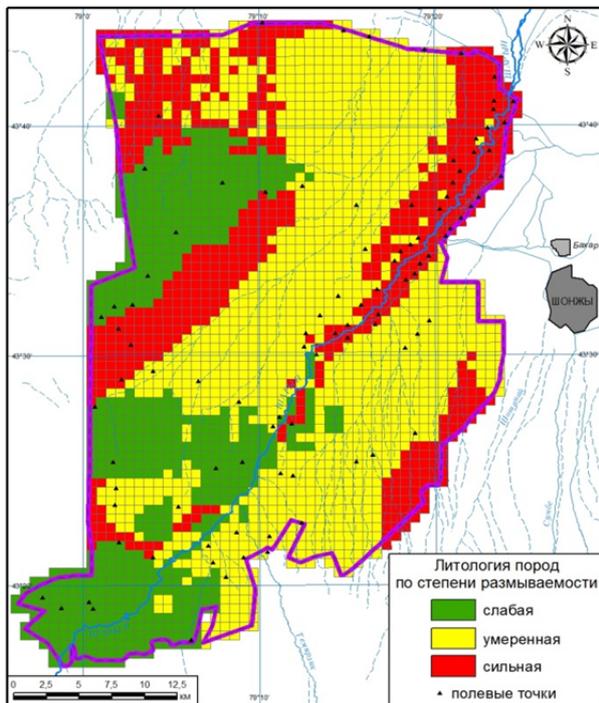


Рисунок 6 – Литология пород
Figure 6 – Lithology

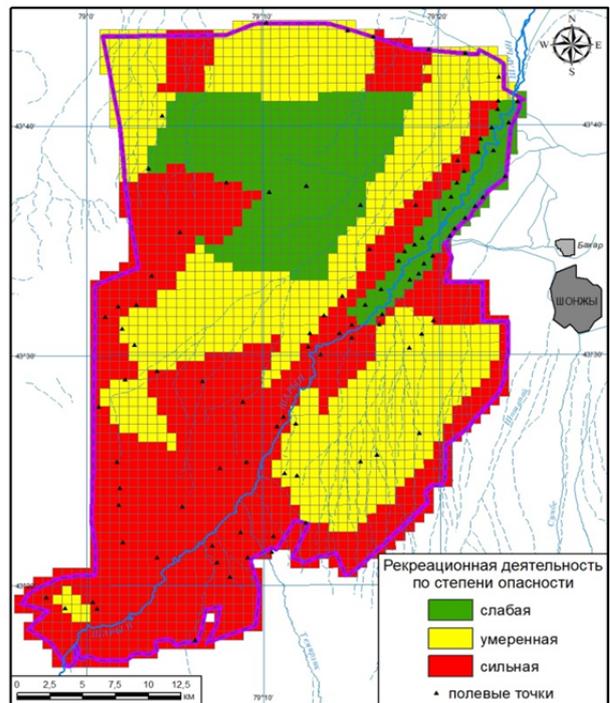


Рисунок 7 – Функциональные зоны
Figure 7 – Functional zones

К умеренной степени размываемости относятся сцементированные осадочные породы – глины, мергели. Они имеют более плотный состав, соответственно более устойчивые к эрозионным и обвально-осыпным процессам. Районы с умеренной степенью размываемости пород занимают значительную часть рассматриваемой территории, простираясь с севера до юго-восточной части национального парка. Они расположены на долинно-увалистых холмах на правобережье и левобережье р. Шарын, а также на вторых надпойменных террасах и эрозионных холмах «бедленд» (на правобережье). Территории с умеренной степенью проявления охватывают 603,6 км², или 44,1% от общей площади парка. К слабой степени относятся твердые сцементированные породы (скальные и полускальные): известняки, песчаники, конгломераты, валунно-галечниковые отложения (см. таблицу). К территориям со слабой степенью размываемости принадлежат горы Торайгыр и Улькен Бугыты, увалисто-грядовые холмы между ними, а также юго-западная часть национального парка. Они занимают 335,3 км², или 24,5% территории.

Методом экспертной оценки для каждой *функциональной зоны* территории Чарынского ГНПП были присвоены баллы с учетом их режима охраны и антропогенной нагрузки на них (рисунок 7). Зону заповедного режима (режим охраны заповедный) и экологической стабилизации определили как слабую степень опасности (режим охраны заповедный с отдельными допущениями по научной деятельности и рекреации). Зона туристкой и рекреационной деятельности отнесена к умеренной степени. В данной зоне установлен заказной режим охраны, обеспечивающий сохранение природных комплексов и объектов природно-заповедного фонда, также допускается регулируемое туристское и рекреационное использование (кроме охоты) с учетом научно обоснованных норм использования территории в рекреационных целях. Зону ограниченной хозяйственной деятельности (режим охраны регулируемый) отнесли к сильной степени опасности.

Здесь одновременно с охранными, защитными и восстановительными мероприятиями предусматривается хозяйственная деятельность с регулируемым режимом охраны. В пределах зоны ведется хозяйственная деятельность [13]. Все действующие туристские маршруты находятся в данной зоне, которая относится к сильной степени опасности.

Заключение. В результате выполненных расчетов были получены карты вертикального и горизонтального расчленения рельефа, крутизны и экспозиции склона, размываемости пород и карта функциональных зон по степени опасности. Далее с помощью инструмента «Добавить соединение» слои 6 показателей объединены по общему полю «ID» и полученные суммы были ранжированы путем группировки схожих значений в 3 степени опасности процессов: 7-10 баллов – низкая, 11-12 баллов – средняя и 13-17 баллов – высокая (рисунок 8).

В результате анализа интегральной карты высокогорные участки вдоль лево- и правобережья верхнего течения р. Шарын, где простираются горы Торайгыр, Катугу, ниже охвачен участок урочищ Мойынтогай, Таскора и участок гор Улькен Бугыты – территории с сильной степенью расчлененности, с твердыми скальными и полускальными породами и крутизной склонов более 35° относятся к сильной степени опасности процессов. Здесь расположен наиболее посещаемый туристами маршрут – Долина замков. Данная территория может представлять опасность в виде проявления обвально-осыпных процессов, овражной и боковой эрозии. На территориях умеренной и слабой степени опасности процессов преобладают процессы плоскостного смыва, местами процессы овражной эрозии.

На территории Чарынского ГНПП современный рельеф со всем разнообразием слагающих его форм является отражением геолого-геоморфологических процессов, происходивших в альпийскую эпоху. В ходе полевых исследований было подтверждено, что обвально-осыпные процессы, овражная и боковая эрозия встречаются реже, чем процессы плоскостного смыва, которые распространены повсеместно.

Плоскостной смыв. Крутизна (уклон) склона является одной из главных характеристик смыва, так как определяет скорость стекания поверхностных вод, следовательно, и их эродирующую силу [14]. На исследуемой территории плоскостной смыв проявляется в виде удаления материала верхнего слоя почвы или продуктов выветривания горных пород дождевыми или тальными водами, стекающими по склону сплошным слоем или мелкими струями. На обнаженных склонах гор Улькен Бугыты нередко встречаются мелкоструйчатые формы размыва, параллельные борозды глубиной 5-10 см. В связи с небольшим количеством осадков плоскостной смыв представляет умеренную и слабую степень опасности. При увеличении объема и продолжительности осадков

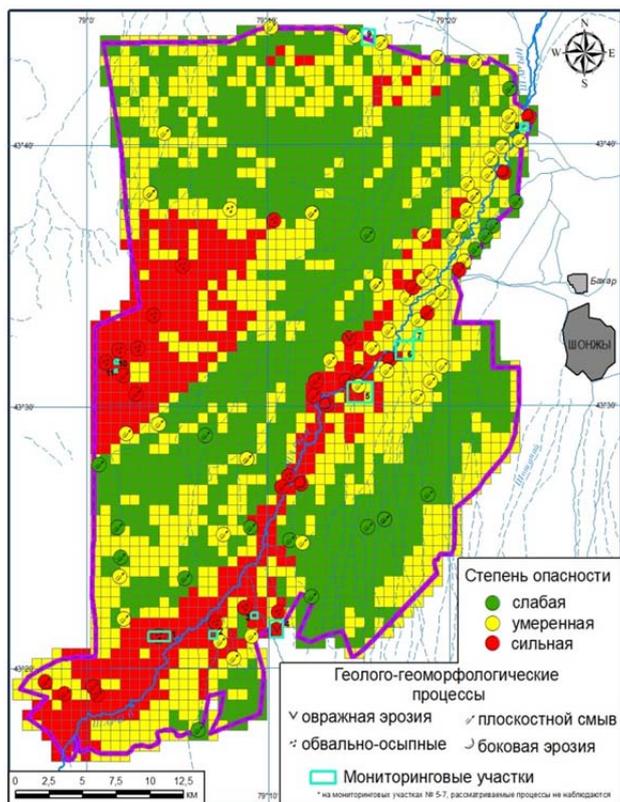


Рисунок 8 –
Интегральная оценка
по степени опасности
процессов
Figure 8 –
Integral assessment
of processes
by degree of danger

активизация процесса плоскостного смыва на территории Чарынського ГНПП может привести к изменению морфологических и морфометрических характеристик склонов, деградации почвенного покрова, а также заилению рек продуктами смыва.

Боковая эрозия активно развивается меандрированием русла р. Шарын, тем самым усиливая русловую и боковую эрозию в пойме реки. В северной части Ясеновой рощи наблюдается боковая эрозия (мониторинговый участок 8, рисунок 9). Русловая и боковая эрозия разрушают пойму реки и имеют сильную степень опасности.

Овражная эрозия. На аккумулятивно-эрозионных низких холмах на обоих берегах р. Шарын распространены процессы овражного размыва. Здесь характерны врезы логов до 10-15 м с выпуклыми и задернованными склонами крутизной в 5-10°. Согласно карте уклонов склоны крутизной менее 8° наименее подвержены эрозии, а при крутизне более 8° наблюдается значительное развитие эрозионных процессов. Ниже по течению лога переходят в овраги, врезанные на 30-40 м, склоны становятся крутыми (25-30°) и формируется рельеф овражного размыва. Овраги левобережья, прямолинейно вытянутые на 3-4 км и в устье переросшие в каньон, вполне могут соответствовать тектоническим нарушениям. Овраги правого берега имеют длину не более 1 км, но громадный объем выносимого ими материала существенно влияет на меандрирование русла р. Шарын. На правом борту р. Темирлик наблюдается развитие овражных процессов (мониторинговый участок 4, рисунок 10). Овраги глубокие, вершины близко подступают к полевой дороге, имеют водобойные колодцы глубиной более 10 м. Глубина оврагов по склонам достигает 20-30 м и имеют сильную степень опасности.

Обвально-осыпные процессы распространены преимущественно в горной части Чарынського ГНПП, что обусловлено сочетанием орографических и климатических условий. *Обвалы* наблюдаются на береговых склонах рек, где происходит нарушение гравитационной устойчивости блоков вследствие подмыва или абразии. В долине р. Шарын обвалы встречаются повсеместно на самом популярном туристском маршруте «Долине замков» на склоне гор Торайгыр и в каньоне р. Бестамак (мониторинговые участки 1-2), а также в каньоне р. Темирлик (на мониторинговых участках 3-4, рисунок 11). Движение обломков происходит при крутизне поверхности более 20-25°. Довольно серьезную угрозу могут нести камнепады. *Осыпи* приурочены к крутым склонам (20-30°) речных долин временных и постоянных водотоков, низкогорных массивов рассматри-

ваемой территории. По Чарынскому каньону, на участках выходов скальных пород, развиваются осыпи, которые представляют собой скопление обломков выветренных пород. Они особенно интенсивно развиваются весной и осенью. В горах Торайгыр, в каньонах рек Бестамак и Темирлик (мониторинговые участки 1-4), а также на восточном склоне гор Улькен Бугыты (мониторинговые участки 10-11, рисунок 12) развиты обвально-осыпные процессы, создающие определённые трудности и угрозу для посетителей парка. Осыпи сложены обломками от 5 до 40 см, отделенные эрозионно-тектоническими уступами высотой 40-70 м. Обвально-осыпные процессы имеют сильную степень опасности на территории Чарынского ГНПП.



Рисунок 9 – Определение точных координат развития русловой и боковой эрозии русла р. Шарын на мониторинговом участке № 8

Figure 9 – Determination of the exact coordinates of the channel and lateral erosion development on Sharyn river at the monitoring site No. 8



Рисунок 10 – Обследование оврагов на склоне р. Темирлик на мониторинговом участке № 4

Figure 10 – Survey of gully on the Temirlık River slope at monitoring site No. 4



Рисунок 11 – Обвальные процессы, каньон «Долина замков» на мониторинговом участке №1-2

Figure 11 – Landslide processes, the «Valley of Castles» canyon at monitoring site No. 1-2

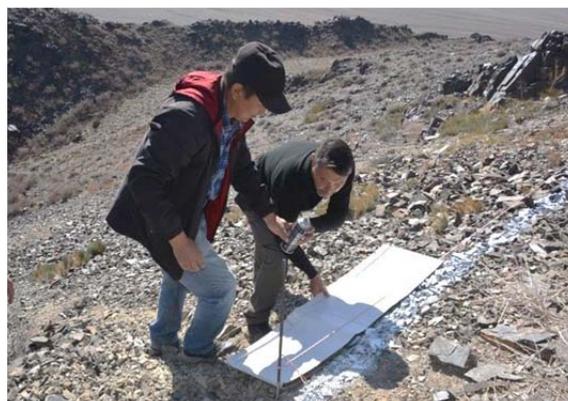


Рисунок 12 – Горы Улькен Бугыты. Мониторинг осыпных процессов, участок №10-11

Figure 12 – Ulken Bugyty Mountains. Monitoring of landslide processes, monitoring sites No. 10-11

Таким образом, представляющие опасность геолого-геоморфологические процессы для любых видов природопользования, а также угрозу для туристов препятствуют дальнейшему безопасному развитию деятельности ГНПП. Приведенная методика оценки по степени опасности геолого-геоморфологических процессов в последующем может служить основой для выделения территорий, безопасных для туристско-рекреационной деятельности.

Финансирование. В статье использованы результаты исследований, полученные в рамках проекта №AP05131504 «Инструментально-методическая оценка опасных природных явлений и процессов Чарынского государственного национального природного парка».

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Al-Hemoud A., Al-Enezi A., Al-Dashti H. et al. Hazard Assessment and Hazard Mapping for Kuwait // *International Journal of Disaster Risk Science*. – 2023. – No. 4. – P. 143-161. <https://doi.org/10.1007/s13753-023-00473-2>.
- [2] Геворкян Ф. С. О комплексных геоморфологических показателях для характеристики эрозийного расчленения // *Геоморфология*. – 1972. – № 3. – С. 44-48.
- [3] Padala Raja Shekar, Aneesh Mathew. Morphometric analysis of watersheds: A comprehensive review of data sources, quality, and geospatial techniques // *Watershed Ecology and the Environment*. – 2024. – No. 6. – P. 13-25. <https://doi.org/10.1016/j.wsee.2023.12.001>.
- [4] Md. Ashikur Rahman Joy, Sharfan Upaul, Kaniz Fatema, F. M. Rezvi Amin. Application of GIS and remote sensing in morphometric analysis of river basin at the south-western part of great Ganges delta, Bangladesh // *Hydrology Research*. – 2023. – P. 739-755. <https://doi.org/10.2166/nh.2023.087>.
- [5] Syed Ahmad Ali, Nazia Khan. Evaluation of Morphometric Parameters – A Remote Sensing and GIS Based Approach // *Open Journal of Modern Hydrology*. – 2013. – Vol. 3, No. 1. – P. 20-27. <https://doi.org/10.4236/ojmh.2013.31004>.
- [6] Позаченюк Е. А., Петлюкова Е. А. ГИС-анализ морфометрических показателей рельефа центрального предгорья главной гряды Крымских гор для целей ландшафтного планирования // *Ученые записки Крымского федерального университета им. В. И. Вернадского. География. Геология*. – 2016. – № 2. – С. 95-111.
- [7] Спиридонов А. И. Основы общей методики полевых геоморфологических исследований и геоморфологического картографирования. – М.: Высшая школа, 1970. – 456 с.
- [8] Егембердиева К. Б. Оценка туристского потенциала рельефа в целях устойчивого развития туризма на примере Щучинско-Боровской курортной зоны // *Вопросы географии и геоэкологии*. – 2021. – № 3. – С. 52-58.
- [9] Михайлов В. А. Комплексный морфометрический анализ Тарханкутского полуострова с помощью ГИС // *Современные научные исследования и инновации*. – 2015. – № 2-4 (46). – С. 5-13.
- [10] Уклон [Электрон. ресурс]. – URL:<https://desktop.arcgis.com/ru/arcmap/10.4/tools/spatial-analyst-toolbox/slope.htm> (дата обращения: 10.04.2024).
- [11] Леонтьев О. К., Рычагов Г. И. Общая геоморфология. – М.: Высшая школа, 1988. – 319 с.
- [12] Экспозиция [Электрон. ресурс]. – URL:<https://desktop.arcgis.com/ru/arcmap/10.4/tools/spatial-analyst-toolbox/aspect.htm> (дата обращения: 16.07.2024).
- [13] Керімбай Н. Н., Керимбай Б. С., Мазаржанова К. М., Ахметов Е. М., Нысанбаева Г. Н. Современное состояние рекреационного потенциала природной среды Шарынского ГНПП. – Алматы: ТОО «Тау Кайнар», 2019. – 204 с.
- [14] Сурмач Г. П. Водная эрозия и борьба с ней. – Л.: Гидрометеоздат, 1976. – 254 с.

REFERENCES

- [1] Al-Hemoud A., Al-Enezi A., Al-Dashti H. et al. Hazard Assessment and Hazard Mapping for Kuwait // *International Journal of Disaster Risk Science*. 2023. No. 4. P. 143-161. <https://doi.org/10.1007/s13753-023-00473-2>.
- [2] Gevorgyan F. S. On complex morphometric indicators for the characterization of erosive dissection in mountainous areas (on the example of the Lake basin. Sevan in the Armenian SSR) // *Geomorphology*. 1972. No. 3. P. 44-48 (in Russ.).
- [3] Padala Raja Shekar, Aneesh Mathew. Morphometric analysis of watersheds: A comprehensive review of data sources, quality, and geospatial techniques // *Watershed Ecology and the Environment*. 2024. No. 6. P. 13-25. <https://doi.org/10.1016/j.wsee.2023.12.001>.
- [4] Md. Ashikur Rahman Joy, Sharfan Upaul, Kaniz Fatema, F. M. Rezvi Amin. Application of GIS and remote sensing in morphometric analysis of river basin at the south-western part of great Ganges delta, Bangladesh // *Hydrology Research*. 2023. P. 739-755. <https://doi.org/10.2166/nh.2023.087>.
- [5] Syed Ahmad Ali, Nazia Khan. Evaluation of Morphometric Parameters – A Remote Sensing and GIS Based Approach // *Open Journal of Modern Hydrology*. 2013. Vol. 3, No. 1. P. 20-27. <https://doi.org/10.4236/ojmh.2013.31004>.
- [6] Pozachenyuk E. A., Petukhova E. A. GIS-analysis of morphometric relief indicators of the central foothills of the Main ridge of the Crimean Mountains for the purposes of landscape planning // *Scientific notes of the V. I. Vernadsky Crimean Federal University. Geography. Geology*. 2016. No.2. P. 95-111 (in Russ.).
- [7] Spiridonov A. I. Fundamentals of the general methodology of field geomorphological research and geomorphological mapping. M.: Higher School, 1970. 456 p. (in Russ.).
- [8] Yegemberdiyeva K. B. Assessment of the tourist potential of the relief for the purposes of sustainable tourism development using the example of the Shchuchinsk-Borovskaya resort area // *Issues of geography and geoecology*. 2021. No. 3. P. 52-58. (in Russ.).
- [9] Mikhailov V. A. Complex morphometric analysis of the Tarkhankut peninsula using GIS // *Modern scientific research and innovations*. 2015. No. 2-4 (46). P. 5-13 (in Russ.).
- [10] Slope [Electronic resource]. – URL:<https://desktop.arcgis.com/ru/arcmap/10.4/tools/spatial-analyst-toolbox/slope.htm> (date of access: 10/04/2024).
- [11] Leontyev O. K., Rychagov G. I. General geomorphology. M.: Higher School, 1988. 319 p. (in Russ.).
- [12] Aspect [Electronic resource]. – URL:<https://desktop.arcgis.com/ru/arcmap/10.4/tools/spatial-analyst-toolbox/aspect.htm> (date of access: 16/07/2024).

[13] Kerimbay N. N., Kerimbay B. S., Mazarzhanova K. M., Akhmetov E. M., Nysanbaeva G. N. The current state of the recreational potential of the natural environment of the Sharyn State Nature Reserve. Almaty: Tau Kainar LLP, 2019. 204 p. (in Russ.).

[14] Surmach G. P. Water erosion and its control. L.: Hydrometeoizdat, 1976. 254 p. (in Russ.).

А. Д. Абитбаева¹, А. А. Бектұрсынова², Ж. М. Шарапханова³, К. Б. Егембердиева^{*4}

¹ Г. ғ. к., жетекші ғылыми қызметкер («География және су қауіпсіздігі институты» АҚ, Алматы, Қазақстан; *ainagul_1982@mail.ru*)

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

³ PhD студент (әл-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университеті, Алматы, Қазақстан; *sharaphanova@gmail.com*)

^{4*} Г. ғ. к., геотуризм және геоморфология зертханасының жетекшісі («География және су қауіпсіздігі институты» АҚ, Алматы, Қазақстан; *kamshat.yegemberdiyeva@gmail.com*)

ШАРЫН МЕМЛЕКЕТТІК ҰЛТТЫҚ ТАБИҒИ ПАРКІНДЕГІ ГЕОЛОГИЯЛЫҚ-ГЕОМОРФОЛОГИЯЛЫҚ ПРОЦЕСТЕРДІҢ ҚАУІПТІЛІК ДӘРЕЖЕСІН БАҒАЛАУ ЖӘНЕ КАРТОГРАФИЯЛАУ

Аннотация. Мақаланың мақсаты келушілердің қауіпсіздігін қамтамасыз ету және туристік инфрақұрылымды қорғау үшін Шарын мемлекеттік ұлттық табиғи паркіндегі (МҰТП) геологиялық-геоморфологиялық процестердің қауіптілік дәрежесін бағалау және интегралдық картасын жасау болып табылады. Зерттеуде қауіпті геологиялық-геоморфологиялық процестерді анықтау үшін далалық зерттеу әдістері қолданылды. Камералдық жағдайда жиналған мәліметтерге салыстырмалы талдау жасалып, тақырыптық карталарды құру үшін ГАЖ технологияларын пайдалана отырып картографиялық әдіс қолданылды. Қауіптілік дәрежесін бағалау бедердің тік және көлденең тілімденуі, беткейдің құлдығы және экспозициясы, тау жыныстарының литологиялық құрамы және функционалды аймақтар сияқты көрсеткіштер негізінде жүргізілді. Зерттеу нәтижесінде Шарын МҰТП аумағы үшін геологиялық-геоморфологиялық процестердің қауіптілік дәрежесінің картасы жасалды. Туристерге қауіп төндіретін және МҰТП қызметінің қауіпсіз дамуына кедергі келтіретін қауіпті опырылымдық-қорымдық және эрозиялық процестер (бүйірлік және жыралық эрозия) анықталды.

Түйін сөздер: геологиялық-геоморфологиялық процестер, жазықтық шайылу, бүйірлік эрозия, жыралық эрозия, опырылымдық-қорымдық процестер, мемлекеттік ұлттық табиғи парк.

A. D. Abitbayeva¹, A. A. Bektursynova², Zh. M. Sharapkhanova³, K. B. Yegemberdiyeva^{*4}

¹ Candidate of Geographical Sciences, Leading Researcher (Institute of Geography and Water Security JSC, Almaty, Kazakhstan; *ainagul_1982@mail.ru*)

² Scientific researcher (Institute of Geography and Water Security JSC, Almaty, Kazakhstan; *aruzhan.bekkuliyeva@mail.ru*)

³ PhD Student (Al-Farabi Kazakh National University, Almaty, Kazakhstan; *sharaphanova@gmail.com*)

^{4*} Candidate of Geographical Sciences, Head of the Department of Geotourism and Geomorphology (Institute of Geography and Water Security JSC, Almaty, Kazakhstan; *kamshat.yegemberdiyeva@gmail.com*)

ASSESSMENT AND MAPPING OF THE DANGEROUS GEOLOGICAL AND GEOMORPHOLOGICAL PROCESSES OF THE CHARYN SNNP

Abstract. The purpose of this article is to assess and compile an integrated map of the danger degree of geological and geomorphological processes in the Charyn State National Nature Park (SNNP) to ensure visitors' safety and protect tourism infrastructure. The study used field methods to determine dangerous geological and geomorphological processes. Based on the collected data, a comparative analysis was performed in office conditions, and a cartographic method was applied using GIS technologies to create thematic maps. The danger assessment was carried out based on vertical and horizontal dissection, slope steepness and exposure, lithological composition of rocks and functional zones. As a result of the study, a map of the danger degree of geological and geomorphological processes for the territory of the Charyn SNNP was compiled. Dangerous landslide-talus and erosion processes (lateral and gully erosion) were identified, posing a threat to tourists and hindering the safe development of the SNNP activities.

Keywords: geological and geomorphological processes, sheet erosion, lateral erosion, gully erosion, landslide-talus processes, state national natural park.

Гляциология и геокриология

Гляциология және геокриология

Glaciology and geocryology

<https://doi.org/10.55764/2957-9856/2024-3-68-83.27>

МРНТИ 37.29.35
УДК 551.324

М. Е. Татькова*¹, И. В. Северский², З. С. Усманова³, В. П. Капица⁴

^{1*} Младший научный сотрудник, докторант

(Центрально-Азиатский региональный гляциологический центр категории 2 под эгидой ЮНЕСКО, Казахский национальный университет им. аль-Фараби, Алматы, Казахстан; tatkova_m@mail.ru)

² Академик НАН РК, доктор географических наук, профессор; научный руководитель (Центрально-Азиатский региональный гляциологический центр категории 2 под эгидой ЮНЕСКО, Алматы, Казахстан; iseverskiy@gmail.com)

³ Научный сотрудник (Центрально-Азиатский региональный гляциологический центр категории 2 под эгидой ЮНЕСКО, Алматы, Казахстан; zamira_usmanova@mail.ru)

⁴ Старший научный сотрудник (Центрально-Азиатский региональный гляциологический центр категории 2 под эгидой ЮНЕСКО, Алматы, Казахстан; vasil.geo@mail.ru)

ТЕСТИРОВАНИЕ ВОЗМОЖНОСТЕЙ МЕТОДИКИ ОПЕРАТИВНОГО МОНИТОРИНГА ГОРНО-ЛЕДНИКОВЫХ СИСТЕМ

Аннотация. Рассмотрены возможности оценки площади оледенения Северо-Илейской и Илейско-Кунгейской ледниковых систем по данным мониторинга ограниченной по количеству выборки тестовых ледников. В ходе тестирования в каждой из упомянутых ледниковых систем по данным о площади двух выборок по 10 ледникам, общей их выборки (20 ледников) и их доле в суммарной площади ледников каждого из названных районов оледенения рассчитана площадь ледников соответствующей ледниковой системы. Согласно результатам тестирования коэффициенты корреляции расчетных и фактических (по результатам каталогизации ледников) значений площади оледенения по трем выборкам ледников составили 0,99, 0,98 и 0,99 для Северо-Илейской ледниковой системы и 0,99, 0,97, 0,99 для Илейско-Кунгейской. Результаты тестирования не оставляют сомнений в возможности оперативного мониторинга динамики площади оледенения горно-ледниковых систем по данным о площади, ограниченной по количеству выборки ледников соответствующей ледниковой системы с погрешностью не более $\pm 5\%$. По результатам тестирования в 88% случаев расчетные значения площади оледенения рассматриваемых ледниковых систем были менее 5% относительно фактических и лишь в 4 случаях из 33 (12%) превысили этот порог при среднем значении отклонений расчетных данных от фактических менее 2% и наибольших ошибках расчета 7,8 и -9,6%. Это свидетельствует о высокой эффективности методики оперативного мониторинга горно-ледниковых систем. Она позволяет оперативно (повторяемостью от 1 раза в несколько лет до ежегодной) оценить потери многолетнего льда исследуемой ледниковой системы и вклад талых ледниковых вод в формирование речного стока, что, в свою очередь, является хорошей основой для моделирования современных и прогнозных изменений.

Ключевые слова: Иле Алатау, Кунгей Алатау, ледниковая система, площадь ледников, мониторинг ледников.

Введение. Информация о современных и прогнозных изменениях оледенения и речного стока имеет решающее значение для водной, экологической и продовольственной безопасности стран Центральной Азии, где дефицит водных ресурсов является одним из наиболее значимых факторов, сдерживающих экономическое развитие, особенно в странах нижнего течения главных рек региона – в Узбекистане, Казахстане и Туркменистане [1-4].

В условиях продолжающегося потепления климата сокращение ледниковой составляющей в речном стоке потенциально может существенно изменить режим стока с гляциально-нивального на нивально-плювиальный [3, 5]. Это может значительно осложнить возможности развития отраслей водного сектора экономики стран региона с обострением проблем продовольственной, энергетической и экологической безопасности. Согласно прогнозным оценкам, основанным на данных последовательной серии идентичных по содержанию каталогов ледников, при сохранении современных тенденций деградации оледенения подавляющая часть ледников внешних хребтов Северного и Западного Тянь-Шаня, Алтая и Жетысу (Джунгарского) Алатау может исчезнуть уже к концу текущего столетия [6-9]. Логично полагать, что исчезновение ледников коренным образом изменит межсезонное распределение стока со сдвигом максимума с июля-августа на апрель-май и может значительно ограничить возможности орошаемого земледелия со всеми последствиями для водной, продовольственной, энергетической и экологической безопасности стран региона [4, 10-12].

Ледники по всему миру продолжают отступать. Согласно результатам мониторинга за 2019/20 и 2020/21, а также предварительным наблюдениям за 2021/22 гидрологические годы среднегодовой баланс массы ледника Туйыксу составил $-0,97$ м водного эквивалента (в. э.) в год. Это на 17% больше, чем среднегодовой баланс массы за первые два десятилетия XXI века. В горах Центральной Азии среднерегionalные балансы массы в 2019/20 и 2020/21 годы составили -119 и -629 мм в.э. соответственно [13].

Как и в других горных районах мира, ледники Тянь-Шаня сокращались с середины XIX в. – с окончания Малого Ледникового периода. Процесс деградации ледников существенно ускорился в начале 1970-х годов [3, 4, 13-18].

Согласно оценкам, в начале периода интенсивной деградации ледников (в Иле Алатау особенно с 1973 по 1978 гг.) ледниковый сток увеличился, но в последующем сокращался пропорционально уменьшению площади открытой части ледников [3, 16].

В последние полвека площадь ледников внешних хребтов Северного и Западного Тянь-Шаня, Алтая и Жетысу Алатау сокращалась с интенсивностью от 0,73 до 0,8% в год по площади и около 1% в год по объему льда [7, 19]. Столь тревожная перспектива предопределяет необходимость непрерывного мониторинга состояния горно-ледниковых систем с оценкой современных и вероятных в перспективе изменений и их проявлений в режиме речного стока и региональных водных ресурсах. Целям такого мониторинга на глобальном уровне служат наблюдения динамики баланса массы контрольных ледников Мировой службы мониторинга ледников (WGMS-Швейцария).

В настоящее время наблюдения за балансом массы на многочисленных ледниках, расположенных в разных горных районах мира, используются для оценки отклика оледенения на изменения климата, оценки общей потери массы ледников и их вклада в глобальное повышение уровня моря. Однако пространственную репрезентативность рядов, используемых в этих исследованиях, трудно оценить, поскольку данные мониторинга баланса массы доступны только для 440 ледников из более чем 200 000 по всему миру [13, 20-21]. Годовые изменения баланса массы эталонных ледников отражают региональные тенденции изменений, однако использование данных по балансу массы эталонных ледников сети мониторинга WGMS может привести к переоценке либо недооценке потерь площади/массы горно-ледниковых систем из-за влияния локальных факторов, контролирующих отклик ледников на изменения климата. Все это приводит к возникновению высокой неопределенности в оценках потерь ледниковых ресурсов и их проявлений в стоке рек с ледниковым питанием и уровне моря [22-24].

В последние десятилетия возможности мониторинга ледников значительно увеличились за счет достижений в области дистанционного зондирования Земли, методов обработки космических снимков и доступности данных мониторинга, что позволило улучшить понимание отклика ледников на современные и вероятные в будущем изменения климата, однако эти сведения разнородны и неполны [23, 25-30].

На базе данных мониторинга баланса массы эталонных ледников глобальной сети WGMS предпринимаются попытки «регионализации» – экстраполяции результатов наблюдений на эталонных ледниках на конкретные ледниковые регионы [24, 28, 31-33].

В целях мониторинга динамики ледников в региональном масштабе применяются методы классификации ледников на основе автоматизации обработки космических снимков с использованием оптических и радарных данных и цифровых моделей рельефа в высоких временных и пространственных масштабах разрешения [34, 35, например], однако эти методы имеют свои достоинства и ограничения.

В данной работе предпринята попытка преодолеть упомянутые неопределенности, опираясь на возможности методики оперативного мониторинга горно-ледниковых систем [36]. Рассмотрены возможности оценки состояния оледенения целостных ледниковых систем по данным мониторинга оледенения частных бассейнов на примере Северо-Илейской (ледники северного склона Иле Алатау) и Илейско-Кунгейской (ледники бассейна р. Шелек) ледниковых систем.

Во избежание разночтений определимся с используемыми в статье терминами. Под ледниковой системой мы понимаем территориально общую совокупность ледников с едиными условиями существования и реакции на изменения климата. Например, Северо-Илейская ледниковая система объединяет всю совокупность ледников бассейнов рек северного склона Иле Алатау – от Узын Каргалы на западе хребта до его западной границы распространения ледников, включая бассейн р. Турген. Под частным бассейном понимаем территорию отдельного водосборного бассейна, ледники которого составляют неотъемлемую часть соответствующей ледниковой системы. В нашем примере частным является любой из 11 горно-ледниковых бассейнов упомянутого междуречья.

Район исследования. Горный хребет Иле Алатау – одна из крайних северных дуг Тянь-Шаня шириной 40-60 км – вытянут на расстояние около 280 км с запада на восток вдоль широты 43° с. ш. в пределах 75-78° в. д. Северный склон хребта опускается к предгорным равнинам. На юге хребет круто обрывается к межгорным долинам рек Шелек и Чон-Кемин, отделяющим хребты Иле Алатау и Кунгей Алатау. В истоках этих рек хребты соединяются, образуя Шелеко-Кеминский горный узел. На востоке естественной границей хребта Иле Алатау является река Шарын, на западе – перевал Кастек (рисунок 1).

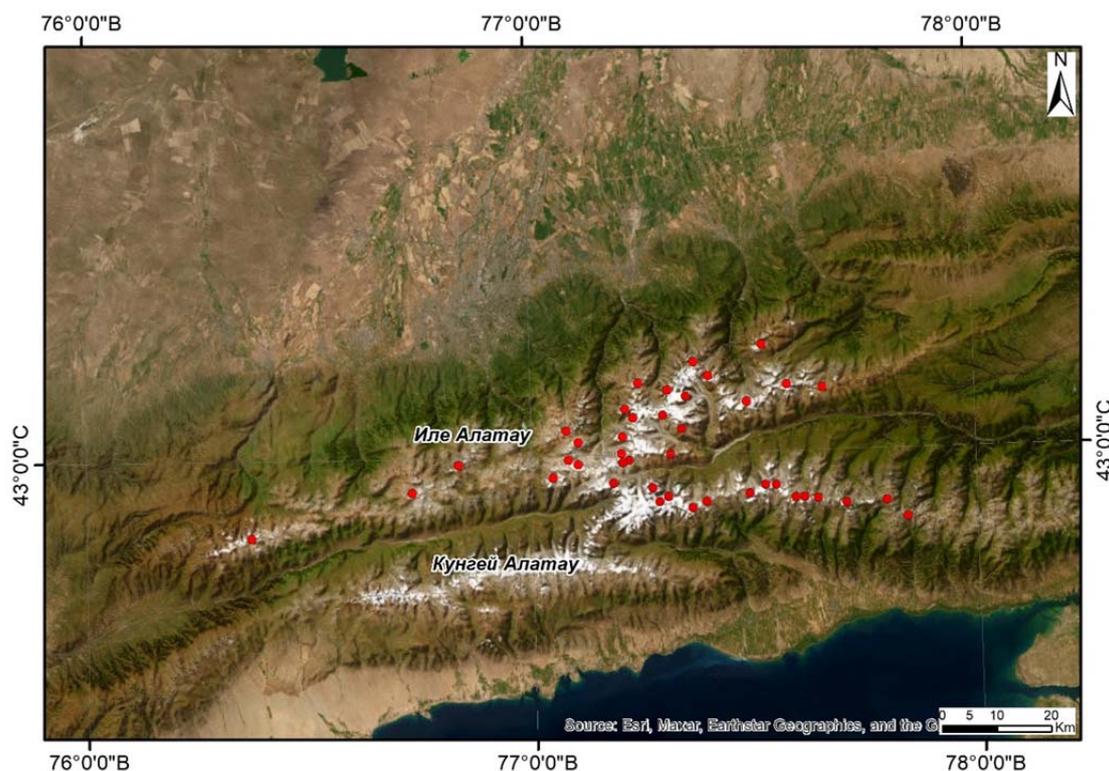


Рисунок 1 – Район исследования

Figure 1 – Research area

Главный водораздел хребта достигает наибольших высот (4000 м и более) в центральной части протяженностью 140-150 км. Высшей точкой является пик Талгар – 4973 м. Высота ряда вершин в районе Талгарского массива превышает 4500-4600 м.

Ледниковая система северного склона Иле Алатау снизу ограничена изогипсой 3300 м. Современное оледенение расположено в бассейнах рек Узын Каргалы, Шамалган, Каскелен, Аксай, Каргалы, Улкен и Киши Алматы, Талгар, Есик и Турген, относящихся к бассейну р. Иле.

Горная часть бассейна реки Шелек представляет собой широкую продольную долину, заложенную в грабене между хребтами Иле Алатау на севере и Кунгей Алатау на юге. Верхний ее участок, до устья р. Каракыя, является хорошо выраженным трогом, ниже долина реки Шелек принимает облик типичного V-образного ущелья. Хребет Кунгей Алатау входит в бассейн р. Шелек лишь северным склоном своей восточной части. Высота хребта вблизи Шелеко-Кеминского горного узла достигает 4653 м, восточный участок, где еще сохраняются ледники, ниже и едва достигает 4000 м.

Гляциальный пояс в бассейне реки Шелек ограничивается снизу изогипсой 3300 м и отличается значительным вертикальным расчленением. Амплитуда относительных высот составляет 600-800 м и более. Часть территории пояса занята оледенением, другая сравнительно недавно освободилась от ледников [37-39].

Материалы и методы исследования. Ясно, что для исследований изменений оледенения и причин межбассейновых и межрегиональных различий их динамики наибольший интерес представляют данные о состоянии оледенения целостных ледниковых систем – совокупности ледников, объединенных территорией с общими взаимосвязями с окружающей средой [40].

Исследования изменений состояния ледниковых систем сопряжено с необходимостью единовременной каталогизации ледников значительных по площади районов за различные годы, разделенные промежутками времени в 5-10 лет, как минимум.

В этом отношении одним из наиболее изученных является Балкаш-Алакольский бассейн – на эту территорию есть каталоги/данные о площади ледников каждой из четырех ледниковых систем бассейна – Северо-Илейской (ледники северного склона Иле Алатау), Илейско-Кунгейской (ледники бассейна р. Шелек), Жетысу Алатау и Верхне-Илейской (ледники китайской части бассейна р. Иле) по состоянию на 8-10 временных срезов за период с 1955/56 (год первой каталогизации) по 2022-2023 гг. Результаты этих исследований обобщены в многочисленных публикациях, включая монографии [6, 36, 41].

Каталогизация ледников – долгий процесс, не лишенный существенных погрешностей по причинам объективного (чаще всего – качество космических снимков) и субъективного характера (опыт и степень вовлеченности оператора в проблему, оценка морфометрических параметров ледников методом полуавтоматической обработки космических снимков без должного контроля их качества) [42, 43].

В этой связи представляется интересной попытка рассмотреть возможности оценки состояния оледенения целостных ледниковых систем по данным мониторинга оледенения частных бассейнов. Основанием для этого служит очевидное предположение, что факторы, определяющие межбассейновые и межрегиональные различия состояния ледниковых систем, в той или иной мере проявляются в гляциологических характеристиках ежегодно, а в среднем за многолетний период их влияние остается более или менее устойчивым. В конечном итоге это должно проявляться в устойчивости отношения площади ледников частного бассейна к площади оледенения соответствующей ледниковой системы. Это предположение вполне подтверждается результатами сравнительного анализа данных последовательных каталогов ледников различных районов [36]. В этом отношении наиболее изученным является оледенение гор Юго-Восточного Казахстана: на эту территорию имеются унифицированные каталоги /данные о площади всей совокупности ледников по состоянию на 1955, 1972/74, 1990, 1999/2000, 2008, 2014, 2017, 2022 годы (Северо-Илейская ледниковая система), на 1953/64, 1973/75, 1990, 2008, 2017, 2023 (Илейско-Кунгейская ледниковая система) и 1956, 1972, 1990 и 2000, 2012 гг. (ледниковая система Жетысу Алатау).

Сравнительный анализ данных повторных каталогов ледников Иле и Жетысу Алатау и Алтая не оставляет сомнений в устойчивости соотношений площади оледенения частного бассейна и соответствующей ледниковой системы [36, 44].

В таблице 1 представлено изменение доли площади оледенения отдельных речных бассейнов в суммарной площади оледенения северного склона Иле Алатау.

Таблица 1 – Изменение доли площади ледников частных бассейнов в суммарной площади ледников северного склона Иле Алатау (учтена лишь площадь открытой части ледников – «чистый лед») [36], дополненная данными за последующий период

Table 1 – Change in the share of the area of glaciers of private basins in the total area of glaciers of the northern slope of the Ile Alatau (only the area of the open part of glaciers – "pure ice" is taken into account) [36], supplemented with data for the subsequent period.

Год	Бассейн реки и доля площади его ледников в суммарной площади оледенения ледниковой системы, %										
	Узын Каргалы	Шамалган	Каскелен	Аксай	Каргалы	Проходная	У. Алматы	К. Алматы	Талгар	Есик	Турген
1955	3,9	0,6	3,6	4,7	1,4	2,2	9,3	3,4	40,1	17,9	12,9
1974	4,6	1,2	5,6	5,4	1,3	2,6	8,2	3,0	38,9	16,9	12,6
1990	4,7	0,5	4,7	5,0	1,2	1,9	8,2	3,1	40,4	17,6	12,7
2006	4,3	0,4	4,1	4,9	1,2	1,6	8,3	3,2	41,2	18,4	12,3
2008	4,6	0,9	5,0	5,4	1,4	1,9	8,2	3,3	39,2	18,2	11,9
2014	4,2	0,3	4,0	4,9	1,1	1,5	8,2	3,0	41,7	18,4	12,6
2017	4,3	0,4	4,3	5,0	1,1	1,4	7,9	3,0	41,4	18,1	13,7
2022	3,9	0,2	3,7	4,5	1,1	1,4	7,9	2,7	41,9	19,3	13,7

Как видим, с 1955 по 2022 г. доля площади оледенения бассейнов рек северного склона Иле Алатау в суммарной площади ледников всей ледниковой системы междуречья Узын Каргалы – Турген практически не изменилась. Просматриваемые в отдельных бассейнах изменения носят случайный характер и обусловлены, скорее всего, погрешностями определения площади ледников по снимкам различного разрешения и качества. Не изменились эти соотношения в Жетысу Алатау и на Алтае [36, 44].

Устойчивость рассматриваемых соотношений является свидетельством единой реакции оледенения частных бассейнов и соответствующих ледниковых систем на изменения климата. Иными словами, несмотря на различные темпы изменения состояния отдельных ледников, обусловленных различиями их морфологии, размеров, экспозиции, вся совокупность ледников частного бассейна реагирует на внешние воздействия так же, как и соответствующая ледниковая система в целом.

Это открывает возможности для оперативного мониторинга состояния ледниковых систем: оценив площадь оледенения контрольного бассейна и зная ее долю в суммарной площади ледников всего района (либо группы бассейнов), несложно рассчитать площадь оледенения соответствующей ледниковой системы.

Устойчивость рассматриваемых соотношений многократно подтверждена на основе опубликованных данных о площади ледников горно-ледниковых бассейнов на три и более временных среза, в том числе Памира, Гиссаро-Алая [7, 45, 46] и гор Высокой Азии – Гиндукуш-Гималаев, Непальских Гималаев, Тибетского нагорья. В качестве примера в таблицах 2 и 3 представлена динамика доли площади ледников горно-ледниковых бассейнов Гиндукуш-Гималаев и Непала соответственно.

Также устойчивы во времени и соотношения площади отдельных ледников и площади оледенения соответствующего бассейна [36, 44]. Это позволяет использовать данные о площади отдельных ледников для расчета площади оледенения всего бассейна, что существенно расширяет возможности мониторинга динамики оледенения различных районов и может быть использовано для реконструкции оледенения горных районов на основе фотоснимков и инструментальных съемок отдельных ледников за исторический период.

Таблица 2 – Изменение доли площади ледников частных бассейнов в суммарной площади ледников Гиндукуш-Гималаев по данным [47]

Table 2 – Change in the share of the area of glaciers of private basins in the total area of glaciers of the Hindu Kush-Himalayas according to [47]

Бассейн	Площадь оледенения, км ²				Доля площади ледников в общей площади оледенения бассейна			
	1980	1990	2000	2010	1980	1990	2000	2010
Wakhan Corridor	56,5	55,8	51,4	52,3	20,74	21,82	20,8	21,7
Shyok Basin	115,1	109,2	198,3	108,6	42,25	42,7	43,8	45,1
Imja Valley	57,4	51,3	40,3	43,8	20,1	20,06	19,95	18,2
Lunana area	43,4	39,4	38,1	36,1	15,93	15,4	15,42	15
Всего	272,4	255,7	247,1	240,8	100	100	100	100

Таблица 3 – Изменение доли площади ледников частных бассейнов в суммарной площади ледников Непала по данным [48, таблица 4.1]

Table 3 – Change in the share of the glacier area of private basins in the total glacier area of Nepal according to [48, table 4.1]

Бассейн	Суб-бассейн	Площадь ледников, км ²				Доля площади ледников бассейна в общей, %			
		1980	1990	2000	2010	1980	1990	2000	2010
	Sub-basin								
Mahakali		158,5	134,6	120,3	112,5	3,07	2,99	2,86	2,9
Karnali	West Seti	210,7	191,1	162,8	146	15,21	15,53	14,62	14,27
	Kawari	42,3	37,2	33,5	29,2	3,05	3,02	3,01	2,85
	Humla	457,4	408,2	374,9	337,9	33,01	33,18	33,68	33,04
	Mugu	164,2	142,9	130,2	119,2	11,85	11,61	11,7	11,65
	Tila	36,5	33,1	29,3	26,8	2,63	2,65	2,63	2,62
	Bheri	474,2	417,6	382,4	363,8	34,23	33,95	34,4	35,57
Karnali в целом		1,385,4	1,230,1	1,113,1	1,022,8	26,8	27,3	26,4	26,2
Gandaki	Kalin Gandaki	677,3	587,3	558,5	527,4	31,86	31,79	31,64	31,69
	Seti	88,6	78,8	75,5	71,6	4,17	4,26	4,28	4,30
	Marsyangdi	632,8	557,8	535,9	509	29,77	30,19	30,36	30,58
	Budhi Gandaki	447	384,6	370,8	348,8	21,13	20,82	21,0	20,96
	Trishuli	279,8	237,9	224,3	207,6	13,16	12,88	12,7	12,48
Gandaki в целом		2,125,5	1,847,4	1,764,9	1,664,4	41,1	41,0	41,91	42,6
Kashi	Indrawati	23,9	20,1	18,4	16,2	1,59	1,55	1,52	1,46
	Sun Koshi	72,6	62,4	59,7	52,6	4,84	4,82	4,41	4,77
	Tama Koshi	120,3	101,7	94,2	84,4	8,02	7,86	7,77	7,66
	Likhu	32,7	27,2	25,2	23	2,18	2,10	2,08	2,09
	Dudh Koshi	535,4	455,9	426,7	391,2	35,72	35,23	35,19	35,48
	Arun	208,2	177,8	166	149,2	13,89	13,74	13,69	13,53
	Tamor	506,9	449	422,5	385,9	33,81	34,69	32,36	35,0
Kashi в целом		1,498,9	1,294,2	1,212,6	1,192,6	29,9	28,7	28,8	28,3
Всего		5,168,30	4,506,3	4,210,9	3,902,4	100	100	100	100

Изложенное позволяет предположить возможность оценки изменений оледенения горно-ледниковых бассейнов по данным о площади, ограниченной по количеству выборки ледников соответствующей ледниковой системы. Поскольку погрешность определения площади малых ледников по космическим снимкам априори выше, в тестовую выборку логично включить крупные ледники – в нашем случае площадью более 2 км² по состоянию на год первой каталогизации ледников (1955/56) и не менее 1 км² по состоянию на 2022/23 г. Для тестирования возможностей методики оперативного мониторинга горно-ледниковых систем воспользуемся данными о динамике площади ледников Северо-Илейской и Илейско-Кунгейской ледниковых систем с данными о площади оледенения на 7 и 6 временных срезов соответственно. Тестирование выполнено в двух вариантах – по двум выборкам площади 10 ледников и их общей выборке в 20 тестовых ледников. Выборки тестовых ледников Северо-Илейской и Илейско-Кунгейской ледниковых систем представлены в таблицах 4 и 5. Расположение тестовых ледников показано на рисунке 1.

Таблица 4 – Площадь 20 тестовых ледников Северо-Илейской ледниковой системы по состоянию на 1955/56 и 2022 гг.

Table 4 – The area of 20 test glaciers of the North-Ili glacial system for 1955/56 and 2022

Северный склон Иле Алатау – Северо-Илейская ледниковая система		
№ и название ледника по схеме (каталог СССР 1955/56 г.)	Площадь открытой части ледника, км ²	
	1955/56 г.	2022 г.
<i>10 ледников первой выборки</i>		
№ 134 Дмитриева	17	9,22
№ 234 Горного института	9,4	5,82
№ 206 Григорьева	8,5	5,2
№ 144 Колесника	6,4	4,3
№ 128 Туристов	6	2,81
№ 138 Тогузак (лев.)	5,4	2,9
№ 34 К. Макаревича	5,1	2,96
№ 190 Жарсай (прав.)	4,8	3,04
№ 147 Северцова	4,2	2,41
№ 241 Гляциологов	3,2	1,9
Средняя величина площади 10 выбранных ледников, км²	7	4,06
<i>10 ледников второй выборки</i>		
№ 107 Центр. Туяксуйский (Туйыксу)	3,2	1,96
№ 85 Черный	2,9	1,77
№ 227	2,8	1,74
№ 88 Городецкого (прав.)	2,6	1,14
№ 182 Металлург	2,6	1,51
№ 53 Теплофизиков	2,6	1,58
№ 157 Тагильцев (Желдымуз)	2,3	1,04
№ 150 Фрунзе	2,3	1,09
№ 171 Крошка	2,2	1,6
№ 6 Узункаргалинский	2,2	1,25
Средняя величина площади 10 выбранных ледников, км²	2,57	1,47
Общая площадь оледенения Северо-Илейской ледниковой системы, км²	287,3	138,1

Таблица 5 – Площадь 20 тестовых ледников Илейско-Кунгейской ледниковой системы (бассейна р. Шелек) по состоянию на 1953/64 и 2023 гг.

Table 5 – The area of 20 test glaciers of the Ileysko-Kungeyskaya glacial system (Shelek river basin) for 1953/64 and 2023

Бассейн реки Шелек – Илейско-Кунгейская ледниковая система		
№ и название ледника по схеме (каталог СССР 1953/64 г.)	Площадь открытой части ледника, км ²	
<i>10 ледников первой выборки</i>		
	1953/64 г.	2023 г.
№ 38 Корженевского	37,5	32,75
№ 74 Жангырык	17,3	12,81
№ 85 Новый	12,8	9,31
№ 90 Кенсай	6,4	3,37
№124 Сутбулак	6,1	3,83
№ 116 Корумдык	5,7	2,62
№ 58 Котлякова	4,5	3,15
№ 144 Зотикова	4,2	3,46
№ 134 Тулькисай	4,1	2,89
№ 54	3,4	2,82
Средняя величина площади 10 выбранных ледников, км²	10,2	7,7
<i>10 ледников второй выборки</i>		
№ 83	3,1	2,72
№ 71 Джазыкмуз	3	2,11
№ 110 Кайракты	2,8	1,57
№ 164 Каракыя	2,8	0,31
№ 112	2,5	1,73
№ 48	2,4	1,28
№125	2,4	1,58
№ 70 Сыргымалымуз	2,2	1,27
№ 92 Жарбулак	2,2	0,88
№ 150 Каскасу	2	1,03
Средняя величина площади 10 выбранных ледников, км²	2,54	1,45
Общая площадь оледенения бассейна, км²	277,9	182,1

Методика тестирования. Для решения задачи, приняв долю площади тестовой выборки ледников на год первой каталогизации ледников (1955/56–1957 гг.), мы рассчитывали по ней площадь ледников соответствующей ледниковой системы по состоянию на год следующей каталогизации ледников (на 1972/74 гг.). Далее, приняв долю площади ледников тестовой выборки по состоянию на 1972/74 гг., рассчитывали площадь всей совокупности ледников бассейна по состоянию на год следующей каталогизации и так последовательно по 2022/23 год включительно.

Результаты и их обсуждение. На рисунке 2 представлены результаты оценки динамики площади ледников Северо-Илейской ледниковой системы за период с 1955/56 г. (год первой каталогизации ледников) по 2022 г. [49]. Синим цветом показаны результаты каталогизации по данным [36, 41], а красным – выполненной магистрантом Б. Мукановой [49].

Как следует из рисунка 2, а, обе группы данных о площади ледников рассматриваемой ледниковой системы демонстрируют единый тренд, но площадь ледников в определениях Б. Мукановой [49] смещена на графике вверх относительно данных наших каталогизаций на постоянную величину – на 6%. Очевидные причины различий две. Первая заключается в том, в определениях [49] учтены ледники площадью более 0,01 км², против 0,1 км² в оценках [36, 41]. Вторая причина

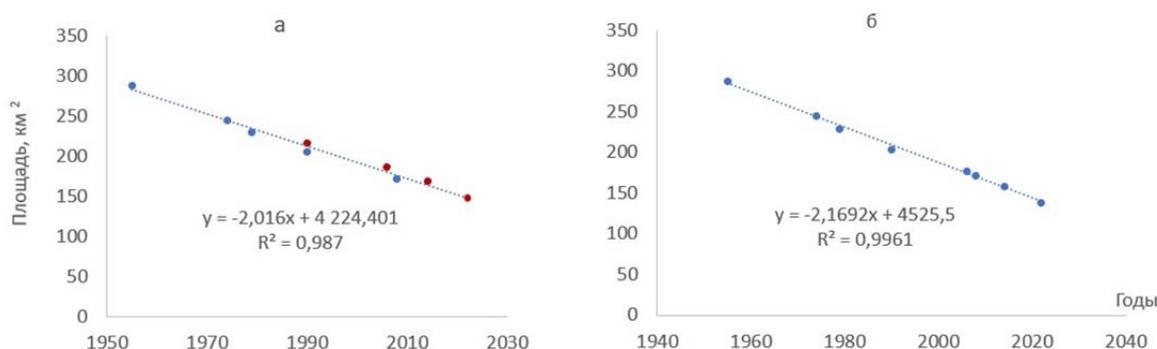


Рисунок 2 – Сокращение площади ледников Северо-Илейской ледниковой системы:
а – синий цвет – по данным прежних каталогов [36, 41], красный – по определениям Б. Мукановой;
б – по данным всех каталогов с рассмотренной ниже коррекцией данных Б. Мукановой

Figure 2 – Reduction of the North-Ileian glacial system's area: *a* – blue color – according to previous catalogs [36, 41], red – according to B. Mukanova's definitions; *b* – according to all catalogs with the correction of B. Mukanova's data discussed below

системного завышения площади ледников по оценкам [49] в том, что данные первой группы каталогизаций получены в результате ручной обработки исходных аэрофотоснимков (1955, 1990 гг.) и космических снимков за последующий период, а в определениях Б. Мукановой [49] – полуавтоматическим методом картирования контуров ледников.

Для приведения обеих групп данных к сопоставимому виду мы уменьшили значения площади ледников в определениях Б. Мукановой на упомянутые 6% и с учетом этой поправки оценили сокращение площади ледников Северо-Илейской ледниковой системы за весь рассматриваемый период. Итоговый результат, представленный на рисунке 2, *б*, не оставляет сомнений в том, что площадь ледников Северо-Илейской ледниковой системы в течение всего рассматриваемого периода продолжает сокращаться линейно со средним темпом 0,73% в год. Перспектива исчезновения подавляющей части ледников рассматриваемого региона к концу текущего столетия с соответствующим обострением проблем водной, продовольственной и экологической безопасности становится все более тревожной, а необходимость разработки превентивных мер адаптации к меняющимся условиям все более актуальной.

На рисунке 3 представлены итоговые результаты тестирования, основанного на данных о динамике оледенения северного склона Иле Алатау (Северо-Илейская ледниковая система).

Результаты тестирования по всем трем выборкам ледников практически идентичны: расчетные и фактические данные о площади ледников тесно скоррелированы: $R^2 = 0,99, 0,98$ и $0,99$ соответственно. Расчет по данным о площади 20 тестовых ледников не является предпочтительным – с той же достоверностью площадь ледников соответствующей ледниковой системы можно рассчитать по данным о площади 10 тестовых ледников. Практически тот же результат тестирования получен по контрольным выборкам ледников бассейна р. Шелек (рисунок 4).

Результаты тестирования идентичны рассмотренным выше по ледникам Северо-Илейской ледниковой системы – расчетные и фактические данные о площади ледников тесно скоррелированы: $R^2 = 0,99, 0,97$ и $0,99$ соответственно.

В таблице 6 показано отклонение расчетной площади от фактической (%), рассчитанное по доле площади тестовых ледников в суммарной площади оледенения Северо-Илейской и Илейско-Кунгейской ледниковых систем.

В 88% случаев расчетные значения площади оледенения рассматриваемых ледниковых систем были менее 5% относительно фактических и лишь в 4 случаях (12%) превысили этот порог при среднем значении отклонений расчетных данных от фактических менее 2% и наибольших ошибках расчета 7,8 и -9,6%. Это вполне согласуется с результатами прежних оценок [36], основанных на выявленной устойчивости соотношений площади ледников частного бассейна и площади оледенения соответствующей ледниковой системы и свидетельствует о высокой эффективности методики оперативного мониторинга горно-ледниковых систем. Она позволяет оперативно (повторяемостью вплоть до погодичного) оценить потери многолетнего льда исследуемой ледниковой системы и вклад талых ледниковых вод в формирование речного стока, что, в свою очередь, хорошая основа для соответствующего моделирования современных и прогнозных изменений.

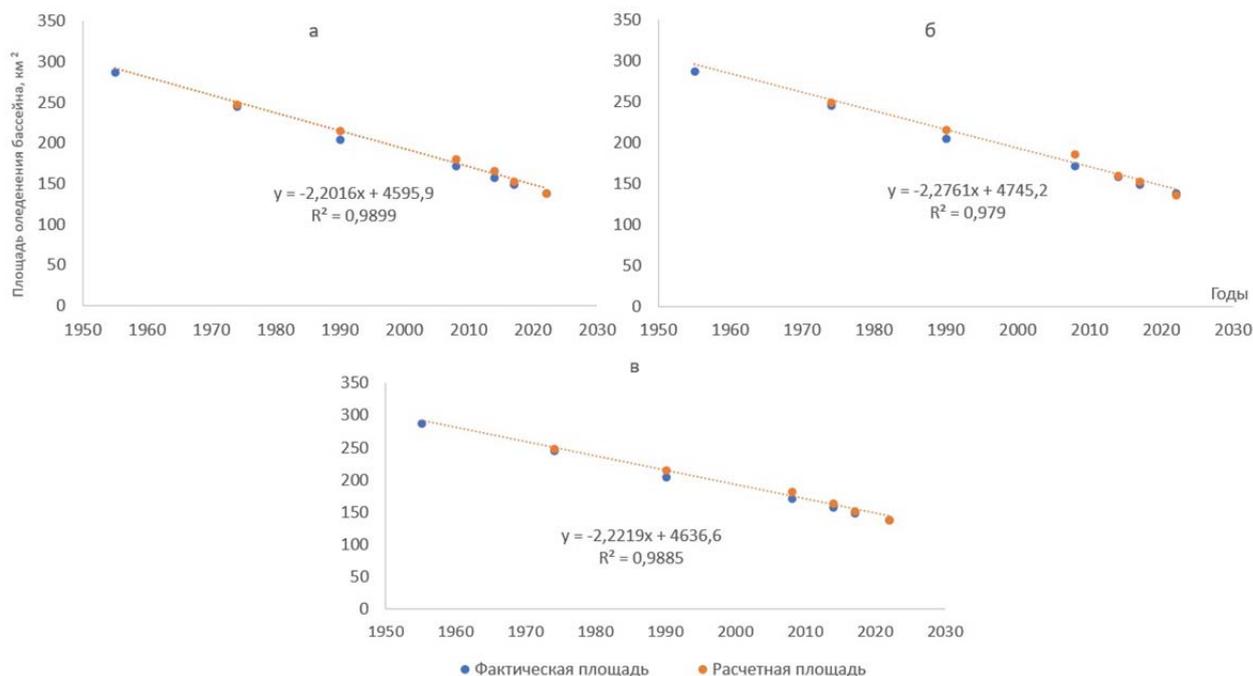


Рисунок 3 – Отклонения площади оледенения северного склона Иле Алатау, рассчитанной по доле площади двух выборок по 10 ледников в каждой (а, б) и их суммарной площади –20 тестовых ледников (в) по состоянию на годы последовательной каталогизации

Figure 3 – Deviations of the glaciation area of the northern slope of the Ile Alatau, calculated from the proportion of the area of two samples of 10 glaciers each (a, b) and their total area of 20 test glaciers (c) as of the years of sequential cataloging

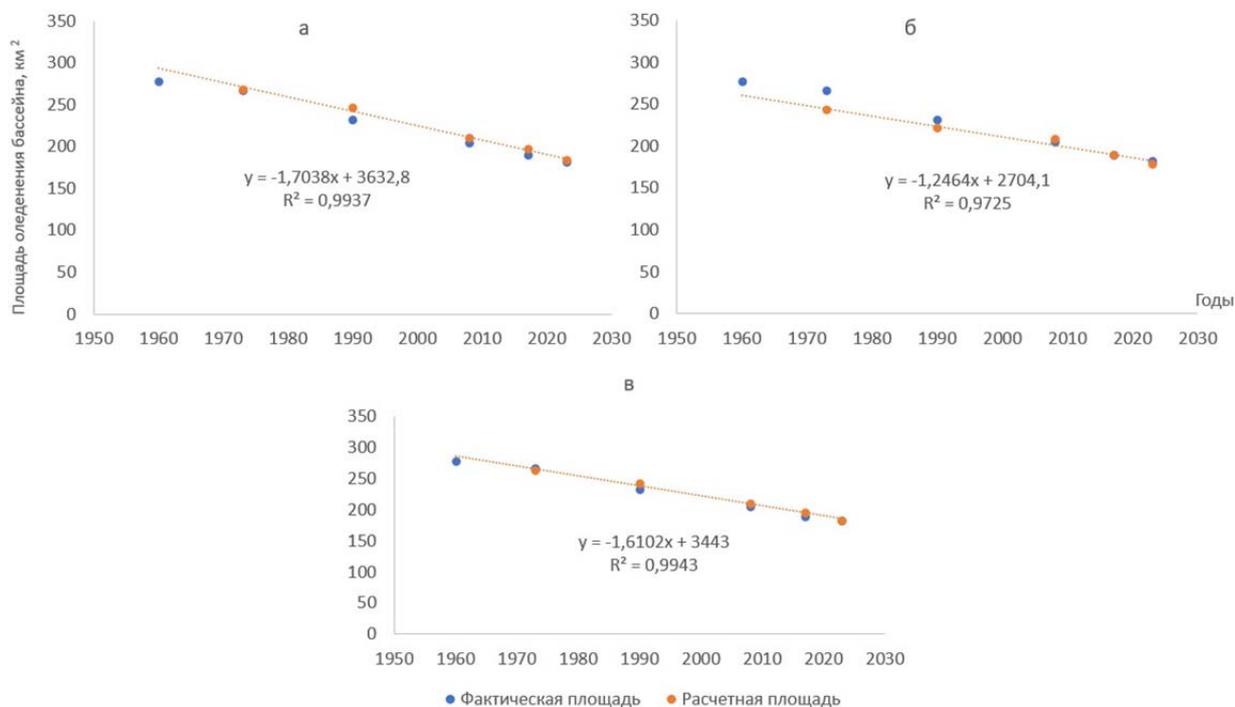


Рисунок 4 – Отклонение площади ледников бассейна р. Шелек (Илейско-Кунгейская ледниковая система), рассчитанной по доле площади 10 тестовых ледников первой (а) и второй (б) выборок и их общей выборки (20 ледников) (в) от фактической площади ледников по каталогу

Figure 4 – Deviation of the glacier area of the Shelek River basin (Ileysko-Kungeyskaya glacial system), calculated from the proportion of the area of 10 test glaciers of the first (a) and second (b) samples and their total sample (20 glaciers) (c) from the actual glacier area according to the catalog

Таблица 6 – Отклонение расчетной площади от фактической (%), рассчитанное по доле площади тестовых ледников в суммарной площади оледенения Северо-Илейской и Илейско-Кунгейской ледниковых систем

Table 6 – Deviation of the calculated area from the actual (%), calculated by the share of the area of test glaciers in the total glaciation area of the North-Ileisk and Ileisk-Kungey glacial systems

Ледни- ковая система	Год	Общая площадь оледенения, км ²	Площадь ледников ледниковой системы (км ²), рассчитанная по доле площади			Отклонение расчетной площади от фактической (%), рассчитанное по доле площади		
			10 ледников первой выборки	10 ледников второй выборки	20 ледников	10 ледников первой выборки	10 ледников второй выборки	20 ледников
Северо- Илейская	1972/74	245,1	247,77	249,2	248,16	1,08	1,65	1,23
	1990	204,7	214,99	215,3	215,08	4,35	4,92	4,82
	2008	171,9	180,33	186,35	181,96	4,68	7,76	5,53
	2014	158,4	166,25	160,43	164,64	4,73	1,27	3,8
	2017	149,2	152,57	153,21	152,74	2,21	2,62	2,32
	2022	138,1	139,22	136,21	138,41	0,81	-1,37	0,23
Илейско- Кунгей- ская	1973/75	266,79	268,41	243,39	263,42	0,6	-9,61	-1,28
	1990	232,29	246,45	222,68	242,07	5,75	-4,32	4,04
	2008	204,96	210,61	208,52	210,25	2,68	1,71	2,52
	2017	189,83	197,25	189,27	195,91	3,76	-0,29	3,1
	2023	182,06	184,1	178,39	183,17	1,11	-2,05	0,61
Среднее								1,85
Мин.								-9,61
Макс.								7,76

Закключение. Таким образом, рассмотренная методика оперативного мониторинга горно-ледниковых систем позволяет по данным о площади контрольной выборки из 10-20 ледников оценить изменения площади оледенения (всей совокупности ледников) соответствующей ледниковой системы с погрешностью не более $\pm 5\%$.

Согласно результатам тестирования в 88% случаев расчетные значения площади оледенения Северо-Илейской и Илейско-Кунгейской ледниковых систем были менее 5% относительно фактических и лишь в 4 случаях (12%) превысили этот порог при среднем значении отклонений расчетных данных от фактических менее 2% и наибольших ошибках расчета 7,76 и -9,6%. При этом расчет по выборке из 20 ледников не имеет преимуществ – столь же достоверны результаты расчета по выборке из 10 ледников, важно лишь, чтобы в тестовой выборке были крупные ледники – площадью не менее 1-2 км².

Рассмотренные результаты тестирования свидетельствует о высокой эффективности нашей методики. Она позволяет по данным о площади контрольной выборки из 10-20 ледников оценить изменения площади оледенения соответствующей ледниковой системы с погрешностью не более $\pm 5\%$. Этократно увеличивает возможности оперативного мониторинга горно-ледниковых систем и позволяет оперативно (повторяемостью от одного раза в несколько лет до ежегодной) оценить потери многолетнего льда исследуемой ледниковой системы в условиях меняющегося климата и вклад талых ледниковых вод в формирование речного стока, что, в свою очередь, является хорошей основой для соответствующего моделирования современных и прогнозных изменений.

Благодарности и финансирование. Авторы благодарны Марие Шахгедановой за замечания и рекомендации, позволившие значительно улучшить содержание статьи.

Исследование выполнено при финансовой поддержке Комитета науки Министерства науки и высшего образования Республики Казахстан по теме «Ледниковые системы трансграничных бассейнов Центральной Азии: состояние, современные и прогнозные изменения, роль в обеспечении водной безопасности стран региона», ИРН BR 18574176.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Оледенение Тянь-Шаня / Под ред. М. Б. Дюргерова. – М., 1995. – 237 с.
- [2] Aizen V., Aizen E., Melack J., Dozier J. Climate and Hydrologic Changes in the Tien Shan, Central Asia // *Journal of Climate*. – 1997. – Vol. 10, No. 6. – P. 1393-1404. DOI:10.1175/1520-0442(1997)010<1393:CAHCIT>2.0.CO;2
- [3] Sorg A., Bolch T., Stoffel M., Solomina O., Beniston M. Climate change impacts on Glaciers and runoff in Tien Shan (Central Asia) // *Nature Climate Change*. – 2012. – Vol. 2(10). – P. 725-731. DOI:10.1038/NCLIMATE1592
- [4] Hoelzle M., Barandun M., Bolch T., Fiddes J., Gafurov A., Muccione V., Saks T., Shahgedanova M. The status and role of the alpine cryosphere in Central Asia // *The Aral Sea Basin: Water for sustainable development in Central Asia*. Xenarios S., Schmidt-Vogt D., Qadir M., Janusz Pawletta B., Abduallev I. (eds.). – Abingdon, Oxon: Routledge, 2020. – P. 100-121. <https://doi.org/10.4324/9780429436475-8>
- [5] Braun L., Hagg W. Present and future impact of snow cover and glaciers on runoff from mountain regions – comparison between Alps and Tien Shan // *Assessment of Snow, Glacier and Water Resources in Asia: Selected papers from the Workshop in Almaty, Kazakhstan*. – Koblenz, 2009. – P. 36-43.
- [6] Severskiy I.V., Kokarev A.L., Severskiy S.I., Tokmagambetov T.G., Shagarova L.V., Shesterova I.N. Contemporary and prognostic changes of glaciation in Balkhash Lake Basin. – Almaty: VAC Publishing House, 2006. – 68 p.
- [7] Батыров Р.С., Яковлев А. В. Мониторинг горных ледников некоторых районов Гиссаро-Алая с использованием космических снимков ASTER TERRA // *Гляциология горных областей: Труды НИГМИ*. – Ташкент, 2004. – Вып. 3(248). – С. 22-27.
- [8] Вилесов Е.В., Морозова В. И., Северский И. В. Оледенение Джунгарского (Жетысу) Алатау: прошлое, настоящее, будущее. – Алматы, 2013. – 244 с.
- [9] Narama C., Kaab A., Duishonakunov M., Abdrakhmatov K. Spatial variability of recent glacier area changes in the Tien Shan Mountains, Central Asia, using Corona (~1970), Landsat (~2000), and ALOS (~2007) satellite data // *Global and Planetary Change*. – 2010. – Vol. 71. – P. 42-54. <https://doi.org/10.1016/j.gloplacha.2009.08.002>
- [10] Xenarios S., Gafurov A., Schmidt-Vogt D., Sehring J., Manandhar S., Hergarten C., Shigaeva J., Foggin M. Climate change and adaptation of mountain societies in Central Asia: uncertainties, knowledge gaps, and data constraints // *Regional Environmental Change*. – 2019. – P. 1339-1352. DOI: <http://doi.org/10.1007/s10113-018-1384-9>
- [11] Pritchard H. Asia's shrinking glaciers protect large populations from drought stress // *Nature*. – 2019. – Vol. 569. – P. 649-654. <https://doi.org/10.1038/s41586-019-1240-1>
- [12] Huss M., Bookhagen B., Huggel C., Jacobsen D, Bradley R., Clague J., Vuille M., Buytaert W., Cayan D., Greenwood G, Mark B., Milner A., Weingartner R., Winder M. Toward mountains without permanent snow and ice // *Earth's Future*. – 2017. – No. 5. – P. 418-435. DOI: <https://doi.org/10.1002/2016EF000514>
- [13] WGMS 2023. *Global Glacier Change Bulletin No. 5 (2020–2021)* / Edited by: Zemp M., Gärtner-Roer I., Nussbaumer S.U., Welty E.Z., Dussailant I. and Bannwart J. ISC(WDS)/IUGG(IACS)/UNEP/UNESCO/ WMO, World Glacier Monitoring Service. – Zurich, 2023. – 134 p. https://wgms.ch/downloads/WGMS_GGCB_05.pdf
- [14] Aizen V., Kuzmichenok V., Surazakov A., Aizen E. Glacier changes in the central and northern Tien Shan during the last 140 years based on surface and remote-sensing data // *Annals of Glaciology*. – 2006. – Vol. 50. – P. 328-340. DOI: <https://doi.org/10.3189/172756406781812465>
- [15] Bolch T. Climate change and glacier retreat in northern Tien Shan (Kazakhstan/Kyrgyzstan) using remote-sensing data // *Global and Planetary Change*. – 2007. – No. 56 (1-2). – P. 1-12 DOI: <https://doi.org/10.1016/j.gloplacha.2006.07.009>
- [16] Kotlyakov V. M., Severskiy I. V. Glaciers of Central Asia: current situation, changes and possible impact on water resources // *Assessment of Snow, Glaciers and Water Resources in Asia: Selected papers from the Workshop in Almaty, Kazakhstan*. – Koblenz, 2009. – P. 36-43.
- [17] Cogley J. G. Glacier shrinkage across High Mountain Asia // *Annals of Glaciology*. – 2016. – Vol. 57(71). – P. 41-49. DOI: <https://doi.org/10.3189/2016AoG71A040>
- [18] Li B., Zhu A., Zhang Y., Pei T., Qin C., Zhou C. Glacier change over the past four decades in the middle Chinese Tien Shan // *Journal of Glaciology*. – 2007. – Vol. 52. – P. 425-432. DOI:10.3189/172756506781828557
- [19] Северский И.В., Благовещенский В.П., Северский С.И., Пиманкина Н.В., Се Зичу, Жан Жизонг, Ху Руджи. Снежный покров и лавины Тянь-Шаня. – Алматы, 2006. – 184 с.
- [20] WGMS (2015). *Global Glacier Change Bulletin No. 1 (2012–2013)* / Edited by: Zemp M., Gärtner-Roer I., Nussbaumer S. U., Hüsler F., Machguth H., Mölg, N., Paul F., Hoelzle M. ISC(WDS)/IUGG(IACS)/UNEP/UNESCO/ WMO, World Glacier Monitoring Service. – Zürich, 2015. – 230 p. DOI: <https://doi.org/10.5904/wgms-fog-2015-11>
- [21] Zemp M., Frey H., Gärtner-Roer I., Nussbaumer S., Hoelzle M., Paul F., Haeberli W., Denzinger F... Vincent C. Historically unprecedented global glacier declines in the early 21st century // *Journal of Glaciology*. – 2015. – Vol. 61(228). – P. 745-762. DOI: <https://doi.org/10.3189/2015JoG15J017>
- [22] Fountain G., Hoffman M. J., Granshaw F., Riedel J. The 'benchmark glacier' concept – does it work? Lessons from the North Cascade Range, USA // *Annals of Glaciology*. – 2009. – Vol. 50(50). – P. 163-168. DOI: <https://doi.org/10.3189/172756409787769690>
- [23] Vincent C., Fischer A., Mayer C., Bauder A., Galos S. P., Funk M, Thibert E., Six D., Braun L., Huss M. Common climatic signal from glaciers in the European Alps over the last 50 years // *Geophysical Research Letters*. – 2017. – Vol. 44. – P. 1376-1383. DOI: <https://doi.org/10.1002/2016GL072094>
- [24] Zemp M., Huss M., Eckert N., Thibert E., Paul F., Nussbaumer S. U., Gärtner-Roer I. Brief communication: Ad hoc estimation of glacier contributions to sea-level rise from the latest glaciological observations // *The Cryosphere*. – 2020. – Vol. 14. – P. 1043-1050. DOI: <https://doi.org/10.5194/tc-14-1043-2020>
- [25] Barandun M., Fiddes J., Scherler M., Mathys T., Saks T., Petrakov D., Hoelzle M. The state and future of the cryosphere in Central Asia // *Water Security*. – 2020. – Vol. 11. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.wasec.2020.100072>
- [26] Sakai, A. Brief communication: Updated GAMDAM glacier inventory over high-mountain Asia // *The Cryosphere*. – 2019. – Vol. 13. – P. 2043-2049. DOI: <https://doi.org/10.5194/tc-13-2043-2019>

- [27] Mölg N., Bolch T., Rastner P., Strozzi T., Paul F. A consistent glacier inventory for Karakoram and Pamir derived from Landsat data: Distribution of debris cover and mapping challenges // *Earth System Science Data*. – 2018. – Vol. 10. – P. 1807-1827. DOI: <https://doi.org/10.5194/essd-10-1807-2018>.
- [28] Zemp M., Huss M., Thibert E., Eckert N., McNabb R., Bannwart J., Barandun M., Cogley, J. Global glacier mass changes and their contributions to sea-level rise from 1961 to 2016 // *Nature*. – 2019. – Vol. 568. DOI: 10.1038/s41586-019-1071-0
- [29] Wouters B., Gardner S. A., Moholdt G. Global Glacier Mass Loss During the GRACE Satellite Mission (2002-2016) // *Frontiers in Earth Science*. – 2019. – Vol. 7. DOI: <https://doi.org/10.3389/feart.2019.00096>
- [30] Miles E., McCarthy M., Dehecq A., Kneib M., Fugger S., Pellicciotti F. Health and Sustainability of Glaciers in High Mountain Asia // *Nature Communications*. – 2021. – Vol. 12. DOI: 10.1038/s41467-021-23073-4
- [31] Arendt A., Echelmeyer K., Harrison W., Lingle C., Zirnheld S., Valentine V., Ritchie B., Druckenmiller M. Updated estimates of glacier volume changes in the western Chugach Mountains, Alaska, and a comparison of regional extrapolation methods // *Journal of Geophysical Research*. – 2006. – Vol. 111(F3). DOI:10.1029/2005JF000436
- [32] Huss M. Extrapolating glacier mass balance to the mountain-range scale: the European Alps 1900–2100 // *The Cryosphere*. – 2012. – Vol. 6. – P. 713-727. DOI: <https://doi.org/10.5194/tc-6-713-2012>
- [33] Davaze L., Rabatel A., Dufour A., Hugonnet R., Arnaud Y. Region-Wide Annual Glacier Surface Mass Balance for the European Alps From 2000 to 2016 // *Frontiers in Earth Science*. – 2020. – Vol. 8:149. DOI:10.3389/feart.2020.00149
- [34] Zhuang L., Ke C., Cai Y., Nourani V. Measuring glacier changes in the Tianshan Mountains over the past 20 years using Google Earth Engine and machine learning // *Journal of Geographical Sciences*. – 2023. – Vol. 33. – P. 1939-1964. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11442-023-2160-4>
- [35] Caro A., Condom T., Rabatel A. Climatic and Morphometric Explanatory Variables of Glacier Changes in the Andes (8–55°S): New Insights from Machine Learning Approaches // *Frontiers in Earth Science*. – 2021. – Vol. 9. – P. 1-21. DOI: 10.3389/feart.2021.713011
- [36] Водные ресурсы Казахстана: оценка, прогноз, управление: Т. VI. Северский И. В., Кокарев А. Л., Пиманкина Н. В. Снежно-ледовые ресурсы Казахстана. – Алматы, 2012. – 246 с.
- [37] Вилесов Е.Н. Динамика и современное состояние оледенения гор Казахстана. – Алматы, 2016. – 268 с.
- [38] Ресурсы поверхностных вод СССР. Каталог ледников СССР. Т. 13. Центр. и Южный Казахстан. Вып. 2, ч. 1. Составители: Вилесов Е.Н., Хонин Р. В. Бассейны левых притоков р. Или от устья р. Курты до устья р. Тургенъ. – Л.: Гидрометеиздат, 1967. – 78 с.
- [39] Ресурсы поверхностных вод СССР. Каталог ледников СССР. Т. 13. Центр. и Южный Казахстан. Вып. 2, ч. 2. Составитель Вилесов Е.Н. Река Чилик. – Л.: Гидрометеиздат, 1968. – 52 с.
- [40] Гляциологический словарь / Под ред. В. М. Котлякова. – Л.: Гидрометеиздат, 1984. – 528 с.
- [41] Severskiy I., Vilesov E., Armstrong R., Kokarev A., Kogutenko L., Usmanova Z., Morozova V., Raup B. Changes in glaciation of the Balkhash-Alakol basin, Central Asia, over recent decades // *Annals of Glaciology*. – 2016. – Vol. 57(71). – P. 382-394. DOI: 10.3189/2016AOG71A575
- [42] Paul F., Barrant N., Baumann S., Berthier E., Bolch T., Casey K., ... Winsvold S. On the accuracy of glacier outlines derived from remote-sensing data // *Annals of Glaciology*. – 2013. – Vol. 54(63). – P. 171-182. DOI:10.1016/j.rse.2017.08.038
- [43] Paul F., Bolch T., Briggs K., Käab A., McMillan M., McNabb R., Nagler T., Nuth C., Rastner P., Strozzi T., Wuite J. Error sources and guidelines for quality assessment of glacier area, elevation change, and velocity products derived from satellite data in the Glaciers cci project // *Remote Sensing of Environment*. – 2017. – Vol. 203. – P. 256-275. DOI:<https://doi.org/10.1016/j.rse.2017.08.038>
- [44] Северский И. В. К проблеме мониторинга изменений оледенения целостных ледниковых систем // *Вопросы географии и геоэкологии*. – 2012. – № 2. – С. 12-18.
- [45] Щетинников А. С. Морфология и режим ледников Памиро-Алая. – Ташкент: Изд-во САНИГМИ, 1998. – 219 с.
- [46] Усубалиев Р. А., Дудашвили А. С., Элеманов О. И. Оледенение северных склонов Туркестанского и Алайского хребтов и его современная динамика // *Лед и снег*. – 2012. – № 1(117). – С. 24-28.
- [47] Bajracharya S. R., Maharjan S. B., Shrestha F., Guo W., Liu S., Immerzeel W., Shrestha B. (2015). The glaciers of the Hindu Kush Himalayas: current status and observed changes from the 1980s to 2010 // *International Journal of Water Resources Development*. – 2015. – Vol. 31(2). – P. 161-173. DOI: 10.1080/07900627.2015.1005731
- [48] Bajracharya S. R., Maharjan S. B., Shrestha F., Bajracharya O. R., Baidya S. Glacier status in Nepal and decadal change from 1980 to 2010 based on landsat data / *Research report 2014 (2)*. Kathmandu, ICIMOD – 2014. Table 4.1. [Электрон. ресурс]. – 2014. URL: lib.icimod.org (Дата обращения 01.05.2024)
- [49] Северский И. В., Муканова Б. А., Капица В. П., Татьяна М. Е., Кокарев А. Л., Шестерова И. Н. Изменение оледенения северного склона Иле Алатау за семидесятилетний период // *Вестник КазНУ. Серия географическая*. – 2024. – Т. 73(2). – С. 59-71. DOI: <https://doi.org/10.26577/JGEM.2024.v73.i2-05>

REFERENCES

- [1] Glaciation of the Tien Shan / Ed. by M. B. Dyurgerov. M., 1995. 237 p. (in Russ.).
- [2] Aizen V., Aizen E., Melack J., Dozier J. Climate and Hydrologic Changes in the Tien Sham, Central Asia // *Journal of Climate*. 1997. Vol. 10, No. 6. P. 1393-1404. DOI:10.1175/1520-0442(1997)010<1393:CAHCIT>2.0.CO;2
- [3] Sorg A., Bolch T., Stoffel M., Solomina O., Beniston M. Climate change impacts on Glaciers and runoff in Tien Shan (Central Asia) // *Nature Climate Change*. 2012. Vol. 2(10). P. 725-731. DOI:10.1038/NCLIMATE1592
- [4] Hoelzle M., Barandun M., Bolch T., Fiddes J., Gafurov A., Muccione V., Saks T., Shahgedanova M. The status and role of the alpine cryosphere in Central Asia // *The Aral Sea Basin: Water for sustainable development in Central Asia*. Xenarios S., Schmidt-Vogt D., Qadir M., Janusz Pawletta B., Abduallev I. (eds.). Abingdon, Oxon: Routledge, 2020. P. 100-121. <https://doi.org/10.4324/9780429436475-8>
- [5] Braun L., Hagg W. Present and future impact of snow cover and glaciers on runoff from mountain regions – comparison between Alps and Tien Shan // *Assessment of Snow, Glacier and Water Resources in Asia: Selected papers from the Workshop in Almaty, Kazakhstan*. Koblenz, 2009. P. 36-43.

- [6] Severskiy I.V., Kokarev A.L., Severskiy S.I., Tokmagambetov T.G., Shagarova L.V., Shesterova I.N. Contemporary and prognostic changes of glaciation in Balkhash Lake Basin. Almaty: VAC Publishing House, 2006. 68 p.
- [7] Batyrov R.S., Yakovlev A. V. Monitoring of mountain glaciers in some areas of the Gissar-Alai using ASTER TERRA images // *Glaciology of mountain regions: Proceedings of NIGMI*. Tashkent, 2004. Issue. 3(248). P. 22-27 (in Russ.).
- [8] Vilesov Ye.V., Morozova V.I., Severskiy I.V. Glaciation of the Dzungarian (Zhetysu) Alatau: past, present, future. Almaty, 2013. 244 p. (in Russ.).
- [9] Narama C., Kaab A., Duishonakunov M., Abdrakhmatov K. Spatial variability of recent glacier area changes in the Tien Shan Mountains, Central Asia, using Corona (~1970), Landsat (~2000), and ALOS (~2007) satellite data // *Global and Planetary Change*. 2010. Vol. 71. P. 42-54. <https://doi.org/10.1016/j.gloplacha.2009.08.002>
- [10] Xenarios S., Gafurov A., Schmidt-Vogt D., Sehring J., Manandhar S., Hergarten C., Shigaeva J., Foggin M. Climate change and adaptation of mountain societies in Central Asia: uncertainties, knowledge gaps, and data constraints // *Regional Environmental Change*. 2019. P. 1339-1352. DOI: <http://doi.org/10.1007/s10113-018-1384-9>
- [11] Pritchard H. Asia's shrinking glaciers protect large populations from drought stress // *Nature*. 2019. Vol. 569. P. 649-654. <https://doi.org/10.1038/s41586-019-1240-1>
- [12] Huss M., Bookhagen B., Huggel C., Jacobsen D, Bradley R., Clague J., Vuille M., Buytaert W., Cayan D., Greenwood G, Mark B., Milner A., Weingartner R., Winder M. Toward mountains without permanent snow and ice // *Earth's Future*. 2017. Np. 5. P. 418-435. DOI: <https://doi.org/10.1002/2016EF000514>
- [13] WGMS 2023. Global Glacier Change Bulletin No. 5 (2020–2021) / Edited by: Zemp M., Gärtner-Roer I., Nussbaumer S.U., Welty E.Z., Dussaillant I. and Bannwart J. ISC(WDS)/IUGG(IACS)/UNEP/UNESCO/ WMO, World Glacier Monitoring Service. Zurich, Switzerland, 2023. 134 p. https://wgms.ch/downloads/WGMS_GGCB_05.pdf
- [14] Aizen V., Kuzmichenok V., Surazakov A., Aizen E. Glacier changes in the central and northern Tien Shan during the last 140 years based on surface and remote-sensing data // *Annals of Glaciology*. 2006. Vol. 50. P. 328-340. DOI: <https://doi.org/10.3189/172756406781812465>
- [15] Bolch T. Climate change and glacier retreat in northern Tien Shan (Kazakhstan/Kyrgyzstan) using remote-sensing data // *Global and Planetary Change*. 2007. No. 56 (1-2). P. 1-12 DOI: <https://doi.org/10.1016/j.gloplacha.2006.07.009>
- [16] Kotlyakov V. M., Severskiy I. V. Glaciers of Central Asia: current situation, changes and possible impact on water resources // *Assessment of Snow, Glaciers and Water Resources in Asia: Selected papers from the Workshop in Almaty, Kazakhstan*. Koblenz, 2009. P. 36-43.
- [17] Cogley J. G. Glacier shrinkage across High Mountain Asia // *Annals of Glaciology*. 2016. Vol. 57(71). P. 41-49. DOI: <https://doi.org/10.3189/2016AoG71A040>
- [18] Li B., Zhu A., Zhang Y., Pei T., Qin C., Zhou C. Glacier change over the past four decades in the middle Chinese Tien Shan // *Journal of Glaciology*. 2007. Vol. 52. P. 425-432. DOI: [10.3189/172756506781828557](https://doi.org/10.3189/172756506781828557)
- [19] Severskiy I.V., Blagoveshenskiy V.P., Severskiy S.I., Pimankina N.V., Xie Zichu, Zhan Zhizong, Hu Ruji. Snow cover and avalanches of Tien Shan. Almaty, 2006. 184 p. (in Russ.).
- [20] WGMS (2015). Global Glacier Change Bulletin No. 1 (2012–2013) / Edited by: Zemp M., Gärtner-Roer I., Nussbaumer S. U., Hüsler F., Machguth H., Mölg, N., Paul F., Hoelzle M. ISC(WDS)/IUGG(IACS)/UNEP/UNESCO/ WMO, World Glacier Monitoring Service. Zürich, 2015. 230 p. DOI: <https://doi.org/10.5904/wgms-fog-2015-11>
- [21] Zemp M., Frey H., Gärtner-Roer I., Nussbaumer S., Hoelzle M., Paul F., Haerberli W., Denzinger F... Vincent C. Historically unprecedented global glacier decline in the early 21st century // *Journal of Glaciology*. 2015. Vol. 61(228). P. 745-762. DOI: <https://doi.org/10.3189/2015JoG15J017>
- [22] Fountain G., Hoffman M. J., Granshaw F., Riedel J. The 'benchmark glacier' concept – does it work? Lessons from the North Cascade Range, USA // *Annals of Glaciology*. 2009. Vol. 50(50). P. 163-168. DOI: <https://doi.org/10.3189/172756409787769690>
- [23] Vincent C., Fischer A., Mayer C., Bauder A., Galos S. P., Funk M, Thibert E., Six D., Braun L., Huss M. Common climatic signal from glaciers in the European Alps over the last 50 years // *Geophysical Research Letters*. 2017. Vol. 44. P. 1376-1383. DOI: <https://doi.org/10.1002/2016GL072094>
- [24] Zemp M., Huss M., Eckert N., Thibert E., Paul F., Nussbaumer S. U., Gärtner-Roer I. Brief communication: Ad hoc estimation of glacier contributions to sea-level rise from the latest glaciological observations // *The Cryosphere*. 2020. Vol. 14. P. 1043-1050. DOI: <https://doi.org/10.5194/tc-14-1043-2020>
- [25] Barandun M., Fiddes J., Scherler M., Mathys T., Saks T., Petrakov D., Hoelzle M. The state and future of the cryosphere in Central Asia // *Water Security*. 2020. Vol. 11. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.wasec.2020.100072>
- [26] Sakai, A. Brief communication: Updated GAMDAM glacier inventory over high-mountain Asia // *The Cryosphere*. 2019. Vol. 13. P. 2043-2049. DOI: <https://doi.org/10.5194/tc-13-2043-2019>
- [27] Mölg N., Bolch T., Rastner P., Strozzi T., Paul F. A consistent glacier inventory for Karakoram and Pamir derived from Landsat data: Distribution of debris cover and mapping challenges // *Earth System Science Data*. 2018. Vol. 10. P. 1807-1827. DOI: <https://doi.org/10.5194/essd-10-1807-2018>.
- [28] Zemp M., Huss M., Thibert E., Eckert N., McNabb R., Bannwart J., Barandun M...Cogley J. Global glacier mass changes and their contributions to sea-level rise from 1961 to 2016 // *Nature*. 2019. Vol. 568. DOI: [10.1038/s41586-019-1071-0](https://doi.org/10.1038/s41586-019-1071-0)
- [29] Wouters B., Gardner S. A., Moholdt G. Global Glacier Mass Loss During the GRACE Satellite Mission (2002-2016) // *Frontiers in Earth Science*. 2019. Vol. 7. DOI: <https://doi.org/10.3389/feart.2019.00096>
- [30] Miles E., McCarthy M., Dehecq A., Kneib M., Fugger S., Pellicciotti F. Health and Sustainability of Glaciers in High Mountain Asia // *Nature Communications*. 2021. Vol. 12. DOI: [10.1038/s41467-021-23073-4](https://doi.org/10.1038/s41467-021-23073-4)
- [31] Arendt A., Echelmeyer K., Harrison W., Lingle C., Zirnheld S., Valentine V., Ritchie B., Druckenmiller M. Updated estimates of glacier volume changes in the western Chugach Mountains, Alaska, and a comparison of regional extrapolation methods // *Journal of Geophysical Research*. 2006. Vol. 111(F3). DOI: [10.1029/2005JF000436](https://doi.org/10.1029/2005JF000436)
- [32] Huss M. Extrapolating glacier mass balance to the mountain-range scale: the European Alps 1900–2100 // *The Cryosphere*. 2012. Vol. 6. P. 713-727. DOI: <https://doi.org/10.5194/tc-6-713-2012>

- [33] Davaze L., Rabatel A., Dufour A., Hugonnet R., Arnaud Y. Region-Wide Annual Glacier Surface Mass Balance for the European Alps From 2000 to 2016 // *Frontiers in Earth Science*. 2020. Vol. 8:149. DOI: 10.3389/feart.2020.00149
- [34] Zhuang L., Ke C., Cai Y., Nourani V. Measuring glacier changes in the Tianshan Mountains over the past 20 years using Google Earth Engine and machine learning // *Journal of Geographical Sciences*. 2023. Vol. 33. P. 1939-1964. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11442-023-2160-4>
- [35] Caro A., Condom T., Rabatel A. Climatic and Morphometric Explanatory Variables of Glacier Changes in the Andes (8–55°S): New Insights from Machine Learning Approaches // *Frontiers in Earth Science*. 2021. Vol. 9. P. 1-21. DOI: 10.3389/feart.2021.713011
- [36] Water resources of Kazakhstan: assessment, forecast, management: Vol. VI. Severskiy I. V., Kokarev A. L., Pimankina N. V. Snow and ice resources of Kazakhstan. Almaty, 2012. 246 p. (in Russ.).
- [37] Vilesov Ye. N. Dynamics and current state of glaciation of the mountains of Kazakhstan. Almaty, 2016. 268 p. (in Russ.).
- [38] Surface water resources of the USSR. Catalogue of glaciers of the USSR. Vol. 13. Central and Southern Kazakhstan. Issue 2, part 1. Authors: Vilesov Ye.N., Khonin R.V. Basins of the left tributaries of the Ili River from the mouth of the Kurty River to the mouth of the Turgen River. L.: Gidrometeoizdat, 1967. 78 p. (in Russ.).
- [39] Surface water resources of the USSR. Catalog of glaciers of the USSR. Vol. 13. Center. and Southern Kazakhstan. Vol. 2, part 2. Compiled by Ye. N. Vilesov. Chilik River. L.: Gidrometeoizdat, 1968. 52 p. (in Russ.).
- [40] Glaciological Dictionary / Ed. by V. M. Kotlyakov. L.: Gidrometeoizdat, 1984. 528 p. (in Russ.).
- [41] Severskiy I., Vilesov Ye., Armstrong R., Kokarev A., Kogutenko L., Usmanova Z., Morozova V., Raup B. Changes in glaciation of the Balkhash-Alakol basin, Central Asia, over recent decades // *Annals of Glaciology*. 2016. Vol. 57(71). P. 382-394. DOI: 10.3189/2016AoG71A575
- [42] Paul F., Barrand N., Baumann S., Berthier E., Bolch T., Casey K., ... Winsvold S. On the accuracy of glacier outlines derived from remote-sensing data // *Annals of Glaciology*. 2013. Vol. 54(63). P. 171-182. DOI:10.1016/j.rse.2017.08.038
- [43] Paul F., Bolch T., Briggs K., Kääb A., McMillan M., McNabb R., Nagler T., Nuth C., Rastner P., Strozzi T., Wuite J. Error sources and guidelines for quality assessment of glacier area, elevation change, and velocity products derived from satellite data in the Glaciers cci project // *Remote Sensing of Environment*. 2017. Vol. 203. P. 256-275. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.rse.2017.08.038>
- [44] Severskiy I. V. On the problem of monitoring changes in glaciation of integral glacial systems // *Questions of geography and geocology*. 2012. No. 2. P. 12-18 (in Russ.).
- [45] Shchetinnikov A. S. Morphology and regime of glaciers of the Pamir-Alai. Tashkent, SANIGMI Publishing House, 1998. 219 p. (in Russ.).
- [46] Usabaliyev R. A., Dudashvili A. S., Elemanov O. I. Glaciation of the northern slopes of the Turkestan and Alai ranges and its modern dynamics // *Ice and snow*. 2012. No. 1(117). P. 24-28 (in Russ.).
- [47] Bajracharya S. R., Maharjan S. B., Shrestha F., Guo W., Liu S., Immerzeel W., Shrestha B. (2015). The glaciers of the Hindu Kush Himalayas: current status and observed changes from the 1980s to 2010 // *International Journal of Water Resources Development*. 2015. Vol. 31(2). P. 161-173. DOI: 10.1080/07900627.2015.1005731
- [48] Bajracharya S. R., Maharjan S. B., Shrestha F., Bajracharya O. R., Baidya S. Glacier status in Nepal and decadal change from 1980 to 2010 based on landsat data / *Research report 2014 (2)*. Kathmandu, ICIMOD – 2014. Table 4.1. [Электрон. Ресурс]. – 2014. URL: lib.icimod.org (Дата обращения 01.05.2024)
- [49] Severskiy I. V., Mukanova B. A., Kapitsa V. P., Tatkova M. Ye., Kokarev A. L., Shesterova I. N. Changes in the glaciation of the northern slope of Ile Alatau over the seventy-year period // *Bulletin of KazNU. Geographical Series*. 2024. Vol. 73(2). P. 59-71. DOI: <https://doi.org/10.26577/JGEM.2024.v73.i2-05>

М. Е. Таткова*¹, И. В. Северский², З. С. Усманова³, В. П. Капица⁴

* Кіші ғылыми қызметкер, докторант (ЮНЕСКО аясындағы 2-санатты Орталық Азия өңірлік гляциологиялық орталығы, әл-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университеті, Алматы, Қазақстан; tatkova_m@mail.ru)

² ҚР ҰҒА академигі, география ғылымдарының докторы, профессор; ғылыми жетекшісі (ЮНЕСКО аясындағы 2-санатты Орталық Азия өңірлік гляциологиялық орталығы, Алматы, Қазақстан; iseverskiy@gmail.com)

³ Ғылыми қызметкер (ЮНЕСКО аясындағы 2-санатты Орталық Азия өңірлік гляциологиялық орталығы, Алматы, Қазақстан; zamira_usmanova@mail.ru)

⁴ Ғылыми қызметкер (ЮНЕСКО аясындағы 2-санатты Орталық Азия өңірлік гляциологиялық орталығы, Алматы, Қазақстан; vasil.geo@mail.ru)

ТАУ МҰЗДЫҚ ЖҮЙЕЛЕРІН ОПЕРАТИВТІ МОНИТОРИНГТЕУ ӘДІСТЕМЕСІНІҢ МҮМКІНДІКТЕРІН ТЕСТІЛЕУ

Аннотация. Мақалада тестілік мұздықтардың санының шектеулі таңдамасы бойынша мониторинг деректері негізінде Солтүстік-Іле және Іле-Күнгей мұздық жүйелерінің мұзбасу аймағын бағалау мүмкіндіктері қарастырылған. Аталған мұздық жүйелерінің әрқайсысында тестілеу жүргізу барысында 10 мұздық бойынша екі таңдама, олардың жалпы таңдамасы (20 мұздық) және аталған әрбір мұзбасу аймағындағы олардың жиынтық ауданы үлесіндегі аумақтары туралы мәліметтер бойынша тиісінше мұздық жүйелеріндегі

мұздықтар ауданы есептелді. Тестілеу нәтижелеріне сәйкес, мұздықтардың аталған үш таңдамасы бойынша мұзбасу ауданының есептік және нақты (мұздықтарды каталогтау нәтижелері бойынша) мәндерінің корреляция коэффициентінің шамалары Солтүстік-Іле мұздық жүйесі үшін 0,99, 0,98 және 0,99 және Іле-Күнгей жүйесі үшін тиісінше 0,99, 0,97, 0,99 құрады. Тестілеу нәтижелері қателігі $\pm 5\%$ -дан аспайтын тиісті мұздық жүйесінде мұздықтардың санының шектеулі таңдамасының аудандары бойынша мәліметтер негізінде тау мұздық жүйелерінің мұзбасу алаңының динамикасын жедел мониторингтеу мүмкіндігіне күмән келтірмейді. Тестілеу нәтижелеріне сәйкес, 88% жағдайда қарастырылып отырған мұздық жүйелерінің мұзбасу ауданының есептік мәндері нақты мәндерге қатысты 5%-дан төмен болды және 33-тің 4-де ғана (12%) есептік деректердің нақты деректерден ауытқуының орташа мәні 2%-дан төмен және есептеудің едәуір жоғары қателіктері 7,76 және -9,6% көрсетті. Бұл тау мұздық жүйелерін оперативті мониторингтеу әдістемесінің жоғары тиімділігін көрсетеді. Бұл зерттелетін мұздық жүйесінің көпжылдық мұзының жойылуын және еріген мұздық суларының өзен ағынының қалыптасуына ықпалын оперативті (бірнеше жылда 1 реттен әр жыл сайын қайталану) бағалауға мүмкіндік береді, бұл өз кезегінде қазіргі және болжамды өзгерістерді сәйкесінше модельдеу үшін жақсы негіз болып табылады.

Түйін сөздер: Іле Алатауы, Күнгей Алатауы, мұздық жүйесі, мұздық ауданы, мұздық мониторингі.

M. Ye. Tatkova^{*1}, I. V. Severskiy², Z. S. Usmanova³, V. P. Kapitsa⁴

^{1*} Junior Researcher, Doctoral Student (Central Asian Regional Glaciological Center as a category 2 under the auspices of UNESCO, al-Farabi Kazakh National University, Almaty, Kazakhstan; tatkova_m@mail.ru)

² Academician of the National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan, Doctor of Geographical Sciences, Professor; Scientific Director (Central Asian Regional Glaciological Center as a category 2 under the auspices of UNESCO, Almaty, Kazakhstan; iseverskiy@gmail.com)

³ Researcher (Central Asian Regional Glaciological Center as a category 2 under the auspices of UNESCO, Almaty, Kazakhstan; zamira_usmanova@mail.ru)

⁴ Senior Researcher (Central Asian Regional Glaciological Center as a category 2 under the auspices of UNESCO, Almaty, Kazakhstan; vasil.geo@mail.ru)

TESTING THE CAPABILITIES OF THE METHOD OF OPERATIONAL MONITORING OF MOUNTAIN GLACIER SYSTEMS

Abstract. The article considers the possibilities of assessing the glaciation area of the Northern Ile and Ile-Kungey glacier systems based on monitoring data from a limited sample of test glaciers. During testing in each of the mentioned glacier systems, based on the data on the area of two samples of 10 glaciers, their total sample (20 glaciers) and their share in the total area of glaciers in each of the named glaciation regions, the area of glaciers of the corresponding glacier system was calculated. According to the testing results, the values of the correlation coefficient of the calculated and actual (based on the results of glacier cataloguing) values of the glaciation area for the three mentioned glacier samples were 0.99, 0.98, and 0.99 for the Northern Ile glacier system and 0.99, 0.97, and 0.99 for the Ile-Kungey, respectively. The testing results leave no doubt about the possibility of operational monitoring of the glaciation area dynamics of mountain glacier systems based on the data on the area of a limited sample of glaciers of the corresponding glacier system with an error of no more than $\pm 5\%$. According to the testing results, the calculated values of the glacier area of the considered glacier systems in 88 % of cases were less than 5% of the actual values, and only in 4 cases out of 33 (12 %) they exceeded this threshold, with an average deviation of the calculated data from the actual values of less than 2 % and the largest calculation errors of 7.8 and -9.6 %. This indicates the high efficiency of the method of operational monitoring of mountain glacier systems. It allows to rapidly (with a repeatability from once every few years to annually) assess the loss of perennial ice in the considered glacier system and the contribution of glacial meltwater to the formation of river flow. Which, in its turn, is a good basis for the corresponding modeling of current and predicted changes.

Keywords: Ile Alatau, Kungei Alatau, glacier system, glacier area, glacier monitoring.

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

<https://doi.org/10.55764/2957-9856/2024-3-84-95.28>

МРНТИ 39.19.31
УДК 911.52; 911.6; 912.43

А. А. Токбергенова¹, Т. А. Басова², И. Б. Скоринцева³, А. М. Рыскельдиева^{*4}

¹ К. г. н., доцент, заведующая кафедрой географии, землеустройства и кадастра
(Казахский национальный университет им. аль-Фараби, Алматы, Казахстан; aigul.tokbergenova@kaznu.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 Д. г. н., доцент, руководитель лаборатории ландшафтоведения и проблем природопользования
(АО «Институт географии и водной безопасности», КазНУ им. аль-Фараби, Алматы, Казахстан;
skorintseva@mail.ru)

^{4*} Ст. преподаватель кафедры географии, землеустройства и кадастра
(Казахский национальный университет им. аль-Фараби, Алматы, Казахстан; aiganris_81@mail.ru)

**ОЦЕНКА СОВРЕМЕННОЙ ЛАНДШАФТНОЙ СТРУКТУРЫ
ЗАПАДНО-КАЗАХСТАНСКОГО РЕГИОНА**

Аннотация. Представлена оценка современной ландшафтной структуры Западно-Казахстанского региона, базирующая на разработанной карте современных ландшафтов, выполненной в масштабе 1:1 500 000. Установлено, что в ландшафтной структуре всего региона наибольшие площади занимают виды ландшафтов возвышенных пластовых равнин (17,8 % площади региона) и структурных плато (14,6 %). Качественный и количественный анализ ландшафтной структуры и оценка динамических тенденций трансформации ландшафтов позволили определить, что в степной и сухостепной зонах региона антропогенно преобразованные природно-территориальные комплексы (ПТК) имеют место быть практически во всех выделенных видах ландшафтов и занимают 51,2 и 42,6 % площади ПТК этих зон. В природных комплексах полупустынной и пустынной природных зон к антропогенно преобразованным относится 29,9 и 23,2 % их площади. На базе региональной оценки современной ландшафтной структуры разрабатываются экологическое нормирование антропогенных нагрузок и подходы к организации системы рационального природопользования, направленные на устойчивое функционирование природно-хозяйственных систем.

Ключевые слова: видовое ландшафтное разнообразие, картирование, ландшафт, природно-территориальный комплекс, типологические единицы ландшафтов.

Введение. В Западно-Казахстанском регионе сельскохозяйственное и промышленное производство являются основными факторами воздействия на природные комплексы, вызывая их трансформацию и потерю природно-ресурсного потенциала. Устойчивое развитие природно-хозяйственных и социально-экономических систем требует комплексной региональной оценки и анализа природных условий, естественных ресурсов и особенностей хозяйственного развития. Решение перечисленных задач должно опираться на ландшафтные исследования, неотъемлемой частью которых является составление ландшафтных карт. Создание карт современных ландшафтов и оценка их структуры в меняющихся социально-экономических условиях являются актуальными,

так как ландшафтная карта содержит объективную научную информацию о территориальных различиях фоновых и антропогенно преобразованных природных комплексов регионального и локального уровней, которые имеют важное научное и прикладное значение для решения задач по разработке нормирования антропогенных нагрузок при различных видах хозяйственного воздействия, установления порогов устойчивости конкретных видов ландшафтов и разработки мероприятий по устойчивому функционированию природно-хозяйственных систем Западно-Казахстанского региона.

При решении прикладных задач по рациональному природопользованию необходимы информационно-оценочные знания и учет сложности (неоднородности) ландшафтной дифференциации земель. Главным показателем неоднородности ландшафтной организации территории является пространственная, горизонтальная (морфологическая) структура ландшафтов. Для изучения с позиций системного подхода в качестве самостоятельного интегрального метода следует рекомендовать структурно-морфологический анализ. Структурно-морфологический ландшафтный анализ территории понимается нами как совокупность качественных и количественных методов, направленных на изучение пространственной структуры ландшафтов в трех направлениях: взаимосвязей и взаимозависимостей морфологических частей ландшафта, отдельных элементов и целостности организации ПТК. Объектом исследования при структурно-морфологическом анализе является ландшафтная карта, а исходными данными – картометрические показатели. Изучение структурной организации ПТК различного таксономического ранга на уровне элементов связано с выявлением и изучением дискретных, относительно неделимых частей конкретного ландшафта, в качестве которых наиболее целесообразно принимать вид ландшафта или группу урочищ.

Материалы и методы исследования. Ландшафтную структурную организацию Западно-Казахстанского региона мы рассматриваем как зональную систему ландшафтов с учетом генезиса ПТК. Генетический принцип классификации сопряжен со структурным анализом геосистем, который обеспечивает классификационную основу ее содержания – рассмотрение ландшафта как природной целостности со всеми ее элементами и системой их организации. Объектом исследования при структурно-морфологическом анализе является ландшафтная карта, а исходными данными – картометрические показатели. В методологическом и методическом отношении основным отличием карт современных ландшафтов от карт фоновых (коренных) ландшафтов является то, что они должны объективно отражать дифференциацию современного состояния природных комплексов по отношению к фоновым (естественным) ПТК и генетическую связь с ними. Этот подход возможен при условии комплексного использования системного, регионального, генетического, типологического, исторического, ландшафтно-экологического подходов и др. [1-5], а также комплекса принципов, таких, как прогнозно-динамический; функциональной целостности территории; комплексного сопряженного анализа составляющих компонентов ландшафта; оптимального функционирования; учета и сохранения ландшафтного разнообразия; природно-ресурсной, экологической и экономической целесообразности использования определенных природных комплексов и др.

Базовой научной моделью для анализа и оценки современной ландшафтной структуры Западно-Казахстанского региона стали созданная нами карта современных ландшафтов на исследуемую территорию и региональные описания основных закономерностей ландшафтной ее организации. При разработке этой карты использованы методы: картографический и данных ДЗЗ; полевых исследований; количественной оценки и картографо-математического анализа; классификационных построений и ландшафтного анализа и др. В качестве картографической основы для картирования ПТК региона применялись топографические карты на территории Актюбинской, Западно-Казахстанской, Атырауской и Мангистауской областей масштаба 1:1 000 000; разномасштабные тематические карты (геологические, геоморфологические, почвенные, геоботанические, кормовые и т.д.); разновременные данные ДЗЗ, фондовые и статистические материалы (рисунок 1).

При ландшафтном картографировании и составлении легенды к карте современных ландшафтов Западно-Казахстанского региона за основу была принята типологическая классификация, разработанная для фоновых ландшафтов [3, 5-8] и адаптированная нами для современных ландшафтов в контексте того, что классификационные построения должны отражать определенные



Рисунок 1 – Картографический материал для составления карты современных ландшафтов Западно-Казахстанского региона

Figure 1 – Cartographic material for mapping modern landscapes of the West Kazakhstan region

стадии временного состояния природных комплексов по отношению к исходному (фоновому) и генетическую связь с исходным инвариантом. На основе этой классификации выделены таксономические единицы современных природно-территориальных комплексов, в основу которых положены морфоструктурные и биоклиматические признаки, а основными единицами современной ландшафтной структуры явились типологические единицы – класс – подкласс – тип – подтип – вид ландшафта [9, 10].

Класс ландшафтов является высшей классификационной единицей на карте современных ландшафтов Западно-Казахстанского региона, который объединяет ПТК с одинаковыми морфоструктурными особенностями. В исследуемом регионе преобладают главным образом равнинные ландшафты. В подкласс ландшафтов объединены природно-территориальные комплексы, имеющие общие черты в ярусной дифференциации, генезисе, характере рельефа и литологическом строении. Тип и подтип ландшафтов выделялись на основе биоклиматических показателей, ведущим из которых является соотношение тепла и влаги, которое определяет тип почвообразования и характер растительного покрова.

Составленная карта современных ландшафтов на территорию региона в масштабе 1:1 500 000 является мелкомасштабной, отражает общие закономерности пространственного распределения природных комплексов и может служить базовой основой при составлении региональных планов устойчивого природопользования. Основной единицей картирования в этом случае является вид ландшафта, который представляет собой совокупность однотипных по генезису (особенности рельефа, литологии пород, почв, растительности) и структуре индивидуальных ПТК. Карта современных ландшафтов Западно-Казахстанского региона сопровождается матричной и развернутой текстовой легендой, в которой отражены как фоновые ландшафты, так и их антропогенные модификации (в легенде отмечены порядковым номером фонового вида ландшафта с индексом «а»), которые представляют собой природные комплексы, трансформированные вследствие земледельческого, пастбищного, селитебного и промышленно-техногенного воздействия и имеющие генетическую связь с исходным инвариантом (таблица 1). Природные комплексы, подверженные слабой трансформации, как правило, сохраняют природные черты и на карте отдельными контурами нами не выделялись, а картировались вместе с фоновыми природными комплексами.

Таблица 1 – Фрагмент легенды к карте современных ландшафтов, масштаб 1:1 500 000

Table 1 – Fragment of the legend for the map of modern landscapes, scale 1:1 500 000

Порядковый номер ландшафта	Класс: Равнинный, тип: Степной, подкласс: возвышенный
<i>Вид: пластовая равнина, сложенная глинами, песками, песчаниками, галечниками верхнего мела, палеогена и неогена</i>	
1	Слабоволнистая слабонаклонная, местами осложненная понижениями, с разнотравно-типчаково-ковыльной, австрийскопопынно-ковылково-типчаковой с участием длительнопроизводной растительности на черноземах южных карбонатных, местами с участием разнотравно-злаковой на лугово-черноземных почвах по понижениям и осиново-березовых колок на солодах
1a	То же, занятая богарными и залежными (разной стадии восстановления) комплексами, на месте разнотравно-ковылково-красноковыльных степей, растительность местами с участием селитебных комплексов
<i>Вид: цокольная равнина, сложенная метаморфическими, эффузивными осадочными толщами допалеозоя и палеозоя</i>	
2	Слабоволнистая слабонаклонная с разнотравно-типчаково-ковылковой, мятликово-австрийскопопынно-дерновиннозлаковой растительностью на черноземах южных карбонатных
2a	То же, занятая богарными и залежными (разной стадии восстановления) комплексами, на месте разнотравно-ковыльно-ковылковых степей, местами с участием селитебных комплексов

Результаты и их обсуждение. Для устойчивого развития природно-хозяйственных и социально-экономических систем Западно-Казахстанского региона была создана карта современных ландшафтов в масштабе 1:1 500 000, которая является основой для оценки современной ландшафтной структуры. На карте выделено 115 видов ландшафтов, которые наглядно демонстрируют пространственную дифференциацию, сложную региональную структурную организацию и значительное видовое разнообразие современных природных комплексов, обусловленных географическим положением региона, историей геологического и геоморфологического развития, проявлением неблагоприятных природно-антропогенных процессов в результате продолжительной хозяйственной деятельности (рисунок 2).

Различия в строении рельефа, характере и степени вертикальной и горизонтальной расчлененности позволили выделить в Западно-Казахстанском регионе равнинный и горный классы ландшафтов. Равнинные ландшафты занимают 99,7 %, а горные – 0,3 % площади региона. На основе различий в генезисе, характере рельефа и литологическом строении в равнинном классе выделены подклассы низменных, возвышенных равнин и мелкосопочников; в горном классе – подкласс низкогорный. Из интразональных ПТК выделяются долинные и хемогенные комплексы. В равнинной части региона наибольшие площади занимают ландшафты низменных и возвышенных равнин (47,8 и 41,3 % всей площади соответственно), наименьшие площади – интразональные ПТК (7,9 %) и ландшафты мелкосопочников (2,9 %) (рисунок 3). Различия биоклиматических показателей в Западно-Казахстанском регионе определили широкий спектр типологического разнообразия (от степной зоны до пустынной), причем на долю пустынной зоны приходится 58,2 % площади ЗКР.

Разнообразные природно-климатические и геоморфологические условия региона предопределили значительное видовое разнообразие ландшафтов. В таблице 2 представлена развернутая структура всех выделенных природных комплексов региона.

При анализе видового разнообразия ПТК Западно-Казахстанского региона мы руководствовались данными о видовом разнообразии фоновых ландшафтов. При составлении карты современных ландшафтов внутри фоновых видов были отмечены их антропогенно преобразованные модификации. С учетом закона инвариантности, заключающего в том, что каждый преобразованный ПТК при прекращении хозяйственного воздействия на него в своем развитии стремится к исходному инварианту, выделены ПТК с индексом «а», которые рассматриваются нами как динамические разновидности внутри определенного вида, а при учете видового разнообразия как отдельный вид не рассматриваются. С другой стороны, пространственное выделение антропогенно преобразованных ПТК с индексом «а» усиливает мозаичность или ландшафтный рисунок территории региона, что дает нам основание учитывать антропогенные ПТК при анализе ландшафтной структуры.

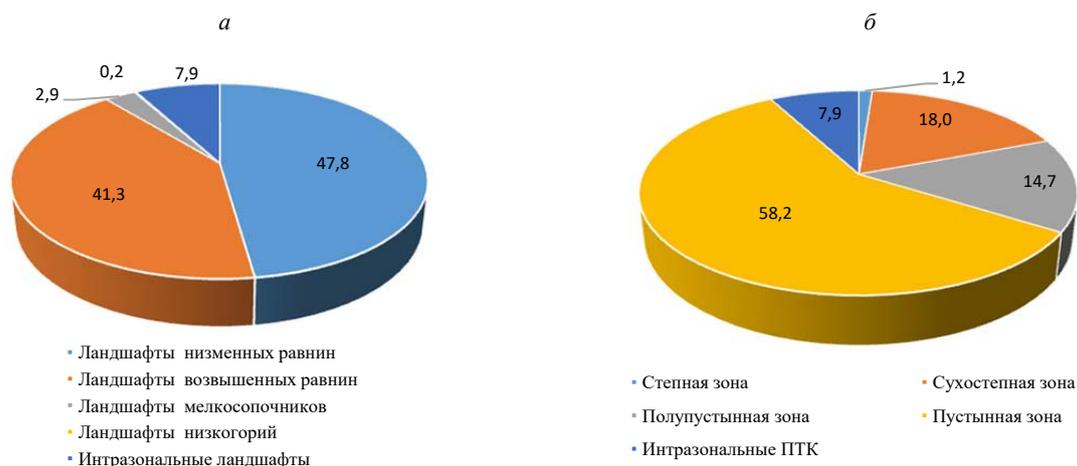


Рисунок 3 – Ранжирование подклассов ландшафтов и природных зон Западно-Казахстанского региона по занимаемой площади, %: *а* – подклассы ландшафтов; *б* – природные зоны
 Figure 3 – Ranking of landscapes subclasses and natural zones of the West Kazakhstan region by occupied area, %:
a – landscapes subclasses; *b* – natural zones

Таблица 2 – Структурная организация ландшафтов Западно-Казахстанского региона
 Table 2 – Structural organization of landscapes of the West Kazakhstan region

Виды ландшафтов		Порядковый номер легенды (видовое разнообразие)	Площадь, км ²	Повторяемость с учетом антропогенно преобразованных ПТК	
1		2	3	4	
Равнины	Степная зона	Ландшафты возвышенных равнин			
		Пластовые	1-1а	783,65	4
		Цокольные	2-3а	5296,56	13
	Сухостепная зона	Ландшафты мелкосопочников			
		Денудационный	4	2553,44	6
		Ландшафты низменных равнин			
		Морские (вторичные)	5-6а	11716,42	21
		Озерно-аллювиальные	7-10а	13479,59	26
		Аллювиальные	11-11а	2630,81	6
		Делювиально-пролювиальные	12-15а	24566,53	38
		Эоловые	16-16а	3318,67	10
		Ландшафты возвышенных равнин			
		Пластовые	17-20	30534,63	41
		Цокольные	21-25а	27675,32	54
		Структурное плато	26-27а	11180,79	8
		Ландшафты мелкосопочников			
	Денудационный	28-30	6243,76	17	
	Полупустынная зона	Ландшафты низменных равнин			
		Морские (вторичные)	31-35а	38864,29	97
		Озерно-аллювиальные	36-36а	5949,30	13
Аллювиальные		37-37а	7847,22	16	
Делювиально-пролювиальные		38-39а	4820,96	20	
Эоловые		40-40а	4967,78	16	
Ландшафты возвышенных равнин					
Пластовые		41-43а	36968,04	66	
Цокольные		44-45а	4812,25	9	
Ландшафты мелкосопочников					
Денудационный мелкосопочник	46-47	4175,15	15		

Окончание таблицы 2					
		1	2	3	4
Равнины	Пустынная зона	Ландшафты низменных равнин			
		Морские (первичные)	48-50	27409,56	39
		Морские (вторичные)	51-58a	62080,11	84
		Озерно-аллювиальные	59-60	9143,59	9
		Аллювиальные	61-65	23980,08	36
		Аллювиально-дельтовые	66-69a	25304,83	30
		Делювиально-пролювиальные	70-72a	10234,93	29
		Эоловые	73-79a	75148,61	96
		Ландшафты возвышенных равнин			
		Пластовые	80-87	62567,01	87
		Цокольные	88-92	22194,13	24
		Структурное плато	93-99	96119,13	56
		Эрозионно-денудационный уступ	100	5784,24	12
		Ландшафты мелкосопочников			
Денудационный	101-104	5438,42	18		
Тектонически-денудационный	105	1636,13	5		
Горы	Сухостепная зона	Ландшафты низкогорий			
		Тектонически-денудационный	106	1125,54	2
	Пустынная зона	Ландшафты низкогорий			
		Тектонически-денудационный	107	1186,20	3
		<i>Долинные ландшафты</i>			
		Поймы с надпойменными террасами	108-113	23194,67	26
		<i>Хемогенные комплексы</i>			
		Соры, солончаки	114-115a	34618,81	71
Всего	115	735692,3	1123		

Наибольшим видовым разнообразием в регионе характеризуются природные комплексы низменных равнин, на долю которых приходится 46,96 % всех выделенных видов ландшафтов. В видовом отношении на низменных равнинах всего региона (независимо от природной зоны) наибольшим видовым разнообразием характеризуются ПТК вторичных морских, эоловых и делювиально-пролювиальных равнин (12,17; 7,83 и 7,83 % всех выделенных видов ландшафтов соответственно). Среди ландшафтов возвышенных равнин наибольшим видовым разнообразием характеризуются ПТК пластовых и цокольных равнин (13,91 и 12,17 %) (рисунок 4).

В площадном отношении в ландшафтной структуре всего региона преобладают виды ландшафтов возвышенных пластовых равнин (17,8 % площади региона) и структурных плато (14,6 %), а также природные комплексы низменных вторичных морских (15,3 %) и эоловых (11,4 %) равнин. Подчиненное значение имеют ландшафты низменных аллювиальных, озерно-аллювиальных и делювиально-пролювиальных равнин (4,7; 3,9 и 5,4 % площади региона соответственно). Наименьшие площади занимают природные комплексы тектонически-денудационных мелкосопочников и низкогорий, всего 0,2 и 0,3 % площади.

Более подробно остановимся на картографическом анализе пространственной дифференциации и структурной организации природных комплексов в разрезе природных зон и подзон. В степной зоне Западно-Казахстанского региона выделяются возвышенные пластовые, цокольные равнины и мелкосопочники, которые расположены в междуречье Илек и ее притока Жаксы-Каргалы на севере региона и в отрогах Общего Сырта на северо-западе (номера легенды 1-4). Наиболее представлены ландшафты цокольных равнин (рисунок 5, таблица 2), сложенные метаморфическими, эффузивными осадочными толщами допалеозоя и палеозоя, которые занимают 61,3 % площади степной зоны, характеризуются значительным видовым разнообразием и повторяемостью.



Рисунок 4 – Ранжирование ландшафтов Западно-Казахстанского региона по видовому разнообразию в разрезе подклассов, %: *а* – видовое разнообразие ландшафтов; *б* – разнообразие ПТК по подклассам
 Figure 4 – Ranking of landscapes of the West Kazakhstan region by species diversity in the context of subclasses, %: *a* – species diversity of landscapes; *b* – diversity of natural-territorial complexes by subclasses

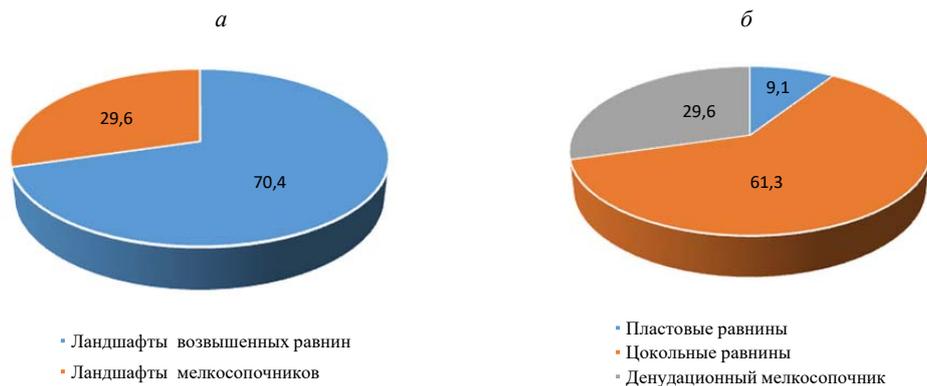


Рисунок 5 – Ранжирование подклассов и видов ландшафтов степной зоны Западно-Казахстанского региона по занимаемой площади, %: *а* – подклассы ландшафтов; *б* – виды ландшафтов
 Figure 5 – Ranking of subclasses and types of landscapes of the steppe zone West Kazakhstan region by occupied area, %: *a* – subclasses of landscapes; *b* – types of landscapes

В целом в степной зоне наибольшим видовым разнообразием и повторяемостью характеризуются ландшафты эоловых равнин (номера легенды 8-16); несколько меньше – пластовых (номера легенды 17-20), древнеаллювиальных и аллювиальных (с учетом долинных) равнин (номера легенды 1-4, 60-64), а наименьшим видовым разнообразием обладают ПТК делювиально-пролювиальных равнин (номера легенды 5-7) (см. таблицу 2). Следует отметить, что в настоящее время большая часть природных комплексов степной зоны распахана и представлена производными модификациями пахотных и залежных (разной стадии восстановления) комплексов на месте разнотравно-ковыльных степей.

В сухостепной зоне в Западно-Казахстанском регионе ландшафтную структуру формируют природные комплексы низменных, возвышенных равнин, мелкосопочников и низкогорий. В целом в сухостепной зоне наибольшим видовым разнообразием и повторяемостью характеризуются ландшафты низменных озерно-аллювиальных, делювиально-пролювиальных равнин и ПТК возвышенных цокольных и пластовых равнин (см. таблицу 2). В настоящее время фоновые при-

родные комплексы сухостепной зоны на значительной территории распаханы и представлены производными модификациями пахотных и залежных (разной стадии восстановления) комплексов на месте ксерофитноразнотравно-типчачково-ковыльных и ковыльковых степей с участием пастбищных комплексов с длительнопроизводной растительностью.

В полупустынной зоне Западно-Казахстанского региона ландшафтную структуру формируют природные комплексы низменных, возвышенных равнин и мелкосопочников, причем наибольшие площади занимают ландшафты низменных равнин (57,6 % площади полупустынной зоны) (рисунок 6).

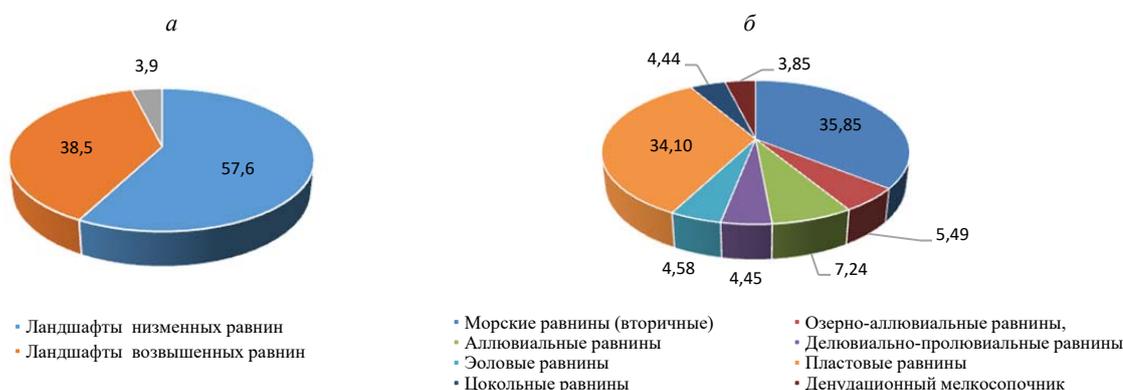


Рисунок 6 – Ранжирование подклассов и видов ландшафтов полупустынной зоны Западно-Казахстанского региона по занимаемой площади, %: а – подклассы ландшафтов; б – виды ландшафтов

Figure 6 – Ranking of subclasses and types of landscapes of the semi-desert zone of the West Kazakhstan region by occupied area, %: a – subclasses of landscapes; b – types of landscapes

В полупустынной зоне наибольшим видовым разнообразием и повторяемостью характеризуются низменные ландшафты вторичных морских и делювиально-пролювиальных равнин, а на возвышенных равнинах – ПТК пластовых равнин (см. таблицу 2). В местах интенсивного выпаса на низменных и возвышенных равнинах выделяются природные комплексы с преобладанием длительно производной растительности внутри фоновых природно-территориальных комплексов.

Ландшафты пустынной зоны преобладают в структуре всего Западно-Казахстанского региона, занимают 58,2 % его площади и представлены природно-территориальными комплексами низменных и возвышенных равнин, мелкосопочников и низкогорий. В плановой структуре ландшафтов пустынной зоны 54,48 % ее площади занимают ПТК низменных равнин, которые сформировались в южной и восточной части Прикаспийской низменности, на полуострове Бозаши и равнинах Северного Приаралья. Наибольшие площади среди низменных равнин занимают ПТК эоловых равнин (17,0 % площади пустынной зоны), они характеризуются высоким видовым разнообразием (номера легенды 73-79) и значительной повторяемостью. В целом на низменных равнинах пустынной зоны наибольшим видовым разнообразием и повторяемостью характеризуются ландшафты эоловых, вторичных морских и аллювиальных равнин, а на возвышенных равнинах – ПТК пластовых равнин и структурных плато.

В Западно-Казахстанском регионе горный класс ландшафтов составляет всего на 0,3 % площади региона. В сухостепной зоне он представлен горной системой Мугалжары. В пустынной зоне на полуострове Мангыстау своеобразие территории придает грядовое островное тектонически-денудационное низкогорье.

Интразональные долинные природные комплексы рек в регионе образуют реки Жайык, Кобда, Елек, Жем, Ойыл и Сагыз и др.

Анализ карты современных ландшафтов Западно-Казахстанского региона показал, что следствием интенсивного и масштабного использования этой территории для хозяйственных целей (орошаемое и богарное земледелие, пастбищное животноводство, селитебное и промышленно-техногенное воздействие, в том числе добыча нефти и газа и др.) явилось значительное формирование антропогенно преобразованных ПТК, которые существенно изменяют морфологию

ландшафта и усиливают его пестроту. В антропогенно преобразованных комплексах региона отмечаются упрощение ландшафтной структуры и снижение их разнообразия. В целом в структуре современных ландшафтов региона порядка 28,7 % их площади относятся к антропогенно преобразованным. В степной и сухостепной зонах антропогенно преобразованные ПТК имеют место быть практически во всех выделенных видах ландшафтов и занимают 51,2 и 42,6 % площади ПТК этих зон. В степной зоне наиболее преобразованы природные комплексы возвышенных равнин, они составляют 63,3 % площади ПТК возвышенных равнин (рисунок 7).

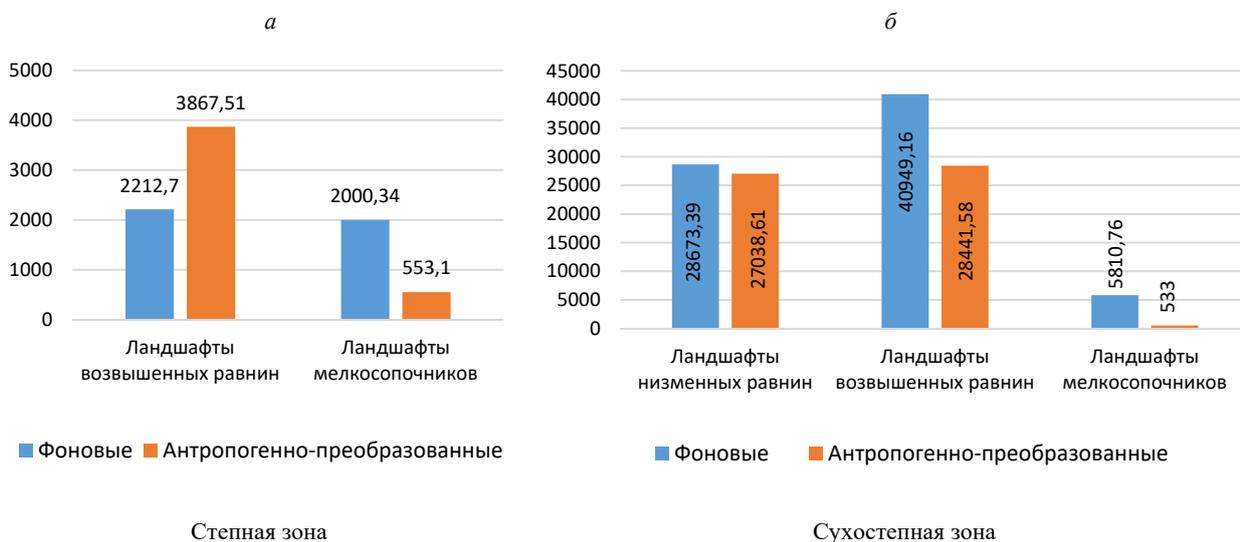


Рисунок 7 – Соотношение площадей фоновых и преобразованных ландшафтов степной и сухостепной зон Западно-Казахстанского региона, км²: а – степная зона, б – сухостепная зона
Figure 7 – The ratio of the areas of the background and transformed landscapes of the steppe and dry steppe zones of the West Kazakhstan region, km²: a – steppe zone, b – dry steppe zone

В сухостепной зоне антропогенно преобразованные ПТК на низменных равнинах составляют 48,5 % их площади, а на возвышенных равнинах – 41,0 %. Основным фактором воздействия являются богарное земледелие, пастбищное животноводство и добыча полезных ископаемых. В пределах природных комплексов полупустынной и пустынной природных зон к антропогенно преобразованным относится 29,9 и 23,2 % их площади. Наибольшие изменения отмечаются в ландшафтах низменных равнин – 35,5 % их площади в полупустынной зоне и 26,1 % в пустынной. Наиболее изменены ПТК аллювиальных, озерно-аллювиальных равнин вследствие воздействия орошаемого земледелия; эоловых равнин вследствие чрезмерного пастбищного воздействия; первичных и вторичных морских равнин под воздействием промышленно-техногенного характера.

Заключение. Ландшафтные исследования Западно-Казахстанского региона позволили выявить особенности ландшафтной структуры, системные свойства природно-территориальных комплексов, их локальные связи и взаимозависимости, площади преобразованных ландшафтов и др.

Наибольшим видовым разнообразием в регионе исследования характеризуются природно-территориальные комплексы низменных равнин, на долю которых приходится 46,96 % всех выделенных видов ландшафтов, в частности ПТК вторичных морских, эоловых и делювиально-пролювиальных равнин. Среди ландшафтов возвышенных равнин наибольшим видовым разнообразием характеризуются природно-территориальные комплексы пластовых и цокольных равнин (13,91 и 12,17 % от площади всех выделенных видов ландшафтов). В площадном отношении в ландшафтной структуре всего Западно-Казахстанского региона наибольшие площади занимают виды ландшафтов возвышенных пластовых равнин (17,8 % от площади региона) и структурных плато (14,6 %).

Качественный и количественный анализ ландшафтной структуры и оценка динамических тенденций трансформации ландшафтов позволили установить, что в степной и сухостепной зонах

антропогенно преобразованные природно-территориальные комплексы имеются практически во всех выделенных видах ландшафтов и занимают 51,2 и 42,6 % площади ПТК этих зон. В природных комплексах полупустынной и пустынной природных зон к антропогенно преобразованным относится 29,9 и 23,2 % их площади.

Созданная карта современных ландшафтов на территорию Западно-Казахстанского региона служит научно-информационной базой для разработки оценочных карт геоэкологического и природоохранного направлений. Для преодоления негативного антропогенного воздействия на ландшафты и предупреждения возможных новых угроз необходимы знания о современном состоянии природы и ландшафта, о действующих и ожидаемых тенденциях изменений, о самих действующих и ожидаемых угрозах, а также о возможностях восстановления утраченных качеств природы и ландшафта.

На базе оценки современной ландшафтной структуры возможны разработка экологического нормирования антропогенных нагрузок и выработка единого подхода к организации системы рационального природопользования, направленного на устойчивое функционирование природно-хозяйственных систем.

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] Преображенский В.С., Александрова Т.Д., Куприянова Т.П. Основы ландшафтного анализа. – М.: Наука, 1988. – 192 с.
- [2] Николаев В.А. Проблемы регионального ландшафтоведения. – М.: МГУ, 1979. – 160 с.
- [3] Мамай И.И. Динамика и функционирование ландшафтов. – М., 2005. – 137 с.
- [4] Сочава В.Б. Введение в учение о геосистемах. – Новосибирск, 1978. – 319 с.
- [5] Гельдыева Г.В., Веселова Л.К. Ландшафты Казахстана. – Алма-Ата: Гылым, 1992. – 176 с.
- [6] Гвоздецкий Н.А. Опыт классификации ландшафтов СССР // Материалы к V Всесоюзному совещанию по вопросам ландшафтоведения. – М., 1961. – С. 23-24.
- [7] Исаченко А.Г. Основы ландшафтоведения и физико-географического районирования. – М.: Высшая школа, 1965. – 324 с.
- [8] Солнцев Н.А. Ближайшие задачи ландшафтоведения // Ландшафтный сборник. – М.: МГУ, 1970. – С. 4-9.
- [9] Атлас Казахской ССР. – М.: ГУГК, 1982. – Т. 1. – С. 3456.
- [10] Национальный атлас Республики Казахстан. Т. 1. Ландшафты. Физико-географическое районирование. – Алматы, 2010. – С. 119-149.

REFERENCES

- [1] Preobrazhensky V., Aleksandrova T., Kupriyanova T. Basics of landscape analysis. M.: Nauka, 1988. 192 p. (in Russ.).
- [2] Nikolayev V. Problems of regional landscape science. M.: MSU, 1979. 160 p. (in Russ.).
- [3] Mamai I. Dynamics and functioning of landscapes. M., 2005. 137 p. (in Russ.).
- [4] Sochava V.B. Introduction to the study of geosystems. Novosibirsk, 1978. 319 p. (in Russ.).
- [5] Geldiyeva G., Vesselova L. Landscapes of Kazakhstan. Alma-Ata: Gylym, 1992. 176 p. (in Russ.).
- [6] Gvozdetsky N. Experience of classification of landscapes of the USSR // Materials for the V All-Union Meeting on Landscape Science. M., 1961. P. 23-24 (in Russ.).
- [7] Isachenko A. Fundamentals of landscape science and physical-geographical zoning. M.: Higher School, 1965. 324 p. (in Russ.).
- [8] Solntsev N. Immediate tasks of landscape science // Landscape collection. M.: MSU, 1970. P. 4-9 (in Russ.).
- [9] Atlas of the Kazakh SSR. M.: GUGK, 1982. Vol. 1. P. 34-56 (in Russ.).
- [10] National Atlas of the Republic of Kazakhstan. Vol. 1. Landscapes. Physiographic zoning. Almaty, 2010. P. 119-149 (in Russ.).

А. А. Токбергенова¹, Т. А. Басова², И. Б. Скоринцева³, А. М. Рыскелдиева^{*4}

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

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

³ Г. ғ. д., ландшафттану және табиғатты пайдалану мәселелері зертханасының басшысы («География және су қауіпсіздігі институты» АҚ, әл-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университеті, Алматы, Қазақстан; skorintseva@mail.ru)

^{4*} География, жерге орналастыру және кадастр кафедрасының аға оқытушысы (әл-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университеті, Алматы, Қазақстан; aiganris_81@mail.ru)

БАТЫС ҚАЗАҚСТАН Өңірінің заманауи ландшафттық құрылымын бағалау

Аннотация. Мақалада 1:1 500 000 масштабта орындалған заманауи ландшафттардың әзірленген картасына негізделген Батыс Қазақстан аймағының заманауи ландшафттық құрылымын бағалау ұсынылған. Жүргізілген бағалау негізінде бүкіл аймақтың ландшафттық құрылымында ең үлкен аумақтарды көтеріңкі қабатты жазықтарының (аймақ аумағының 17,8 %) және құрылымдық үстірттердің (14,6 %) ландшафт түрлері алып жатқаны анықталды. Ландшафт құрылымын сапалық және сандық талдау және ландшафттарды трансформациялаудың динамикалық тенденцияларын бағалау зерттеу аймағының дала және құрғақ дала аймақтарында антропогендік түрлендірілген табиғи-аумақтық кешендер (ТАК) ландшафттардың барлық дерлік түрлерінде орын алатынын және осы аймақтардың ТАК аумағының 51,2 және 42,6 %-ын алып жатқанын анықтауға мүмкіндік берді. Шөлейтті және шөлді табиғи аймақтардың табиғи кешендерінің шегінде олардың аумағының 29,9 және 23,2 %-ы антропогендік түрлендірілгендерге жатады. Заманауи ландшафттық құрылымды өңірлік бағалау негізінде антропогендік жүктемелердің экологиялық нормалары және табиғи-шаруашылық жүйелердің тұрақты жұмыс істеуіне бағытталған табиғатты ұтымды пайдалану жүйесін ұйымдастыруға тәсілдер әзірленетін болады.

Түйін сөздер: типтік ландшафттық алуантүрлілік, картаға түсіру, ландшафт, табиғи-аумақтық кешен, ландшафттардың типологиялық бірліктері.

A. A. Tokbergenova¹, T. A. Bassova², I. B. Skorintseva³, A. M. Ryskeldiyeva^{*4}

¹ Candidate of Geographical Sciences, Head of the Department of Geography, Land Management and Cadaster (al-Farabi Kazakh National University, Almaty, Kazakhstan; aigul.tokbergenova@kaznu.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 Doctor of Geographical Sciences, Head of the Laboratory of Landscape Science and Environmental Management Problems (Institute of Geography and Water Security JSC, al-Farabi Kazakh National University, Almaty, Kazakhstan; skorintseva@mail.ru)

^{4*} Senior Lecturer at the Department of Geography, Land Management and Cadaster (al-Farabi Kazakh National University, Almaty, Kazakhstan; aiganris_81@mail.ru)

ASSESSMENT OF THE MODERN LANDSCAPE STRUCTURE OF THE WESTERN KAZAKHSTAN REGION

Abstract. The article presents an assessment of the modern landscape structure of the Western Kazakhstan region, based on the developed map of modern landscapes, made at a scale of 1:1 500,000. Based on the assessment, it was established that in the landscape structure of the entire region, the largest areas are occupied by landscape types of elevated stratal plains (17.8 % of the region's area) and structural plateaus (14.6 %). Qualitative and quantitative analysis of landscape structure and assessment of dynamic trends in landscape transformation made it possible to establish that within the steppe and dry-steppe zones of the studied region, anthropogenically transformed natural-territorial complexes (NTC) take place in almost all identified types of landscapes and occupy 51.2 and 42.6 % of the NTC area in these zones. Within the natural complexes of semi-arid and arid natural zones, 29.9 and 23.2 % of their area are anthropogenically transformed. On the basis of the regional assessment of the modern landscape structure, environmental standards for anthropogenic loads and approaches to organizing a system of rational environmental management, aimed at the sustainable functioning of natural and economic systems, are developed.

Keywords: landscape species diversity, mapping, landscape, natural-territorial complex, typological units of landscapes.

<https://doi.org/10.55764/2957-9856/2024-3-96-107.29>

МРНТИ 39.19.31

ӘОЖ 911.52

Д. С. Ахметова*¹, Н. Е. Рамазанова², А. Е. Егинбаева³, Р. Н. Кенжебай⁴

¹* Докторант (Л. Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті, Астана, Қазақстан;
akhmetovadanaaa@mail.ru)

² PhD, профессор, физикалық және экономикалық география кафедрасының меңгерушісі
(Л. Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті, Астана, Қазақстан; *nurgulram@gmail.com*)

³ PhD, доцент м.а., оқытушы (Л. Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті,
Астана, Қазақстан; *ageinbaeva@mail.ru*)

⁴ П. ф. к., доцент (М. Әуезов атындағы Оңтүстік Қазақстан университеті, Шымкент, Қазақстан;
mega.rabiga@list.ru)

ТҮРКІСТАН ОБЛЫСЫНЫҢ ЛАНДШАФТТАРЫНЫҢ ТОПЫРАҚ ЖАМЫЛҒЫСЫ АНТРОПОГЕНДІК ФАКТОРЛАРДЫҢ ӘСЕРІ САЛДАРЫНАН ЛАСТАНУЫ

Аннотация. Түркістан облысы Қазақстанның оңтүстігінде орналасқан, республикасының индустриялық-аграрлық дамыған өңірлерінің бірі. Түркістан облысының табиғатты пайдалану қарқындылығы артқан сайын антропогендік факторлар салдарынан ластануда. Бұл мақалада Түркістан облысының ландшафттарының топырақ жамылғысына антропогендік факторлар салдарынан ластану деңгейін анықтау мақсатында және химиялық элементтер құрамы зерттелді. Ландшафттар жүйесінің табиғи типтік аймақтарындағы антропогендік факторларды ескере отырып, генетикалық горизонттар бойынша топырақ жамылғысының химиялық элементтердің құрамы зерттелді, құрамын анықтау үшін топырақ кесінділері жасалды. Топырақ кесінділерінен арқалы сынама үлгілеріне жасалған талдаулар нәтижесі бойынша (С, О, Na, Mg, Al, Si, K, Ca, Ti, Fe, Pb, As, Cu, Zn, Ni, Co, V, Tl, Mn, Sr) химиялық элементтерінің концентрациясы зерттелді. Топырақ жамылғысының химиялық элементтердің мөлшері атомдық сіңіру әдісі арқылы анықталды. Алынған мәліметтерді статистикалық өңдеу Microsoft Excel бағдарламасының көмегімен жүзеге асырылды. Топырақ жамылғысының химиялық талдау нәтижесінде (Pb, Cu, Zn, As, Cr) химиялық элементтердің ШМК-дан асатындығы анықталды. Зерттеу нәтижелері арқылы ландшафттардың топырақ жамылғысына антропогендік факторлар әсері салдарынан ластануына байланысты мәселелерді шешудің ұсыныстарды құрастыруға негіз болып табылады.

Түйін сөздер: ландшафт, топырақ, химиялық элементтер, антропогендік факторлар.

Кіріспе. Ғылым мен техниканың дамуына байланысты әлем кеңістігінде антропогендік факторлар салдарынан адам, қоғам, табиғат арасындағы қарым-қатынастардың өзгеруі, табиғат тепе-теңдігінің өзгеруі ландшафттар құрлымының ластануына әсер етті. Ландшафттың ластануы белгілі бір заттардың немесе энергияның табиғаттағы (фондық немесе рұқсат етілген нормалар шегінен) жоғары концентрациясын артуы, сондай-ақ антропогендік және табиғи әрекеттердің әсерінен ландшафтқа улы заттардың енуі. Ландшафт компоненттерінің өзара әрекеттесуіне байланысты олардың біреуінің ластануы басқа компоненттерінде өзгеруіне алып келеді. Өндірістік орындардың қалдықтарының химиялық құрамының ландшафттарға әсерін зерттеуді М. А. Глазовской, А. И. Перельмана, Игумнов Н. Я., Несвижская Н. И., Саэт Ю. Е. және т.б. мамандар зерттеу жүргізген. Химиялық элементтердің экологиялық сипаттамаларының бірі топырақ жамылғысының қалыпты (фондық) құрамын және оның ықтималды антропогендік ластануының параметрлердің негізі болып табылады. Топырақ жамылғысындағы химиялық элементтердің құрамының деңгейін білу қоршаған ортаны ұтымды пайдалану стратегиясын жасау және топырақ-геохимиялық мониторингті ұйымдастыруды жетілдіру үшін практикалық маңызы бар, өйткені топырақ жамылғысының ластану дәрежесін дұрыс бағалау осыған байланысты.

Химиялық элементтердің жоғары концентрациясы тірі организмдер үшін өте қауіпті, олар ағзаның ішінде жиналып, уланудың ауыр түрін тудырады [1, 2]. Түркістан облысының топырақ жамылғысы шөлдік, таулы аймақтарда орналасқан ландшафттардың саралануымен ерекшеленеді. Түркістан облысының элементтік химиялық құрамы геохимиялық зерттеулерді қажет етеді.

Өйткені қазіргі таңда жылдан-жылға антропогендік факторлар ықпалының жоғарылауына қарай топырақ жамылғысына әртүрлі қоректі заттармен, ауамен, сумен, жылумен, биологиялық және физикалық-химиялық ортамен қамтамасыз ететін қабілеттіліктің жоғалуы байқалуда. Осыған орай, Түркістан облысының топырақ жамылғысына химиялық талдаулар жүргізіліп антропогендік факторлар сапасына баға берілді.

Бұл жұмыстың зерттеу объектісі Түркістан облысы географиялық жағынан Орталық Еуразияның орта ендіктерінде, Тұран ойпатының шығыс бөлігінде және Тянь-Шаньның батыс жоталарында орналасқан. Қазақстанның оңтүстік бөлігінің шамамен 117 300 км шаршы шақырым аумақты алып жатыр. Солтүстігінде Ұлытау облысы, батысында Қызылорда облысы, шығысында Жамбыл облысы, оңтүстігінде Өзбекстан Республикасымен шектеседі. Зерттеу аймағы әртүрлі геологиялық және геоморфологиялық процестермен қалыптасатын жер бедері мен ландшафттарының алуан түрлілігімен сипатталады.

Түркістан облысы ауыл шаруашылығы мен өнеркәсібіне қосқан елеулі үлесімен танымал индустриалды-аграрлық аймақтардың бірі және мақта, өсімдік майы, жемістер мен көкөністер, жүзім және бау-бақша дақылдары, мал шаруашылығы, азық-түлік өнімдерін өңдеу, құрылыс материалдары, темекі өнімдері, алкогольді және алкогольсіз сусындарды т.б. өнімдердің негізгі өндірушісі және өндірістік мүмкіндіктері жергілікті тұтынуды да, экспорттық нарықты қолдай отырып, шикізат пен дайын өнімдерді тұрақты жеткізушісі. Облыс аумағында сонымен қатар ауылшаруашылық секторынан басқа, өнеркәсіп саласы жақсы дамыған уран кендері, цемент, мұнай өнімдері, қуат трансформаторлары, мұнай сепараторлары, тоқыма, шұлық бұйымдары, тігін бұйымдары, құрылыс материалдары, жиһаздар шығарылады.

Қарқынды экономикалық даму салдарынан антропогендік факторлар жылдан жылға үздіксіз жоғарлауда. Бұл өсу экономикалық прогреске пайдалы болғанымен, маңызды экологиялық проблемаларға, әсіресе топырақтың ластануына әкеледі. Осы антропогендік әрекеттерден туындаған топырақ жамылғысына әр түрлі іс әрекеттер (жерді игеру, ядролық қызмет, шамадан тыс тыңайтқыштар) мен улы заттардың енуі салдарынан (химиялық заттардың төгілуі және қалдықтары, тау-кен өндіру, пестицидтер мен гербицидтер, тыңайтқыштар, көлік құралдарының шығарындылары) химиялық т.б. ластаудың түрлеріне алып келеді. Топырақ жамылғысын ластаушы көздері химиялық элементтердің және басқа ластаушы заттардың жоғары концентрациясы т.б. жатады. Топырақтағы улы заттардың концентрациясының артуы ең алдымен әртүрлі антропогендік әрекеттерге (өнеркәсіп кәсіпорындары, көлік, энергетикалық кешендер, ауыл шаруашылығы және басқа да салалар) байланысты.

Зерттеудің мақсаты – Түркістан облысының ландшафттарының топырақ жамылғысы антропогендік факторлардың салдарынан ластануын зерттеу.

Зерттеу материалдары мен әдістері. Түркістан облысының топырақ жамылғысын зерттеу М. А. Глазовская нәтижесі бойынша Арал теңізінің шығысынан шекараға дейін созылып жатқан қоңыр және бозғылт топырақты зонасы алып жатыр [3].

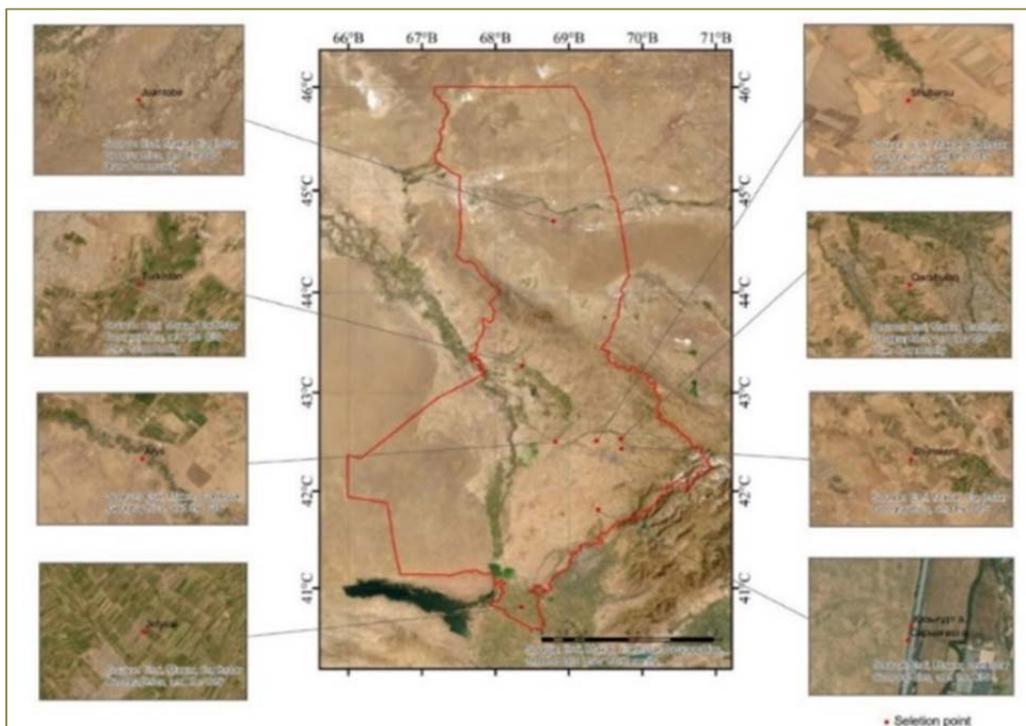
Оларға ақ жусан және дала шөптері – қойыл және бетеге басым болатын өсімдіктер тән. Сұр-қоңыр шөл топырақтары сортаңданған түп жыныстары бір-біріне жақын орналасқан жерлерде кездеседі. Қоңыр сортаң топырақтар палеоген-неоген шөгінділерінен құралған аймақтарда жиі анықталған.

Түркістан облысының аумағындағы ландшафттық ендік аймағына сәйкес мынадай келесі зоналық типтер мен түршелерге топтастырылады:

1. Шөл зонаның шөлдің сұр құба сортаңданған кейбір жерінде ашық құба топырақтары.
2. Шөлді дала зонасының шөлдік далалық, тақыр түстес топырақтары.
3. Шөлді дала зонасының тау етегіндегі қошқыл топырақтары.
4. Таулы альпі және субальпі шалғындық далалық көлеңкелік кей жерінде биік таулық күншуақтық топырақтары.
5. Тау етегіндегі жазықтық аймақтарда таулық сұр, қошқыл, сұр қошқыл, кәдімгі оңтүстік сұр, сұр, ашық сұр топырақтары [4].

Оңтүстіктің таулы жүйелерінде таулы-шалғынды және таулы-шалғынды қара топырақты субальпілік топырақтар қалыптасқан. Түркістан облысында кең таралған жазық және таулы топырақтармен қатар интрозоналды топырақтар да кең таралған (сортаң топырақтар). Еріткіш

тұздардың жоғары концентрациясымен сипатталатын тұзды топырақтар ауылшаруашылық өнімділігі мен экожүйесіне әсер етуі мүмкін. Түркістан өлкесінің топырақ жамылғысының маңызды ерекшелігі – оның әркелкілігі мен күрделілігі. Топырақ түрлерінің бұл әртүрлілігі бірнеше факторлармен тығыз байланысты, соның ішінде аймақтың құрғақ климаты, жер бедерінің әртүрлілігіне байланысты. Бұл күрделілік бүкіл аймақта байқалады және топырақтың әртүрлі қасиеттері мен сипаттамаларына ықпал етеді. (Барлау кезеңінде аймақтың табиғи ортаның жағдайын сипаттайтын негізгі аймақтардың табиғи ландшафтарға антропогендік факторлардың әсер ету мүмкіндігін ескере отырып табиғатты пайдалану картасын және 2023 жылға Махаг жоғары кеңістіктік ажыратымдылығының спутниктік түсірілімдерін пайдалана отырып 9 кілттік учаскелік бағыттары анықталды (1-сурет, 1-кесте).



1-сурет – Түркістан облысының кілттік учаске картасы

Figure 1 – Map of Turkestan region

1-кесте – Түркістан облысының кілттік учаске бойынша зерттеу бағыттары

Table 1 – Directions of research on the key site of the Turkestan region

№	Координаттар	Орналасқан жері	Антропогендік қызмет түрлері (С. П. Горшков бойынша классификация [5])	Күні
1	2	3	4	6
1	Арыс 42°30'17.80"C 68°48'45.34"B	Арыс қаласының оңтүстігіне қарай 3,9 км, Арыс өзеннің оңтүстік беткейі, аллювийлік жазық	Қалалық өнеркәсіптік: - тамақ өнеркәсібі (<i>ет өнімдерін өндіру цехы, сүт өнімдерін өндіретін зауыты, ұн және нан өнімдерін өнеркәсібі</i>); Тау-кен өнеркәсібі: - бейметалдық кендер (<i>бентонитті саз, әктас-ұлутастардың кен орны</i>); Ауыл шаруашылық: - мал өсіру шөп шабу («Аргынбек» шаруа қожалығы); - өсімдік өсіру (<i>Мубарак Агро» шаруа қожалығы</i>); - жайылымдар [<i>жайылымдық 426 643 гектар (е/м 16604 га)</i>]	21.07.2023

1-кестенің жалғасы				
1	2	3	4	5
2	Жетісай 40°48'2.85"C 68°21'7.73"B	Жетісай қаласынан солтүстік шығысқа қарай 3,7 км, «Достық» каналының сол жағалауында, Сырдария алабында орналасқан, адырлы төбелер	Қалалық өнеркәсіптік: - тамақ өнеркәсібі (<i>сиыр етін өңдеу цехы, жүгеріден крахмал-сірне өнімін және лимон қышқылының өндірісі» жобасы</i>); - жеңіл өнеркәсібі (<i>мақта өңдеу, мақта тазарту зауыттары және т.б.</i>); Ауыл шаруашылық: - мал өсіру шөп шабу («Махарам» шаруа қожалығы); - өсімдік өсіру («Дауылбай ата» шаруа қожалығы); - жайылымдар (<i>жайылымдық 1487 гектар</i>)	22.07.2023
3	Жуантөбе 44°42'14.13"C 68°47'17.39"B	Жуантөбе ауылынан оңтүстікке қарай 4 км, Шу өзеннің оңтүстігі, уақытша өзен арналары бар сәл ойлы-қырлы қатпарланған жазық	Байланыс және көлік: [(қаладан тыс) мұнай құбырлары]. Ауыл шаруашылық: - мал өсіру шөп шабу («Тұрлан» шаруа қожалығы); - өсімдік өсіру (<i>суармалы егістік 442 гектар</i>); - жайылымдар (<i>жайылымдық 380137 гектар</i>)	23.07.2023
4	Шымкент 42°25'58.90"C 69°42'53.48"B	Шымкент қаласы, қала орталығынан солтүстік шығысқа қарай 3 км, Тянь-Шань тауларының тау алды етегінде Сайрам және Бадам өзендерінің арасындағы суайырықта теңіз деңгейінен 506 м биіктікте орналасқан аридті және эрозия формалары басым адырлы төбелер	Қалалық өнеркәсіптік: - тамақ өнеркәсібі (<i>өсімдік майлар, ұн, сүт және макарон өнімдері, кондитерлік өнімдер, макарон өнімдері</i>); - жеңіл өнеркәсібі (<i>тігін фабрикасы, өндірістік компаниясы» және т.б.</i>); - құрылыс өнеркәсібі (<i>керамогранит және қыш тақташа өндіретін жаңа зауыты</i>); - металл өңдеу өнеркәсібі (<i>металлургиялық зауыты</i>)	30.07.2023
5	Қазығұрт 41°48'44.70"C 69°23'49.73"B	Қазығұрт ауылына солтүстікке қарай 5,9 км, Қазығұрт тауының оңтүстік баурайында, Келес өзенінің оң жағалауында орналасқан, адырлы төбелер	Қалалық өнеркәсіптік: - тамақ өнеркәсібі (<i>тез дайындалатын кеспе өнімдері, табиғи шырын сусын өндіреді, құрғақ сүт және сары май өндіреді және т.б.</i>); - құрылыс өнеркәсібі (<i>«Темір бетон өнімдері» өндіру кәсіпорны</i>). Ауыл шаруашылық: - мал өсіру шөп шабу («Сайдусман ата» шаруа қожалығы); - өсімдік өсіру («Нұр- Айдар» шаруа қожалығы); - жайылымдар (<i>жайылымдық 133460 гектар</i>)	31.07.2023
6	Сарыағаш 41°48'41.73"C 69°23'48.52"B	Сарыағаш қаласынан оңтүстікке батысқа қарай қала орталығынан 1,6 км, Түркістан қаласынан оңтүстік-шығысқа қарай 274 км-дей жерде, Келес, Құркелес өзендерінің алабында орналасқан, өскен қырқалы төбелер.	Қалалық өнеркәсіптік: - тамақ өнеркәсібі (<i>минералды су құю өндірісі, «жозғары сапалы шарап өнімдері, бидай ұн өнімдері өндірісі</i>); - жеңіл өнеркәсібі (<i>мақта талшықтары өндірісі</i>). Рекреациялық: - демалыс орындары (<i>шитажайлар</i>). Ауыл шаруашылық: - мал өсіру шөп шабу (<i>Қуаныш Мықтыбаев шаруа қожалығы</i>); - өсімдік өсіру («Камилжан» шаруа қожалығы); - жайылымдар (<i>жайылымдық 294 579 гектар</i>)	01.08.2023
7	Қарабұлақ 42°32'4.20"C 69°42'38.07"B	Қарабұлақ ауылынан оңтүстік шығысқа қарай 5,8 км, Ақсу өзені мен Арыс өзенінің аралығында орналасқан, аллювийлік-пролювийлік жазық.	Ауыл шаруашылық: - мал өсіру шөп шабу (<i>"Қарабұлақ" шаруа қожалығы</i>); - өсімдік өсіру («Айша» шаруа қожалығы); - жайылымдар (<i>шалғайдағы жерлер – 8234 гектар</i>)	02.08.2023

1-кестенің соңы				
1	2	3	4	5
8	Шұбарсу 42°30'46.12"C 69°22'28.03"B	Шұбарсу ауылынан солтүстік батысқа қарай 4,км, Арыс өзенінің саласы Шұбарсу өзенінің батыс жағалауында орналасқан, аллювийлік-пролювийлік жазық	Байланыс және көлік: - байланыс және көлік (халықаралық транзиттік дәлізі); - (қаладан тыс) жол, құбыр (газ құбыры)	04.08.2023
9	Түркістан 43°16'9.60"C 68°21'40.72"B	Түркістан қаласынан оңтүстік шығысқа қарай 8,9 км, Қаратау тауының оңтүстігінде орналасқан, аллювийлік-пролювийлік жазық	Қалалық өнеркәсіптік: - жеңіл өнеркәсібі (тігін цехы). Тау-кен өнеркәсібі: - бейметалдық кендер (сазды-гипс кен орны)	06.08.2023

Топырақ жамылғысына далалық зерттеу жұмыстары 2023 жылдың шілде айы мен тамыз айында жүргізілді. Антропогендік факторлар әсерін ескере отырып, біріктірілген ландшафттар жүйесіндегі табиғи типтік аймақтарда топырақ кесінділері жасалды, генетикалық көкжиектер бойынша топырақ жамылғысы химиялық құрамын анықтау үшін сынамалар іріктеп алынды. Алынған сынама үлгілері аналитикалық зерттеулердегі Шымкент қаласындағы сертифицирталған «Құрылымдық және биохимиялық материалдар» аймақтық инженерлік-сынау зертханасында жүргізілді. Топырақ жамылғысының сынама үлгілерінің химиялық элементтердің мөлшері «Спектроскан МАКС GF – 2Е» рентгенді спектросканы арқылы физика-химиялық әдістермен анықталды. Зерттеу барысында алынған мәліметтерді статистикалық өңдеу Microsoft Excel бағдарламасының көмегімен жүзеге асырылды. Мәліметтерді өңдеу кезінде келесі статистикалық көрсеткіштер пайдаланылды:

- 1) $X \pm S_x$ – орташа \pm орташа қатесі;
- 2) \lim – лимиттердің қарқыны;
- 3) p – лимиттердің айырмасы;
- 4) σ – стандартты ауытқу;
- 5) $CV \%$ – вариация коэффициенті.

Зерттеу нәтижелері және талқылау. Топыраққа түсетін ауыр металдар топырақ процестеріне әртүрлі кері әсер етеді. Түркістан облысының зерттеу аймағының кілттік учаскелерінен сынамаға алынған топырақтарда химиялық элементтердің таралуына қатысты элементтердің мөлшері және зерттеу арқылы анықталған физикалық-химиялық қасиеттерге қатысты топырақтарында вариациялық-статистикалық көрсеткіштерінің нәтижесі анықталды (2-кесте).

Зерттеу нәтижелері бойынша Түркістан облысының барлық зерттелген топырақ үлгілеріндегі қарашірік мөлшері 1%-дан аз, бұл өте төмен болып саналады. Кез келген топырақтың құнарлылығы ең алдымен құрамындағы органикалық заттардың, әсіресе қарашіріктің мөлшеріне байланысты. Гумус топырақтың органикалық заттарының маңызды құрамдас бөлігі болып табылады және топырақ құнарлылығын және жалпы топырақ сапасының сақталуында негізгі рөл атқарады. Топырақта қарашірік неғұрлым көп болса, соғұрлым ол құнарлы болады. Топырақ құрамында қарашірік мөлшерінің көптігі топырақтың тозуын төмендетеді және топырақтың әртүрлі қасиеттерін, соның ішінде су-физикалық, су-температура, физикалық-химиялық және басқа да қасиеттерін жақсартуда шешуші рөл атқарады. Гумус заттары топырақ құнарлылығы үшін өте маңызды, өйткені олар маңызды қоректік заттардың айтарлықтай мөлшерін жинақтайды. Атап айтқанда, топырақтағы азоттың 90-99%, сонымен қатар 50%-дан астам фосфор (P), күкірт (S), микроорганизмдерге қажетті басқа микроэлементтер (мысалы, калий (K), кремний (Si), темір (Fe) және басқалары), қарашірікте сақталады. Бұл қосылыстардың кейбір бөлігі ерімейтін түрде, кейбірі еритін және геохимиялық жылжу қабілеті бар түрде кездеседі. Негізі топырақтағы жылжымалы түрге фульвоқышқылдар мен металдардың кешенді қосылыстары ие болады [7].

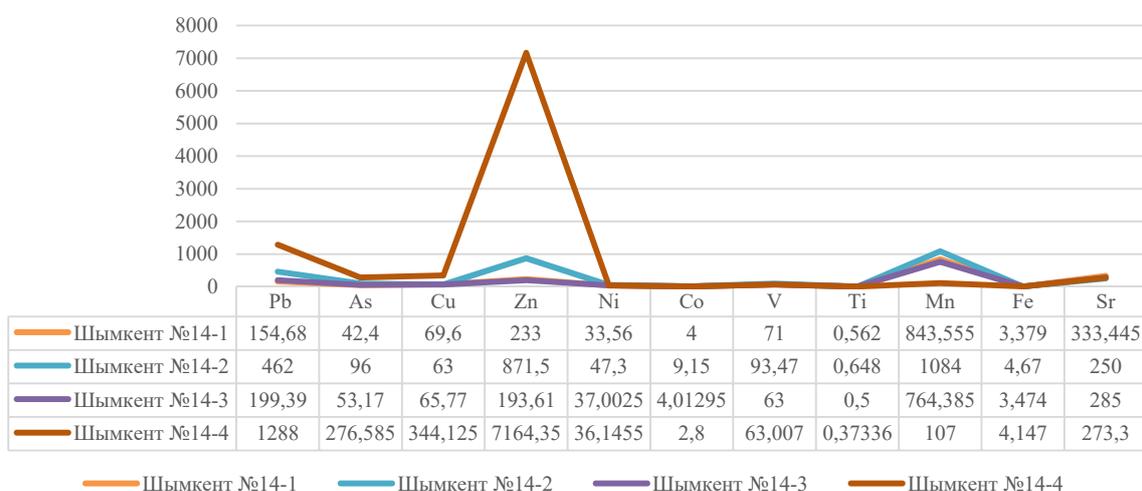
Жүргізілген химиялық талдауға сәйкес, зерттеу жұмыстары Шымкент №4кілттік учаскесінің негізгі ластау көздері орналасқан нүктелерге, сонымен қатар, халық тығыздығы жоғары аймақтардан топырақ үлгілеріне талдаулар жүргізілді. Жүргізілген химиялық талдау бойынша, топырағында химиялық элементтердің жоғары концентрациясы ШМК-дан Pb (4,8 еседен) асатындығы анықталды (2-сурет).

2-кесте – Түркістан облысындағы топырақтың макрокомпоненттік құрамының вариациялық-статистикалық көрсеткіштері (2023 ж.).

Table 2 – Variational and statistical indicators of the macrocomponent composition of soils in the Turkestan region (for 2023)

Параметрлер	$X \pm S_x$	lim	p	σ	CV, %	А. П. Виноградов бойынша топырақтардағы орташа химиялық элементтік құрамы, массасы, % [6]
Органикалық заттар (гумус), %	0,71±0,06	0,99-0,51	0,48	0,20	27,99	–
C	5,56±0,39	7,24-3,57	3,67	1,34	24,05	2,0
O	52,43±0,22	53,66-51,37	2,29	0,76	1,45	55,0
Na	0,65±0,04	0,81-0,40	0,41	0,15	22,76	0,63
Mg	1,63±0,05	1,95-1,44	0,51	0,17	10,64	0,63
Al	5,90±0,23	7,42-5,25	2,17	0,80	13,55	7,13
Si	19,11±0,54	21,60-16,44	5,16	1,87	9,81	33,0
K	2,10±0,08	2,55-1,89	0,66	0,28	13,54	1,36
Ca	7,85±0,63	10,61-4,81	5,8	2,17	27,72	1,37
Ti	0,36±0,01	0,39-0,31	0,08	0,03	9,72	0,46
Fe	4,30±0,18	5,45-3,80	1,65	0,61	14,22	3,8
P	0,03±0,02	0,20-0,00	0,20	0,08	244,95	0,08

Ескертпелер: 1) $X \pm S_x$ – орташа ± орташа қате; 2) lim – шектеулер ауқымы; 3) p – шектік айырма; 4) σ – стандартты ауытқу; 5) CV % – вариация коэффициенті.



2-сурет – Шымкент №4 кілттік учаскесінің сынама алу орындарындағы ауыр метал иондарының концентрациясы, мг/кг

Figure 2 – Concentration of heavy metal ions in the sampling sites of the key section №4 of Shymkent, mg/kg

Топырақтарындағы анықталған ауыр металдардың қарқынды таралуы «Южполиметалл» АҚ мекемесіндегі қалдықтар тікелей әсері салдарынан (3-сурет).

Улылығы тұрғысынан қоршаған ортаға, дәлірек айтсақ топыраққа шоғыры қауіпті болып есептелетін (Pb, As, Cu, Zn, Ti, Mn) химиялық элементтерінің қосылыстары Шымкент №4 кілттік учаскесінен анықталды. Сынамалар алынған топырақтарындағы химиялық элементтердің топырақтарында вариациялық-статистикалық көрсеткіштері мөлшері 3-кестеде көрсетілген.



3-сурет – «Южполиметалл» АҚ мекемесіндегі қалдықтары.

Figure 3 – Remains of Yuzhpolimetal JSC

3-кесте – Шымкент №4 кілттік учаскесінің топырағындағы ауыр метал иондарының таралу вариациялық-статистикалық көрсеткіштері (2023 ж.)

Table 3 – variational and statistical indicators of the distribution of heavy metal ions in the soil of the key site No. 4 of Shymkent (for 2023)

Параметрлер	$X \pm S x$	lim	p	σ	CV, %
Pb	526,02±151,78	1288,00-154,68	1 133,32	525,77	99,95
As	117,04±31,42	276,58-42,40	234,18	108,85	93,01
Cu	135,62±40,13	344,13-63,00	281,13	139,03	102,51
Zn	2115,62±975,76	7164,35-193,61	6 970,74	3380,13	159,77
Ni	38,50±1,75	47,30-33,56	13,74	6,05	15,70
Co	4,99±0,82	9,15-2,80	6,35	2,83	56,72
V	72,62±4,16	93,47-63,00	30,47	14,40	19,83
Tl	0,52±0,03	0,65-0,37	0,28	0,12	22,18
Mn	699,74±120,63	1084,00-107,00	977	417,87	59,72
Fe	3,92±0,18	4,67-3,38	1,29	0,61	15,50
Sr	285,44±10,15	333,45-250,00	83,45	35,16	12,32

Ескертпелер: 1) $X \pm S x$ – орташа ± орташа қате; 2) lim – шектеулер ауқымы; 3) p – шектік айырма; 4) σ – стандартты ауытқу; 5) CV % – вариация коэффициенті.

Қорғасын (Pb) – атомдық салмағы 207,2. Ерекше уытты элемент. Қорғасынның барлық ерігіш қосылыстары улы. Табиғи жағдайында, ол негізінен PbS түрінде кездеседі. Басқа химиялық элементтермен салыстырғанда, оның жылжымалылығы төмен, әсіресе, оның жылдамдығы әк енізгенде төмендейді. Жылжымалы Pb органикалық заттар кешені түрінде кездеседі. Топырақтағы қорғасынның табиғи мөлшері аналық жынысынан беріледі, аналық жыныстың минералогиялық, химиялық құрамымен тығыз байланысты. Қорғасын (Pb) өзінің химиялық және биологиялық қасиеттеріне байланысты қоршаған ортаны ластаушы зат болып табылады. Оның топыраққа және тірі организмдерге сіңірілуіне өте бейім элемент болғандықтан барлық жерлерде таралған және олар әсер ету тұрғысынан бірінші дәрежелі қауіптілік санатқа жатқызылады [8]. Қоршаған ортаға, дәлірек айтсақ топыраққа жоғары қауіпті болып есептелетін химиялық элементтерінің Pb, Cd, Cu, Zn қосылыстары. Топырақтағы қорғасынның (Pb) шамадан тыс ластануы топырақ пен оның ағзалары үшін маңызды процестердің қалыпты жұмысына теріс әсер етеді. Бұл элементтердің қандай да мөлшері болмасын тіпті төмен мөлшерінің адам ағзасына қатты әсер етуі салдарынан көптеген физиологиялық және метаболикалық процестердің бұзылуына алып келуі мүмкін. Ауыр металдардың қоршаған ортаға таралуы табиғи жағдай ғана емес, сонымен қатар антропогендік (адам жасаған) әрекеттердік жолмен де қарқынды түрде жүреді. Ауыр металдардың антропогендік көздері тау-кен және балқыту сияқты өндіруші салалар ауыр металдардың маңызды көздері болып

табылады. Сонымен қатар өндіріс батареялар, электроника, бояулар, пигменттер және пластмасалар шығаратын салалар өндірістік процестер кезінде ауыр металдарды шығаруы. Өнеркәсіптік қалдықтар яғни күлді және шламды қоса алғанда, өндірістік қалдықтарды дұрыс емес кәдеге жарату арқылы топырақ пен су объектілерінің ауыр металдармен ластануына алып келеді [9].

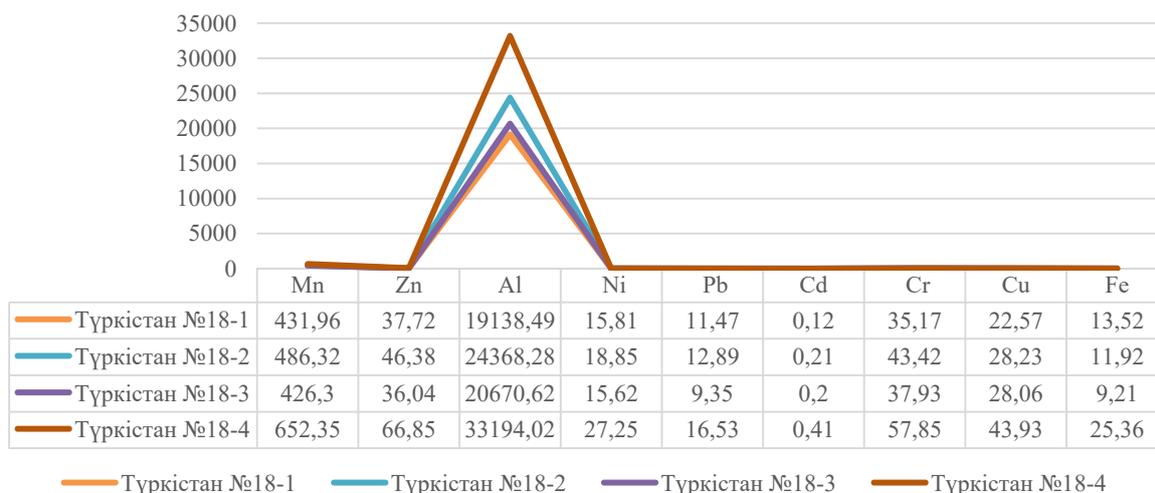
Мышьяқтың (As) топырақтағы мөлшері 0,3-12,9 мг/кг құрайды. Топырақта ол 60 см тереңдікке жылжып, жыртылған қабатында жинақталады. Әлемдегі топырақтағы мышьяқтың орташа мөлшері 5 мг/кг. Топырақтағы мышьяқтың барлық ерігіш қосындылары аса улы болып табылады. Топырақтың жоғары қышқылдығы металдың қозғалғыштығын артырады, яғни олардың өсімдіктерде жиналуын арттырады. Топырақтың мышьякпен ластануының негізгі көзі болып ауыл шаруашылығында жүйелі түрде қолданылатын гербицидтер, инсектицидтер және басқа да пестицидтер табылады. Мұндай ластану топырақтағы ағзалардың өлуіне, оның құнарлылығының төмендеуіне және нашарлауына әкеледі [10]. Зерттелініп отырған топырақтарда жалпы мышьяқтың орташа мөлшері беткі қабатында $117,04 \pm 31,42$ мг/кг құрайды. Көлік жолы мен зауыт маңынан алынған үлгілерде шекті мөлшерінен жоғары. Ал халық көптеп шоғырланған аймақтардан алынған топырақ сынамаларында шекті мөлшерінен төмен. Зауыт және станция маңынан алынған топырақ үлгілерінде мөлшері ШМК-дан 2,0-93,01 жоғары екендігі анықталды (3-кесте).

Мыс (Cu)- атомдық салмағы 63,5. Жер қыртысындағы кларкы 47 мг/кг. Химиялық жағынан мыс белсенділігі төмен металл. Мыстың мөлшеріне әсер ететін негізгі фактор, оның топырақтүзуші жыныстарындағы шоғырлану болып табылады [8]. Улылығы бойынша II топқа жатады. Таулы жыныстарда мыс мөлшері жоғары, ал карбонатты жыныстарда төмен. Мыс қоршаған ортада ыдырамайды, сондықтан ол топырақ және өсімдіктерде жиналуы мүмкін. Топырақ құрамында мыс мөлшері артық болу салдарынан өсімдіктердің өмір сүру сапасын шектейді. Сондықтан мыс өңдейтін зауыттардың жанында өсімдіктердің сапасы төмен. Өсімдіктерге әсер етуіне байланысты мыс егістік алқаптарының өндірісіне үлкен қауіп төндіреді. Осыған қарамастан, құрамында мыс бар көң әлі де қолданылады. Мыстың қоршаған ортаға таралуының кейбір мысалдары мыс өндіру, ауыл шаруашылығы және өндірістік қызмет арқылы. Мыс қоршаған ортаға жанартау атқылауы, желмен соққан шаң, шіріген өсімдіктер және орман өрттері сияқты табиғи процестер арқылы да түсуі мүмкін. Сонымен қатар, мыс мыс құбырларының коррозиясына байланысты ағынды сулардың көпшілігінде кездеседі [11]. Зерттеу жүргізуге алынған түрлі антропогендік факторлар бойынша алынған топырақ үлгілеріне жүргізілген талдау нәтижелері бойынша қарастырылған барлық үлгілерде жалпы мыс мөлшері ШМК нормасынан асады, топырақтағы мыстың орташа мөлшері $135,62 \pm 40,13$ мг/кг, шекті диапазоны 344,13-63,00 мг/кг (3-кесте).

Мырыш (Zn)- атомдық салмағы 65,4. Жер қыртысындағы оның кларкы 83 мг/кг мөлшерінде шоғырланған. Мырыш (Zn) – периодтық жүйенің II тобына (IUPAC жүйесіндегі 12 топ) кіретін химиялық элемент. Ол өсімдіктер үшін де, жануарлар үшін де маңызды микроэлемент болып табылады, бірақ шамадан тыс мөлшерде тірі организмдер үшін улы және қоршаған ортаға зиян келтіруі мүмкін. Мырыштың қоршаған ортадағы әрекетіне, әсіресе оның қозғалғыштығы мен қолжетімділігіне әртүрлі факторлар әсер етеді. Бейтарап және сілтілі ортада мырыштың қозғалғыштығы төмен, өйткені рН – 6,8 кезінде мырыш гидроксидті қосылыс түрінде тұнбаға түседі. Алайда, рН одан әрі жоғарылағанда, тұздардың түзілуіне байланысты мырыш қышқылы ерітіндіге қайта ауысады. Қоршаған ортада, әсіресе көлік аймақтары мен өнеркәсіп орталықтарында мырыштың жиналуы оның топыраққа, өсімдіктерге, жануарларға және адамдарға ықтимал уыттылығына байланысты маңызды алаңдаушылық тудырады [12]. Ашық сұр топырақтарда жүргізген зерттеу нәтижелеріміз бойынша қарастырылған барлық нұсқаларда жалпы мырыш орташа мөлшері $2115,62 \pm 975,76$ мг/кг құрайды, шекті рауал концентрациясынан өте жоғары. Мырыштың топырақтағы мөлшерінің жоғары болу себебі, табиғи геохимиялық аномалиялармен қатар техногендік ластанулар болуы [8].

Түркістан №9 кілттік учаскесінің негізгі өндірісілік кәсіпорындар маңынан, саябақтар аймақтарынан және т.б. нүктелерден алынған сынамалардың талдау нәтижелері көрсеткендей ШМК-дан Ni 3-4 есе жоғары екендігі анықталды (4-сурет).

Дүниежүзілік денсаулық сақтау ұжымының мәліметтері бойынша, Никель (Ni) өзінің уыттылығына байланысты әртүрлі қауіп төндіретін маңызды қоршаған ортаны ластаушы болып табылады. Екінші класты улы элемент ретінде жіктелген. Никель канцерогенді элементтер тізіміне кіреді және ол ағзаға көп мөлшерде түскен кезде жүрек-қан тамырларына ерекше әсерін тигізеді.



4-сурет – Түркістан №9 кілттік учаскесінің сынама алу орындарындағы ауыр метал иондарының концентрациясы, мг/кг
Figure 4 – Concentration of heavy metal ions in the sampling sites of the Turkestan key site №9, mg/kg

Никельдің (Ni) уыттылығы, әсіресе бос иондық түрінде (Ni²⁺) қоршаған ортаға айтарлықтай қауіп төндіреді. Ni²⁺ уыттылығы оның күрделі қосылыстарынан екі есе жоғары деп бағаланады. Әдетте, никель химиялық қасиеттері мен топырақ құрамдас бөліктерімен әрекеттесуіне байланысты сазды минералдар мен органикалық заттардың лайлы фракциясында жиналады. Топырақтағы никельдің кларкі 40 мг/кг құрайды. Құм және құмдақ топырақтарда никельдің рұқсат етілген мөлшері шамамен – 20 мг/кг, сазды және саз балшықты топырақтарда рНКСІ < 5,5 – 40 мг/кг, рНКСІ > 5,5 – 80 мг/кг [11].

Топырақтағы никельдің (Ni) жоғары концентрациясы өсімдіктерге бірнеше жағымсыз әсер етуі мүмкін. Өсімдіктердің өсуін тежейді, жапырақтардағы хлорофилл мөлшерін азайтады, фотосинтез жылдамдығын бәсеңдетеді. Зерттелген топырақтардың вариациялық-статистикалық көрсеткіштері мөлшері 4-кестелерде келтірілген. Кестеде көрсетілгендей Cu (7-14 есе), Zn (1,5-3 есе), ал Cr (5-9 есе) ШРК-дан жоғары екені анықталды. Cu және Zn аз мөлшерде құнды микроэлементтерге жатады.

4-кесте – Түркістан №9 кілттік учаскесінің топырағындағы ауыр метал иондарының таралу вариациялық-статистикалық көрсеткіштері (2023 ж.)

Table 4 – Variational and statistical indicators of the distribution of heavy metal ions in the soil of the Turkestan key site №9 (for 2023)

Параметрлер	$X \pm S_x$	lim	p	σ	CV, %
Марганец (Mn)	499,23±30,49	652,35-426,30	226,05	105,60	21,15
Мырыш (Zn)	46,75±4,08	66,85-36,04	30,81	14,15	30,26
Алюминий (Al)	24342,85±1817,47	33194,02-19138,49	14 055,53	6295,88	25,86
Никель (Ni)	19,38±19,38	27,25-15,62	11,63	5,45	28,12
Қорғасын (Pb)	12,56±0,87	16,53-9,35	7,18	3,02	24,04
Кадмий (Cd)	0,24±0,04	0,41-0,12	0,29	0,12	52,52
Хром (Cr)	43,59±2,92	57,85-35,17	22,68	10,10	23,18
Мыс (Cu)	30,70±2,66	43,93-22,57	21,36	9,21	29,99
Темір (Fe)	15,00±2,06	25,36-9,21	16,15	7,13	47,53

Ескертпелер: 1) $X \pm S_x$ – орташа ± орташа қате; 2) lim – шектеулер ауқымы; 3) p – шектік айырма; 4) σ – стандартты ауытқу; 5) CV % – вариация коэффициенті.

Ластанған топырақта өсірілген өсімдік өнімдері арқылы адам ағзасына қосылыстардың, әсіресе ауыр металдардың түсу қаупін дәл бағалау үшін олардың өзгерген түрлерін түсіну өте маңызды. Адам ағзасына ластанған топырақтарда өсірілген өсімдік тектес өнімдер түрінде енетін қосылыстардың қауіптілігін бағалау және сипаттау үшін трансформацияланған түрлері туралы ақпарат қажет. Бұл элементтердің жылжымалы түрлері неғұрлым көп болса, олар соғұрлым топырақтан өсімдіктерге жылдам өтеді, яғни осыған байланысты олардың қауіптілігі артады. Cr, Mn, Fe, Cu, Co, Zn қасиеттерін анықтайтын негізгі үстем түрі олардың гуматтық кешендері. Ластанған топырақта металдардың ыдырауы мен ерігіштігіне әсерін тигізетін негізгі фактор гумусты заттардың сапалық және сандық құрамы болып саналады. Сонымен бірге металдар фульвоқышқылдармен әрекеттесіп еритін кешен, ал гумин қышқылдарымен ауыр металдар ерімейтін кешенді қосылыстар түзетіні айқындалды [12]. Бірінші жағдайда химиялық элементтердің қозғалғыштығы артады, ал екінші жағдайда элементтер шоғырланған. Сондықтан химиялық элементтер топырақтағы фульвоқышқылдардың түрін өзгертіп, гумин қышқылдарының қозғалғыштығын төмендетеді.

Топырақтағы химиялық элементтердің қозғалғыштығына тек гумус қышқылдары ғана емес, сонымен қатар төмен молекулалы органикалық қышқылдар (кұмырсқа, қымыздық және т.б.) әсер етеді. Олардың кейбіреулері осы қышқылдармен еритін қосылыстар түзсе, басқалары (Cu, Zn) сазды минералдардың бөлшектерінің бетіне органикалық-минералды комплекстер түрінде шөгіп, өсімдіктердің қолы жетпейді. Химиялық элементтердің мөлшерлері мен пішіндері кешенді қосылыстар түзу, сорбиялану, іріктену, тұндыру үрдістерінің ара қатынасына тәуелді болады, ал олардың әрекеті осы физикалық-химиялық үрдістердің қосындысымен анықталады. Зерттеуге алынған топырақ үлгілерінің барлығында жоғары алюминий болатыны анықталды. Топырақ ерітіндісіндегі алюминийдің көп мөлшері P, Ca, K, Ge, Na, B және т.б. сияқты маңызды биогендік элементтердің қолжетімділігін төмендетеді, осылайша өсімдіктердің сіңіруіне кедергі жасайды [13].

Қорытынды. Түркістан облысының ландшафттарының топырақ жамылғысына антропогендік факторлар әсері салдарынан ластану деңгейі зерттелді. Топырақ жамылғысына жүргізілген талдаулар қорытындысы бойынша химиялық элементтердің мөлшері анықталды.

Жүргізілген зерттеулер бойынша келесідей қорытындылар сараланды:

1. Зерттеу аймағы бойынша 2023 жылдың шілде айы мен тамыз айында жүргізілген далалық зерттеулер кезінде алынған сынама үлгілеріне жасалған талдаулар нәтижесі бойынша, топырақ жамылғысының құрамында Pb, Cu, Zn, As, Cr сияқты химиялық элементтердің ШМК-дан асатындығы анықталды.

2. Шымкент № 4 кілттік учаскесінің топырақ жамылғысына жүргізілген талдаулар нәтижесі химиялық элементтердің ластану деңгейі жоғары екенін көрсетті. Жүргізілген химиялық талдау бойынша Pb (4,8 есе), Cu (20 есе), Zn (60,2 есе), As (22 есе) ШМК-дан асатындығы анықталды. «Южполиметалл» АҚ мекемесіндегі қалдықтардың тікелей әсерімен байланысты.

3. Химиялық элементтердің ластану көрсеткіші бойынша Түркістан №9 кілттік учаскесінің жоғарғы топырақ жамылғысының сынамаларынан алынған нәтижелер бойынша Ni (3-4 есе), Cu (7-14 есе), Zn (1,5-3 есе) ал Cr (5-9 есе) ШМК-дан жоғары екені айқындалды, бұл қаланың өнеркәсіптік кәсіпорындарының әсерімен байланысты.

4. Түркістан облысының топырақ жамылғысының химиялық талдау нәтижесі бойынша химиялық элементтер мен ластаушы заттардың құрамы біркелкі еместігі анықталды, себебі топырақ түзуші жыныстардың қарама-қайшылығына элементтердің миграциясы мен ландшафттардың геохимиялық жағдайы әсер етеді. Сонымен қатар өнеркәсіп орындары тарапынан қоршаған ортаға бөлінетін ластаушы заттар әсерінен.

Зерттеу барысында Түркістан облысының ландшафттарының топырақ жамылғысына антропогендік факторлар әсерін зерттеу әдістерін талдау, сонымен қатар элементтердің химиялық құрамын талдауды қамтитын алға қойылған мақсаттар сәтті орындалды. Бұл зерттеу жұмысы ластаушы заттардың әсерінен көрсетілетін қызметтердің әлеуетін, бәсекеге қабілеттілігін және сапасын арттыруға бағытталған. Ландшафттардың топырақ жамылғысына антропогендік факторлар әсері салдарынан ластануына байланысты мәселелерді шешудің ұсыныстарды құрастыруға негіз болып табылады.

ӘДЕБИЕТ

- [1] Ozgeldinova Z., Janaleyeva K., Auezova Z., Mukayev Z., Ramazanova N. The present-day geoecologic situation of Kenghir River basin geosystem // Biosciences Biotechnology Research Asia. – 2015. – No. 12(3). – P. 3041-3051. <http://dx.doi.org/10.13005/bbra/1987>
- [2] Ozgeldinova Z. O., Janaleyeva K. M., Auezova Z. T., Ospan G. T., Kaygusuz M. Assessment of human impacts on geosystems of sarysu river basin // Fresenius Environmental Bulletin. – 2019. – No. 28(8). P. 6019-6026.
- [3] Glazovskaya M. A. Physico-geographical zoning of Kazakhstan // Physico-geographical zoning of the USSR. – М.: Izd. v. Mosk. un-ta, 1960. – P. 137-168.
- [4] Anarbaev A. E., Mursalov D., Auesbekov N., Igembaeva A.K. The study of agricultural lands taking into account the peculiarities of their use on the example of Turkestan region // Research, results. – 2021. – No. 4(92). – P. 47-58.
- [5] Горшков С. П. Экзодинамические процессы освоенных территорий. – М.: Недра, 1982. – 286 с.
- [6] Vinogradov A. P. Geochemistry of rare and dispersed chemical elements in soils: Academy of Sciences of the USSR, V. I. Vernadsky Institute of Geochemistry and Analytical Chemistry. V. I. Vernadsky. – 2nd ed., supplement. – Moscow: Izd-vo Akad. of Sciences of the USSR, 1957. – 238 p.
- [7] Абдимуталип Н. А. Физико-химические свойства исследованных почв Туркестанского региона // Вестник Национальной академии наук Республики Казахстан. – 2016. – Т. 2, № 360. – С. 39-43.
- [8] Bhawna Malik, Kirandeep kaur sandhu. Occurrence and impact of heavy metals on environment // Materials Today: Proceedings, 6 february 2023. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2023.01.317>.
- [9] Kaige Lei, Yan Li, Yanbin Zhang, Shiyi Wang, Er Yu, Feng Li, Fen Xiao, Fang Xia Development of a new method framework to estimate the nonlinear and interaction relationship between environmental factors and soil heavy metals // Science of The Total Environment. – Vol. 2023. – 905. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2023.167133>
- [10] Ning Li, Lu Jiang, Xiaokang Li, Yuhong Su. Enhancing phytoremediation of arsenic-contaminated soil by agronomic practices (drip irrigation and intercropping): Influence of soil organic matter // Science of The Total Environment. 2023. Vol. 891. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2023.164463>
- [11] Anjali Mandal a, Dipti Mundhe a, Varsha Sonkamble b, Nilesh Wagh a, Jaya Lakkakula a. 13 - Impact of heavy metal contamination on soil environment and advances in its revitalization strategies // Development in Waste Water Treatment Research and Processes. – 2022. – P. 215-241.
- [12] Ionela Cătălina Vasilachi, Vasile Stoleru, Maria Gavrilescu. Analysis of Heavy Metal Impacts on Cereal Crop Growth and Development in Contaminated Soils // Agriculture. – 13, 1983, 2023. <https://doi.org/10.3390/agriculture13101983>
- [13] Ladonin D. V. Fractional composition of copper, zinc, cadmium and lead compounds in some types of soils under polyelemental pollution // MSU Herald. – 2003. – Series 17, No. 1. – P. 8-15.

REFERENCES

- [1] Ozgeldinova Z., Janaleyeva K., Auezova Z., Mukayev Z., Ramazanova N. The present-day geoecologic situation of Kenghir River basin geosystem // Biosciences Biotechnology Research Asia. 2015. No. 12(3). P. 3041-3051. <http://dx.doi.org/10.13005/bbra/1987>
- [2] Ozgeldinova Z.O., Janaleyeva K.M., Auezova Z.T., Ospan G.T., Kaygusuz M. Assessment of human impacts on geosystems of sarysu river basin // Fresenius Environmental Bulletin. 2019. No. 28(8). P. 6019-6026.
- [3] Glazovskaya M.A. Physico-geographical zoning of Kazakhstan // Physico-geographical zoning of the USSR. М.: Izd. v. Mosk. un-ta, 1960. P. 137-168.
- [4] Anarbaev A. E., Mursalov D., Auesbekov N., Igembaeva A.K. The study of agricultural lands taking into account the peculiarities of their use on the example of Turkestan region // Research, results. 2021. No. 4(92). P. 47-58.
- [5] Gorshkov S. P. Exodynamic processes of developed territories. М.: Nedra, 1982. 286 p. (in Russ.).
- [6] Vinogradov A. P. Geochemistry of rare and dispersed chemical elements in soils: Academy of Sciences of the USSR, V. I. Vernadsky Institute of Geochemistry and Analytical Chemistry. V.I. Vernadsky. 2nd ed., supplement. Moscow: Izd-vo Akad. of Sciences of the USSR, 1957. 238 p.
- [7] Abdimutalip N.A. Physico-chemical properties of the studied soils of the Turkestan region // Bulletin of the National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan. 2016. Vol. 2, No. 360. P. 39-43 (in Russ.).
- [8] Bhawna Malik, Kirandeep kaur sandhu. Occurrence and impact of heavy metals on environment // Materials Today: Proceedings, 6 february 2023. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2023.01.317>.
- [9] Kaige Lei, Yan Li, Yanbin Zhang, Shiyi Wang, Er Yu, Feng Li, Fen Xiao, Fang Xia Development of a new method framework to estimate the nonlinear and interaction relationship between environmental factors and soil heavy metals // Science of The Total Environment. 2023. Vol. 905. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2023.167133>
- [10] Ning Li, Lu Jiang, Xiaokang Li, Yuhong Su. Enhancing phytoremediation of arsenic-contaminated soil by agronomic practices (drip irrigation and intercropping): Influence of soil organic matter // Science of The Total Environment. 2023. Vol. 891. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2023.164463>
- [11] Anjali Mandal a, Dipti Mundhe a, Varsha Sonkamble b, Nilesh Wagh a, Jaya Lakkakula a. 13 - Impact of heavy metal contamination on soil environment and advances in its revitalization strategies // Development in Waste Water Treatment Research and Processes. 2022. P. 215-241.
- [12] Ionela Cătălina Vasilachi, Vasile Stoleru, Maria Gavrilescu. Analysis of Heavy Metal Impacts on Cereal Crop Growth and Development in Contaminated Soils // Agriculture. 13, 1983, 2023. <https://doi.org/10.3390/agriculture13101983>
- [13] Ladonin D. V. Fractional composition of copper, zinc, cadmium and lead compounds in some types of soils under polyelemental pollution // MSU Herald. 2003. Series 17, No. 1. P. 8-15.

D. S. Akhmetova^{1*}, N. Ye. Ramazanova², A. Ye. Yeginbayeva³, R. N. Kenzhebay⁴

^{1*} PhD Student (L. N. Gumilyov Eurasian National University, Astana, Kazakhstan; akhmetovadanaaaa@mail.ru)

² PhD, Acting Professor, Head of the Department of Physical and Economic Geography (L. N. Gumilyov Eurasian National University, Astana, Kazakhstan; nurgulram@gmail.com)

³ PhD, Associate Professor, MA, Lecturer (L. N. Gumilyov Eurasian National University, Astana, Kazakhstan; aeginbaeva@mail.ru)

⁴ Candidate of Pedagogical Sciences, Associate Professor (Auezov South Kazakhstan State University, Shymkent, Kazakhstan; mega.rabiga@list.ru)

POLLUTION OF SOIL COVER OF LANDSCAPES IN TURKESTAN REGION DUE TO THE INFLUENCE OF ANTHROPOGENIC FACTORS

Abstract. Turkestan region is located in the south of Kazakhstan and is one of the industrially and agriculturally developed regions of the republic. As the intensity of nature management in Turkestan region increases, pollution occurs under the influence of anthropogenic factors. Taking into account anthropogenic factors, the composition of chemical elements of the soil cover in genetic layers was studied in typical natural areas of the landscape system; and soil sections were made to determine the composition. The concentrations of chemical elements (C, O, Na, Mg, Al, Si, K, Ca, Ti, Fe, Pb, As, Cu, Zn, Ni, Co, V, Tl, Mn, and Sr) were analyzed based on the results of the analysis of samples from soil sections. The amount of chemical elements of the soil cover was determined using the Spectroscan MAX GF-2E device. The obtained data were statistically processed using the Microsoft Excel program. Chemical analysis of the soil cover (Pb, Cu, Zn, As, and Cr) showed that the chemical elements exceed the maximum allowable concentration. The results of the study are the basis for developing recommendations for solving problems related to the pollution of landscapes due to the impact of anthropogenic factors on the soil cover.

Keywords: landscape, soil, chemical elements, influence of anthropogenic factors.

Д. С. Ахметова^{1*}, Н. Е. Рамазанова², А. Е. Егинбаева³, Р. Н. Кенжебай⁴

^{1*} PhD докторант (Евразийский национальный университет им. Л. Н. Гумилева, Астана, Казахстан; akhmetovadanaaaa@mail.ru)

² PhD, и.о. профессор., заведующий кафедрой физической и экономической географии (Евразийский национальный университет им. Л. Н. Гумилева, Астана, Казахстан; nurgulram@gmail.com)

³ PhD, доцент МА, преподаватель (Евразийский национальный университет им. Л. Н. Гумилева, Астана, Казахстан; aeginbaeva@mail.ru)

⁴ Кандидат педагогических наук, доцент (Южно-Казахстанский университет им. М. Ауезова, Шымкент, Казахстан; mega.rabiga@list.ru)

ЗАГРЯЗНЕНИЕ ПОЧВЕННОГО ПОКРОВА ЛАНДШАФТОВ ТУРКЕСТАНСКОЙ ОБЛАСТИ ВСЛЕДСТВИЕ ВЛИЯНИЯ АНТРОПОГЕННЫХ ФАКТОРОВ

Аннотация. Туркестанская область расположена на юге Казахстана, является одним из индустриально-аграрно развитых регионов республики. По мере увеличения интенсивности природопользования Туркестанской области происходит загрязнение вследствие антропогенных факторов. Исследованы составы химических элементов с целью определения уровня загрязнения почвенного покрова ландшафтов Туркестанской области из-за антропогенных факторов. С учетом антропогенных факторов в природных типичных зонах системы ландшафтов изучен состав химических элементов почвенного покрова по генетическим горизонтам, разработаны почвенные разрезы для определения состава. По результатам анализов центрифугированных образцов из почвы (C, O, Na, Mg, Al, Si, K, Ca, Ti, Fe, Pb, As, Cu, Zn, Ni, Co, V, Tl, Mn, Sr) исследованы концентрации химических элементов. Количество химических элементов почвенного покрова определялось методом атомного поглощения. Статистическая обработка полученных данных осуществлялась с помощью программы Microsoft Excel. Количество химических элементов почвенного покрова устанавливалась методом атомного поглощения. Статистическая обработка полученных данных осуществлялась с помощью программы Microsoft Excel. Химический анализ почвенного покрова (Pb, Cu, Zn, As, Cr) показал, что химические элементы превышают ПДК. Результаты исследования являются основой для разработки рекомендаций по решению проблем, связанных с загрязнением ландшафтов вследствие воздействия антропогенных факторов на почвенный покров.

Ключевые слова: ландшафт, почва, химические элементы, антропогенные факторы.

Климатология и метеорология

Климатология және метеорология

Climatology and meteorology

<https://doi.org/10.55764/2957-9856/2024-3-108-124.30>

МРНТИ 39.19.25, 39.01.11
УДК 504.38

В. Г. Сальников¹, С. Е. Полякова^{*2}

¹ Д. г. н., профессор (Казахский национальный университет им. аль-Фараби, Алматы, Казахстан; vitali.salnikov@kaznu.kz)

^{*2} К. г. н., доцент (Казахский национальный университет им. аль-Фараби, Алматы, Казахстан; svetlana.polyakova@kaznu.kz)

СОВРЕМЕННЫЕ КЛИМАТИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ АРЕАЛОВ ПРОИЗРАСТАНИЯ ПОТЕНЦИАЛЬНО ЛЕКАРСТВЕННЫХ РАСТЕНИЙ

Аннотация. Рассмотрены климатические особенности ареалов произрастания потенциально лекарственных растений по данным 33 метеорологических станций с 1991 по 2023 г. Проведены статистический анализ и визуализация данных с помощью диаграмм размаха (boxplot). Выявлены сезонные и годовые тенденции изменения температуры воздуха и сумм осадков в ареалах произрастания лекарственных растений. Во всех ареалах во все сезоны года отмечается повышение температуры воздуха, лишь в ареалах Южный Казахстан и предгорная зона Иле Алатау осенью наблюдается слабое понижение температуры. В целом за год установлено повсеместное увеличение температуры на 0,29-0,62 °C/10 лет, отмечаются значимые тренды для весны и лета. Анализ временного хода месячных сумм осадков показал, что наблюдается разноплановое изменение осадков, все тренды незначимы, за исключением осени для ареала Центральный Казахстан. Изучение сезонных и годовых изменений основных метеорологических величин в зонах произрастания потенциальных лекарственных растений актуально как для понимания особенностей произрастания растений, так и для оптимизации процессов их выращивания, сбора и использования в медицинских целях. Метеорологические условия, такие, как температура воздуха и осадки, играют ключевую роль в формировании биологических характеристик лекарственных растений, их активных компонентов и терапевтических свойств.

Ключевые слова: изменения климата, температура воздуха, атмосферные осадки, ареалы произрастания, лекарственные растения.

Введение. Изменение климата – одна из наиболее значимых глобальных проблем современности, оказывающая существенное влияние на различные аспекты жизни на планете, включая здоровье экосистем, биоразнообразие, сельское хозяйство и здоровье человека. В последние десятилетия наблюдается устойчивая тенденция повышения среднегодовых температур, изменения режима осадков, а также увеличение частоты и интенсивности экстремальных погодных явлений, таких, как засухи, наводнения и шторма. Эти изменения оказывают значительное влияние на природные экосистемы, включая ареалы произрастания лекарственных растений, которые играют важную роль как в поддержании биоразнообразия, так и в медицине.

По данным Всемирной метеорологической организации (ВМО) 2023 год стал самым теплым за всю историю наблюдений и побил многие установленные рекорды [1, 2].

Лекарственные растения, как и все живые представители биосферы, уязвимы к последствиям изменения климата [3, 4]. Климат влияет на растения, формируя их ареалы произрастания, жизненные циклы и общую биологическую продуктивность. Природные ареалы растений определяются условиями окружающей среды и экофизиологическим потенциалом вида. Для Казахстана разработан Атлас ареалов и ресурсов лекарственных растений [5], который требует уточнений с



Рисунок 1 – Родiola розовая (*Rhodiola rosea*) (БАО, июнь 2024 г., фото С. Е. Поляковой)

Figure 1 – *Rhodiola rosea* (BAL, June 2024, photo by S. Ye. Polyakova)

учетом современных климатических изменений. В настоящее время многие ценные лекарственные растения (рисунок 1) вошли в Перечень редких и находящихся под угрозой исчезновения видов растений [6], подвергаются стихийному сбору, в результате чего сокращается количество и площади естественных местообитаний, нарушается естественный баланс в сообществах, что приводит к деградации популяций [7].

Казахстан с его разнообразием климатических зон и богатым биоразнообразием особенно уязвим перед изменениями климата [8]. Степные, полупустынные и горные экосистемы, распространенные в республике, уже испытывают последствия изменения климата, что может привести к сокращению ареалов многих видов растений, включая те, которые имеют важное значение для традиционной и современной медицины. В условиях нарастающего воздействия климатических изменений на экосистемы страны исследование их влияния на лекарственные растения становится крайне актуальным и необходимым для разработки стратегий адаптации и устойчивого использования природных ресурсов.

За последние годы проведено множество исследований влияния изменения климата на лекарственные растения. Они опубликованы в высокорейтинговых научных журналах и охватывают широкий спектр вопросов, связанных с изменением ареалов произрастания, биохимического состава растений, их продуктивности и устойчивости к стрессовым условиям окружающей среды [9-11]. Исследования воздействия изменения климата на лекарственные растения проводились в Таиланде [12-14], Китае [15-18], Пакистане [19], Иране [20, 21], Африке [22], Кении [23], Индонезии [24], Бразилии [25].

Одно из ключевых направлений современных исследований – изучение влияния изменения температуры и осадков на ареалы произрастания лекарственных растений. Например, в статье [26] показано, что повышение температуры и изменение режима осадков могут существенно изменить ареалы произрастания многих видов растений, включая лекарственные. В частности, в ней отмечается, что некоторые виды, традиционно произрастающие в более прохладных регионах, могут начать мигрировать в более северные районы, тогда как виды, привыкшие к теплему климату, могут столкнуться с деградацией своих ареалов из-за засух и высоких температур.

Другим важным аспектом является влияние изменения климата на биохимический состав лекарственных растений. Исследования показывают, что изменения температуры и влажности могут существенно воздействовать на содержание активных веществ в растениях, что, в свою очередь, отражается на их лечебных свойствах. Например, в исследовании [27] установлено, что повышение температуры и изменение уровня осадков приводят к снижению концентрации активных компонентов в ряде лекарственных растений, что может уменьшить их эффективность в медицине.

Также заслуживает внимания исследование устойчивости лекарственных растений к экстремальным погодным условиям, таким, как засухи и наводнения, которые становятся все более частыми в условиях изменения климата. В статье [28] авторы отмечают, что многие лекарственные растения испытывают стрессовые состояния в условиях частых засух. Это приводит к снижению их продуктивности и качества. В то же время некоторые виды показывают высокую устойчивость

к таким условиям, что открывает возможности для селекции и культивирования более устойчивых сортов.

Важным направлением современных исследований является также разработка прогностических моделей, которые позволяют оценить будущее влияние изменения климата на лекарственные растения. Такие модели учитывают различные сценарии изменения климата и показывают как будут изменяться ареалы произрастания растений, их продуктивность и биохимический состав. Данные изучения воздействия изменения климата использовались для определения территорий, подходящих для сохранения *in situ* и *ex situ* [22, 29-31].

Таким образом, изменение климата оказывает комплексное и многогранное влияние на лекарственные растения. Эти изменения касаются не только ареалов произрастания и биохимического состава растений, но и их устойчивости к стрессовым условиям, взаимодействия с другими компонентами экосистем, а также социально-экономических аспектов их использования. В условиях Казахстана с его разнообразными климатическими зонами и богатым биоразнообразием исследование влияния изменения климата на лекарственные растения имеет особую актуальность.

Казахстан расположен в центре континента Евразия, страна находится на девятом месте по площади в мире и занимает территорию в 2 724,9 тыс. км². Республика расположена в четырёх климатических зонах: лесостепной, степной, полупустынной, пустынной (рисунок 2). Каждая из них (таблица 1) характеризуется средними значениями самого холодного и самого теплого месяца в году, а также годовым количеством выпавших осадков [32]. Большую часть территории страны составляют пустыни (44 %) и полупустыни (14 %). Степи занимают 26 % площади, леса – 5,5 % и горы – 10 % [33].

Климат в республике большей частью резко континентальный. На юге температура летом достигает +51 °С, а на севере зимой может опуститься до минус 54 °С. При этом погода в пустыне часто изменчива и непостоянна – днём жарко, а ночью дуют северные ветры, которые приносят с собой холод. Среднегодовое количество осадков изменяется от 89 мм в пустынях до более 1000 мм в горах [34, 35].

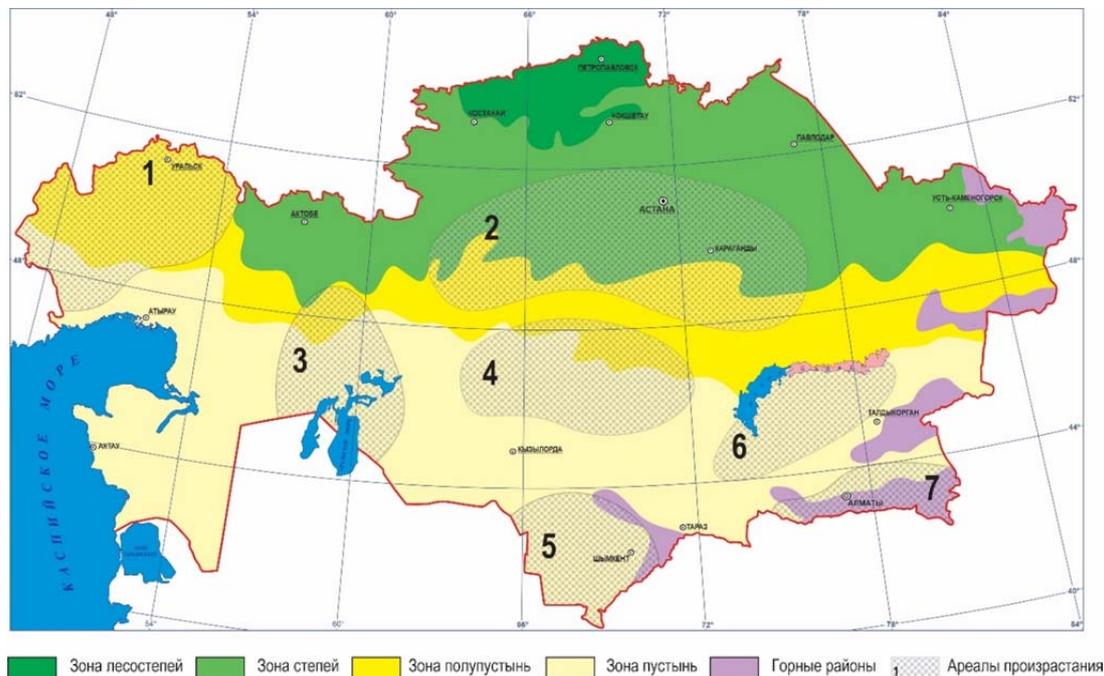


Рисунок 2 – Климатические зоны Казахстана с ареалами произрастания потенциально лекарственных растений: 1 – Западный Казахстан; 2 – Северный Казахстан; 3 – Приаралье; 4 – Центральный Казахстан; 5 – Южный Казахстан; 6 – Южное Прибалкашье; 7 – предгорная зона Иле-Алатау

Figure 2 – Climatic zones of Kazakhstan with areas of growth of potentially medicinal plants: 1 – Western Kazakhstan; 2 – Northern Kazakhstan; 3 – Aral Sea region; 4 – Central Kazakhstan; 5 – Southern Kazakhstan; 6 – Southern Balkhash region; 7 – Foothill zone of Ile-Alatau

Таблица 1 – Основные характеристики климатических зон Казахстана [32]

Table 1 – The main characteristics of the climatic zones of Kazakhstan [32]

Климатическая зона	Годовое количество осадков, мм	Средняя температура января, °С	Средняя температура июля, °С	Примечание
Лесостепная	320–360, около 80 выпадает за теплый период	–17 с возможными понижениями в отдельные дни до –42–48	20 с возможным повышением температуры в отдельные дни до 41	Зима продолжительная и холодная, а лето умеренно жаркое, но сравнительно непродолжительное
Степная	230–340, около 65–80 выпадает за теплый период	–15–19 с возможными понижениями в отдельные дни до –42–49 и даже до –54	19–23, нередко повышение температуры до 40–42	Менее продолжительная зима и более продолжительное жаркое лето
Полупустынная	134–330, около 55–70 выпадает за теплый период, но уже в меньшей степени, чем для степи	От –10 на западе и до –20 на востоке, возможны кратковременные понижения до –37 на западе и до –50 на востоке и повышения температуры до 10–15 тепла	21–25, нередко повышения температуры в отдельные дни до 40–45	Наблюдаются значительные различия в продолжительности лета и зимы на западе и востоке зоны. Если в западной части зима короче, чем на востоке, то лето наоборот
Пустынная	100–200, доля осадков холодного периода 30–54	–5–15, с возможным потеплением температуры до 15–25	24–28, нередко повышения температуры в отдельные дни до 45–48	Продолжительное жаркое лето, холодная зима

Материалы и методы исследования. Для анализа климатических условий, влияющих на произрастание перспективных лекарственных растений в Казахстане, использован комплексный подход. Основу исследования составили данные 33 метеорологических станций (https://meteo.kazhydromet.kz/database_meteo/) с 1991 по 2023 г., охватывающие ареалы произрастания Западный Казахстан, Северный Казахстан, Приаралье, Центральный Казахстан, Южный Казахстан, Прибалкашье и предгорная зона Иле Алатау (таблица 2).

Таблица 2 – Метеорологические станции по ареалам произрастания лекарственных растений

Table 2 – Meteorological stations by areas of growth of medicinal plants

Ареал произрастания	Метеорологическая станция
Западный Казахстан	Уральск, Джамбейты, Джаныбек, Жалпактал
Северный Казахстан	Амангельды, Торгай, Егиндыколь, Аршалы, Родниковское, Кертинды, Бес-Оба, Аксу-Аюлы
Приаралье	Шалкар, Аяккум, Арал Тенизи, Казалы
Центральный Казахстан	Кзылжар, Жезказган, Кулжамбай, Жетыконур,
Южный Казахстан	Кызылкум, Арыс, Шымкент, Казыгурт
Прибалкашье	Матай, Аул №4, Уштобе, Баканас, Мойынкум
Предгорная зона Иле Алатау	Жаланаш, Большое Алматинское озеро, Кеген, Нарынкол

Исследование включало несколько ключевых этапов: сбор и валидацию данных, статистический анализ и визуализацию результатов. На первом этапе данные были стандартизированы и проверены на наличие ошибок и аномалий. После этого они были сгруппированы по зонам и сезонам для анализа специфики климатических условий. Основные статистические методы включали расчет средних значений, минимума и максимума, стандартного отклонения, коэффициента вариации, коэффициента асимметрии и коэффициента эксцесса. Эти показатели позволили выявить общие тенденции и оценить степень изменчивости климатических условий в различных регионах.

Важной частью методологического подхода была визуализация данных с помощью диаграмм размаха (boxplot). Эти диаграммы наглядно показывают особенности распределения данных, что позволило выявить медиану, квартильные значения и выбросы, а также оценить симметрию и степень разброса данных. Использование boxplot способствовало лучшему пониманию общих тенденций и разброса температур и осадков, а также их изменений в течение года. Этот метод оказался особенно полезным для сравнения климатических условий между различными регионами Казахстана, что важно для определения регионов с наиболее благоприятными или неблагоприятными условиями для произрастания лекарственных растений.

Тренды климатических показателей рассчитаны методом наименьших квадратов, что позволило определить долгосрочные изменения в температуре и осадках. Эти тренды могут быть использованы для прогнозирования возможных изменений климатических условий в будущем.

Результаты и их обсуждение. *Температурный режим* в Казахстане за последние десятилетия демонстрирует значительные изменения, которые оказывают глубокое влияние на экосистемы, в частности на ареалы произрастания лекарственных растений. Эти изменения носят как сезонный, так и региональный характер, отражая сложность и многообразие климатических условий в стране. В зимний период, особенно в северных и центральных ареалах, температуры остаются экстремально низкими, что является серьезным вызовом для выживания и роста многих видов растений. Средние зимние температуры в этих регионах могут достигать минус 15,5 °С, создавая условия, при которых только самые морозостойкие виды могут продолжать своё существование. Эти экстремальные холода не только замедляют метаболические процессы растений, но и увеличивают риск гибели многих видов, что снижает биоразнообразие и ограничивает ареалы произрастания. В то же время южные регионы Казахстана, такие, как Южный Казахстан и Приаралье, хотя и характеризуются более мягкими зимними условиями, тем не менее также сталкиваются с вызовами в виде волн холода, которые могут привести к значительному ущербу для растительности.

Лето в Казахстане характеризуется высокой стабильностью, однако средние температуры в этот период значительно выше, чем в другие сезоны. Например, в южных регионах летние температуры могут достигать 29,5 °С, что создает экстремальные условия для большинства видов растений, за исключением тех, которые адаптированы к таким условиям. Высокие летние температуры способствуют засухам, что в свою очередь негативно влияет на водный баланс в почвах, делая условия для роста растений ещё более суровыми. В таких условиях многие виды растений испытывают дефицит влаги, что снижает их продуктивность и замедляет рост. Это особенно критично для лекарственных растений, чья биологическая активность зависит от наличия достаточного количества влаги и благоприятных температурных условий.

Весенний и осенний периоды представляют собой переходные сезоны, когда температуры находятся на умеренном уровне, однако эти периоды также характеризуются значительной изменчивостью, что создает дополнительные сложности для растительности. Весной, когда растения начинают активный рост, любые отклонения от нормальных температурных значений могут существенно повлиять на их развитие. Например, заморозки могут погубить нежные побеги и цветы, что снизит урожайность и качество сырья. Осенью, когда растения готовятся к зиме, колебания температур также могут иметь серьезные последствия, так как они влияют на завершение жизненных циклов растений и их подготовку к зимнему покою. Например, более теплые осени могут продлить период вегетации, что в условиях внезапного наступления зимних холодов приводит к гибели неокрепших растений.

В целом температурный режим Казахстана демонстрирует устойчивую тенденцию к повышению среднегодовых температур, что является отражением глобальных климатических изменений. Эти изменения наиболее заметны в весенний и летний периоды, когда средние температуры достигают максимальных значений. Такое повышение температур приводит к сдвигу ареалов произрастания многих видов растений, включая лекарственные, что требует пересмотра агротехнических мероприятий и адаптации сельскохозяйственных практик к новым климатическим условиям. Например, растения, традиционно произрастающие в более прохладных регионах, могут начать вытесняться на север, где климат становится более благоприятным для их роста. В то же время южные регионы могут столкнуться с проблемами деградации почв из-за засух и высокой температуры, что снизит их продуктивность и ограничит возможности для культивирования многих видов растений.

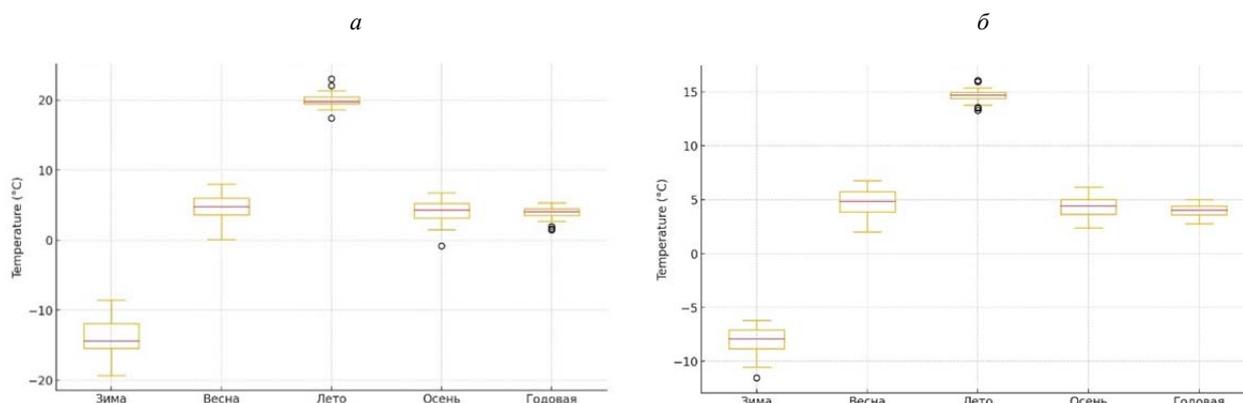


Рисунок 3 – Диаграмма размаха (boxplot) сезонного и годового распределения температуры воздуха для Северного Казахстана (а) и предгорной зоны Иле Алатау (б)

Figure 3 – Boxplot diagram of seasonal and annual air temperature distribution for Northern Kazakhstan (а) and the foothill zone of Ile Alatau (б)

В качестве примера на рисунке 3 приведена диаграмма размаха (Boxplot) сезонного и годового распределения температуры воздуха для Северного Казахстана и предгорной зоны Иле Алатау.

Для ареала Северный Казахстан анализ изменчивости и стабильности температур в разных сезонах и в течение года показал, что в зимний период температура имеет медиану около минус 14,2 °С. Основной диапазон температур варьируется от минус 17,6 до минус 11,3 °С. Летние температуры, как и в других ареалах, наиболее стабильны среди всех сезонов. Медиана составляет около 19,1 °С, а диапазон температур колеблется от 17,4 до 20,1 °С. Температура в переходные периоды имеет медиану около 3,7 °С и изменяется от 2,4 до 6,1 °С. Среднегодовая температура имеет медиану около 3,3 °С. Диапазон температур варьируется от 1,10 до 4,3 °С.

Анализ диаграммы размаха сезонного и годового распределения температуры воздуха в предгорной зоне Иле Алатау показывает, что зимняя температура имеет медиану около минус 8,3 °С. Основной диапазон температур колеблется от минус 10,5 до минус 6,8 °С. Весенняя температура имеет медиану около 3,4 °С. Температуры – от 2,3 до 4,1 °С, что демонстрирует умеренную изменчивость. Летняя температура наиболее стабильна среди всех сезонов. Медиана составляет около 14,5 °С, а температуры изменяются от 13,6 до 15,4 °С. Осенняя температура имеет медиану около 4,2 °С и варьируется от 3,0 до 5,3 °С. Среднегодовая температура имеет медиану около 3,7 °С. Диапазон температур – от 2,5 °С до 4,8 °С.

Наличие выбросов указывает на редкие экстремальные температуры, что может быть связано с аномальными погодными условиями. Отсутствие значительных выбросов говорит о том, что климат в регионе стабилен и редко испытывает экстремальные колебания.

Режим осадков в Казахстане играет ключевую роль в определении условий произрастания потенциально перспективных лекарственных растений, чьи ареалы тесно связаны с водным режимом и сезонной изменчивостью климатических параметров. За последние десятилетия изменения в количестве и распределении осадков оказали значительное влияние на экосистемы Казахстана, особенно на те регионы, которые являются основными зонами произрастания лекарственных растений.

Зимний период в Казахстане характеризуется относительно стабильными осадками в ареалах произрастания потенциально лекарственных растений, где они могут достигать 40-50 мм. Наибольшее количество зимних осадков отмечается в ареале Южный Казахстан (149 мм), а наименьшее – в Приаралье (29 мм). В ареалах с наибольшим количеством зимних осадков создаются благоприятные условия для накопления влаги в почвах. Эта влага играет решающую роль в успешном начале вегетационного периода весной, что особенно важно для лекарственных растений, чувствительных к водному балансу.

Весенний период, характеризующийся незначительным увеличением осадков (10-15 мм), особенно важен для лекарственных растений, так как именно в это время они начинают активный рост. Исключение составляет предгорная зона Иле Алатау, которая получает наибольшее количество осадков в этот период – до 173 мм.

Летний период, когда осадки в ареалах Центральный и Южный Казахстан, Приаралье, Южное Прибалкашье остаются на крайне низком уровне и не превышают 40 мм, представляет собой наиболее сложное время для произрастания лекарственных растений. В остальных ареалах наблюдается небольшой рост осадков. В предгорной зоне Иле Алатау условия более благоприятные для произрастания лекарственных растений, здесь отмечается годовой максимум осадков, который составляет 214 мм.

Осенний период, характеризующийся умеренным количеством осадков (50-80 мм), также играет важную роль в жизненном цикле лекарственных растений. В предгорных районах осадки осенью могут достигать 107 мм, что способствует накоплению влаги в почвах перед зимним сезоном. В ареалах Центральный Казахстан и Приаралье отмечается наименьшее осеннее количество осадков (26-32 мм).

Региональные особенности режима осадков оказывают решающее влияние на распределение и продуктивность лекарственных растений в Казахстане.

На рисунке 4 приведена диаграмма размаха (boxplot) сезонного и годового распределения осадков для Северного Казахстана и Предгорной зоны Иле Алатау.

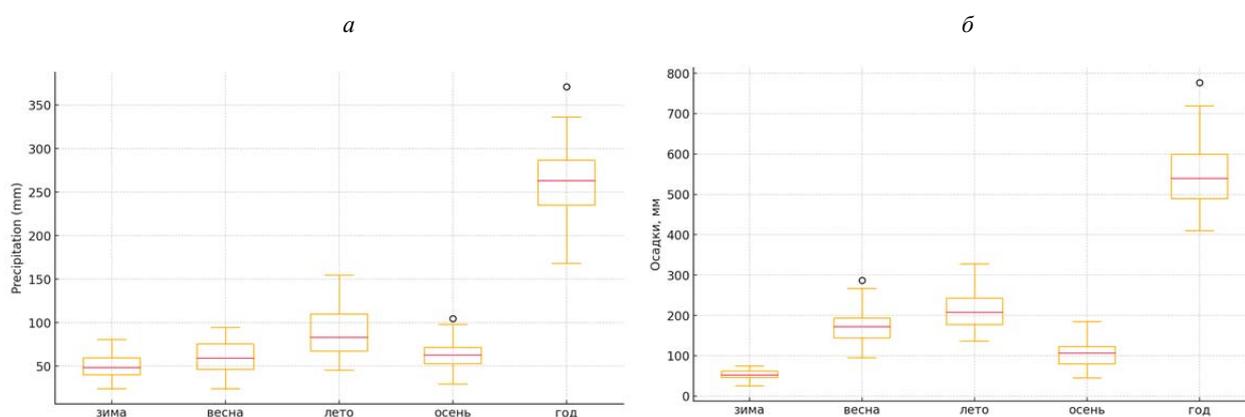


Рисунок 4 – Диаграмма размаха (boxplot) сезонного и годового распределения осадков для: *a* – Северного Казахстана и *б* – предгорной зоны Иле Алатау

Figure 4 is a boxplot diagram of the seasonal and annual precipitation distribution for: *a* – Northern Kazakhstan, *b* – the Foothill zone of Ile Alatau

В ареале Северный Казахстан зимой среднее количество осадков (медиана) 51 мм. Межквартильный размах (IQR) составляет примерно от 40 до 60 мм. Это означает, что 50 % зимних осадков попадают в этот диапазон. Некоторые значения выходят за пределы IQR, что может указывать на наличие выбросов (аномально высокие или низкие значения). Медиана весенних осадков составляет около 60 мм. IQR весной примерно от 50 до 70 мм. Также присутствуют выбросы, указывающие на годы с аномальными значениями осадков. Медиана летних осадков значительно выше и составляет около 90 мм. IQR летом варьируется от 70 до 120 мм, что показывает более высокий уровень осадков и больший разброс значений. Летние осадки имеют более выраженные выбросы, что может свидетельствовать о наличии экстремальных лет с очень высокими осадками. Медиана осенних осадков также около 50 мм. IQR осенью колеблется от 40 до 70 мм. Выбросы осенних осадков указывают на значительную вариативность в разные годы. Медиана годовых осадков составляет 262 мм. IQR годовых осадков варьируется от 200 до 300 мм. Годовые осадки также имеют выбросы, что может указывать на годы с экстремальными погодными условиями.

В предгорной зоне Иле Алатау зимой осадки (54 мм) имеют более узкий разброс по сравнению с другими сезонами. Весной и летом осадки имеют значительные колебания (173-214 мм), что можно видеть по широкой коробке и выбросам. Осенние осадки (107 мм) также варьируются, но имеют меньше выбросов по сравнению с весной и летом. Годовая сумма осадков (547 мм) имеет самый широкий разброс, отражая значительные годовые колебания осадков.

Таблица 3 – Коэффициент линейного тренда температуры воздуха и осадков по сезонам и за год для ареалов произрастания потенциально лекарственных растений

Table 3 – Coefficient of linear trend of air temperature and precipitation by season and per year for areas of growth of potentially medicinal plants

Зона произрастания	Температура воздуха, °C/10 лет					Количество осадков, мм/10 лет				
	Зима	Весна	Лето	Осень	Год	Зима	Весна	Лето	Осень	Год
Западный Казахстан	0,36	0,72	0,81	0,45	0,59	1,45	4,92	-10,2	2,15	-1,72
Северный Казахстан	0,12	0,90	0,25	0,10	0,34	-2,54	-0,61	-6,28	2,45	-6,97
Приаралье	0,40	1,29	0,64	0,17	0,62	1,74	-0,70	-2,71	0,17	-1,50
Центральный Казахстан	0,24	1,13	0,36	0,04	0,44	1,43	3,90	-2,19	5,89	9,03
Южный Казахстан	0,70	0,86	0,29	-0,07	0,44	-6,24	0,54	-2,63	4,85	-3,47
Южное Прибалкашье	0,59	1,13	0,37	0,25	0,58	0,29	3,82	-3,52	0,14	1,00
Предгорная зона Иле Алатау	0,09	0,84	0,36	-0,13	0,29	-1,89	2,62	-13,97	8,08	-5,15

Изучение изменения температуры воздуха и количества осадков (таблица 3) для ареалов произрастания потенциально лекарственных растений за период 1991-2023 гг. позволило сделать следующие выводы:

1. Во всех ареалах произрастания потенциально лекарственных растений во все сезоны года отмечается повышение температуры воздуха, лишь в ареалах Южный Казахстан и предгорная зона Иле Алатау осенью наблюдается слабое понижение температуры.

2. Зимой наибольшие скорости повышения температуры в ареалах Южное Прибалкашье и Южный Казахстан (соответственно 0,59 и 0,70 °C/10 лет). Наименьшие скорости роста отмечаются в предгорной зоне Иле Алатау (0,09 °C/10 лет) и в ареале Северный Казахстан (0,12 °C/10 лет). Тренды незначимы.

3. Весной скорость роста сезонной температуры во всех зонах произрастания максимальная и составляет 0,72-1,29 °C/10 лет. Все тренды значимы. Наибольшие изменения сезонной температуры приходятся на ареалы Южное Прибалкашье, Центральный Казахстан и Приаралье (1,13-1,29 °C/10 лет). В летний период скорость роста температуры во всех ареалах замедляется – 0,25-0,81 °C/10 лет. Тренды изменения температуры во всех зонах произрастания значимы, за исключением ареалов Северный и Южный Казахстан. Осенью тенденция повсеместно сохраняется, наблюдается незначительное повышение температуры (0,04-0,45 °C/10 лет). Исключение составляют ареалы Южный Казахстан и предгорная зона Иле Алатау, где температура понижается на 0,06-0,12 °C/10 лет. Тренды незначимы, за исключением ареала Северный Казахстан. В целом за год температура повсеместно увеличивается на 0,29-0,62 °C/10 лет. Значимые тренды наблюдаются в следующих ареалах: Западный Казахстан, Приаралье, Южное Прибалкашье, предгорная зона Иле Алатау.

Анализ временного хода месячных сумм осадков показал, что для зимы имеются равновероятные ареалы увеличения и уменьшения осадков. Незначительное увеличение осадков отмечается в зонах Южного Прибалкашья (0,29 мм/10 лет), Центрального и Западного Казахстана (1,43 и 1,45 мм/10 лет соответственно) и в Приаралье (1,74 мм/10 лет). Уменьшение количества осадков происходит более интенсивно в предгорной зоне Иле Алатау (1,89 мм/10 лет), Северном (2,54 мм/10 лет) и Южном Казахстане (6,24 мм/10 лет). Весной преобладает повышение величины осадков на 0,54-4,92 мм/10 лет. Однако для ареалов Северный Казахстан и Приаралье отмечается уменьшение количества осадков на 0,61 и 0,70 мм/10 лет соответственно. Летом повсеместно количество осадков уменьшается со скоростью 2,19-13,97 мм/10 лет. Наиболее подвержены ареалы предгорная зона Иле Алатау, Западный и Северный Казахстан. Для осени характерна противоположная тенденция лету – повсеместное увеличение осадков со скоростью 0,14-8,08 мм/10 лет. Наибольшие скорости отмечаются в предгорной зоне Иле Алатау, Центральном и Южном Казахстане. Анализ показывает, что для ареалов характерно уменьшение годовых сумм осадков (1,50-6,97 мм/10 лет). Лишь в Южном Прибалкашье и Центральном Казахстане отмечается увеличение осадков на 1,00 и 9,03 мм/10 лет соответственно. Все тренды незначимы, за исключением осени для ареала Центральный Казахстан.

Также проведен пространственно-временной анализ изменения температуры воздуха и сумм осадков по сезонам и для года в целом за период 1991-2023 гг. для изучения ареалов произрастания лекарственных растений (рисунки 5-8).

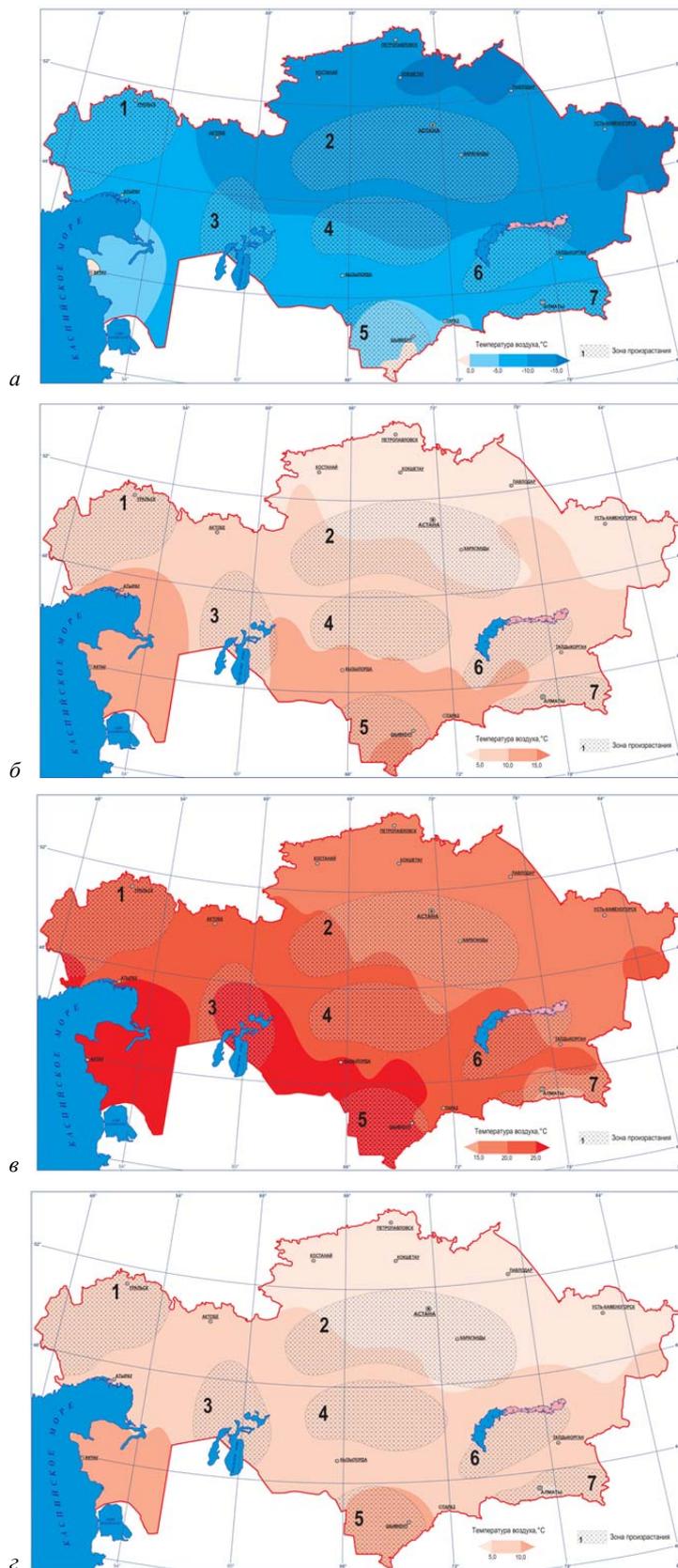


Рисунок 5 – Распределение средней сезонной температуры воздуха по ареалам произрастания лекарственных растений:

a – зима, *б* – весна, *в* – лето, *г* – осень

Figure 5 – Distribution of the average seasonal air temperature by areas of growth of medicinal plants:

a – winter, *b* – spring, *c* – summer, *d* – autumn

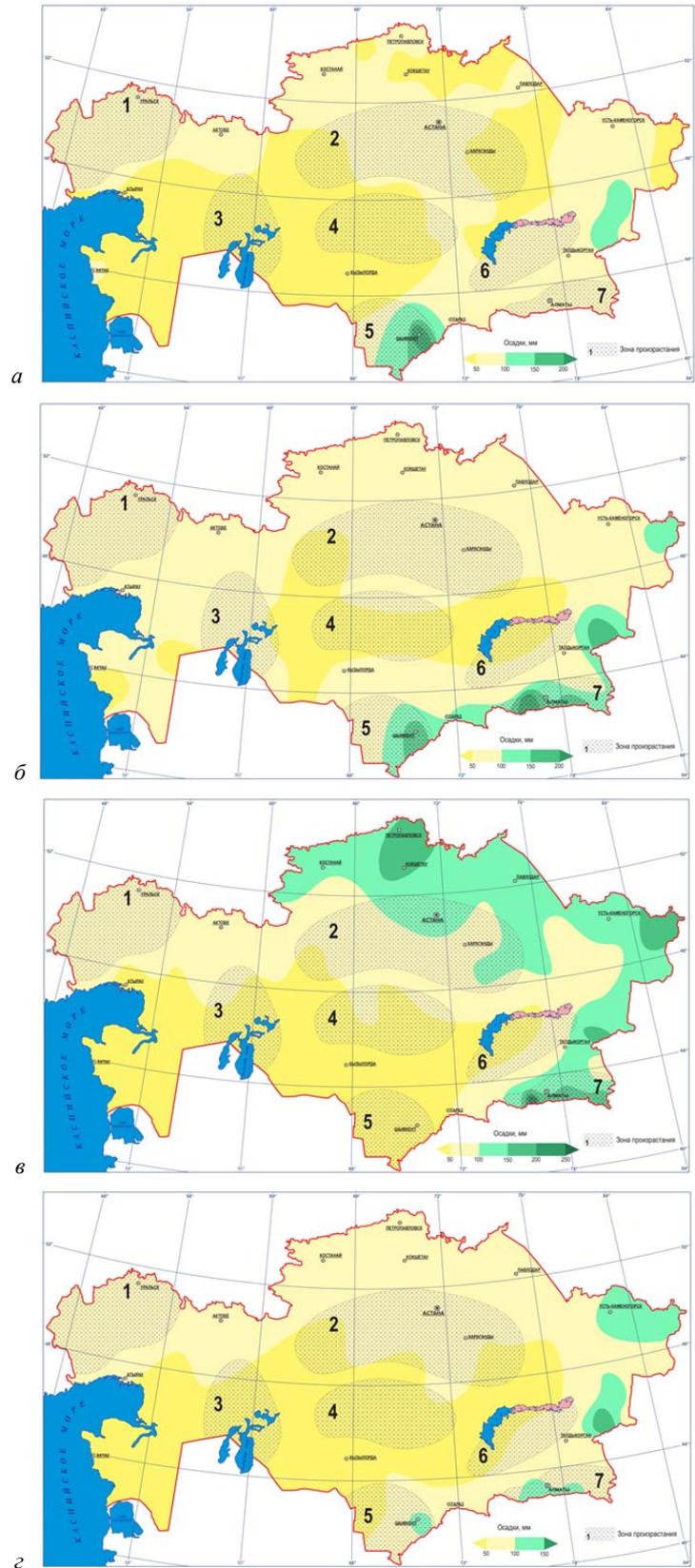


Рисунок 6 – Распределение сезонных осадков по ареалам произрастания лекарственных растений:

a – зима, *б* – весна, *в* – лето, *г* – осень

Figure 6 – Distribution of seasonal precipitation by areas of growth of medicinal plants:

a – winter, *b* – spring, *c* – summer, *d* – autumn

Зима. Для всех исследуемых ареалов характерна отрицательная среднесезонная температура воздуха, за исключением Южного Казахстана. Здесь в юго-восточной части отмечаются положительные температуры воздуха, не превышающие за сезон $3,7^{\circ}\text{C}$ (2016 г.), а на северо-западе наблюдаются минимальные значения (до минус $6,7^{\circ}\text{C}$ в 2008 г.). Среднесезонная температура минус $0,3^{\circ}\text{C}$ (см. рисунок 5, а). В ареале Южный Казахстан выпадает максимальное количество осадков (более 200 мм) за зиму по всей территории Казахстана, очаг расположен на юго-востоке ареала (см. рисунок 6, а), средняя сезонная сумма составила 146 мм (экстремальные: 2021 г. – 73 мм, 2005 г. – 246 мм).

Для ареала Западный Казахстан диапазон изменения температуры от минус $12,4^{\circ}\text{C}$ (1996 г.) до минус $2,7^{\circ}\text{C}$ (2020 г.). Среднесезонная температура минус $8,4^{\circ}\text{C}$ за период исследования. Сумма осадков за сезон в среднем 64 мм, наименьшая 26 мм отмечалась зимой 2008/09 г., а наибольшая 97 мм – зимой 2015/16 г.

Аналогичная ситуация отмечается в предгорной зоне Иле Алатау, где средняя температура за зиму составляет минус $8,0^{\circ}\text{C}$. Наименьшее значение зафиксировано зимой 2007/08 г. и составило минус $11,5^{\circ}\text{C}$, а зима 2008/09 г. была теплой за период 1991-2023 гг. (минус $6,2^{\circ}\text{C}$). В среднем за сезон выпадает 53 мм (максимум осадков отмечался в 1999 г. и составил 75 мм, минимум – в 2007 г. – 26 мм).

Наибольший размах температур отмечается в Южном Прибалкашье, Приаралье и Центральном Казахстане. Зимой 2011/12 гг. зафиксированы наименьшие отрицательные температуры, диапазон изменения составил от минус $13,6$ до минус $18,1^{\circ}\text{C}$. Теплой была зима 2021/22 гг. – минус $2,8^{\circ}\text{C}$, а в ареале Центральный Казахстан 2001-2002 г. – минус $5,6^{\circ}\text{C}$. Средняя температура воздуха за зиму для рассматриваемых ареалов колебалась от минус $8,3$ до минус $11,8^{\circ}\text{C}$.

В Приаралье и Центральном Казахстане сезонная сумма составляет 35-39 мм соответственно, а в Южном Прибалкашье и Северном Казахстане – 52 мм. Малое количество осадков выпадало зимой 2011/12 г. (11-25 мм). В ареале Северный Казахстан среднесезонная температура составила минус $13,6^{\circ}\text{C}$ с экстремумами минус $19,3^{\circ}\text{C}$ (зима 2011/12 г.) и минус $8,6^{\circ}\text{C}$ (2001/02 г.).

Лето. Самые высокие средние сезонные температуры воздуха ($25,6$ - $26,8^{\circ}\text{C}$) отмечаются в Приаралье и ареале Южный Казахстан, а самые низкие ($14,7^{\circ}\text{C}$) – в предгорной зоне Иле Алатау. Наивысшие значения приходятся на последние три года: 2021 г. – $27,9^{\circ}\text{C}$ в Приаралье и 2023 г. – $28,5^{\circ}\text{C}$ в Южном Казахстане и $16,1^{\circ}\text{C}$ в предгорной зоне Иле Алатау (см. рисунок 5, в).

Для южной части Казахстана характерно малое количество осадков. Так, сумма летних осадков в Приаралье, Южном и Центральном Казахстане и Прибалкашье не превышает 50 мм. В последнее десятилетие отмечается минимальная сезонная сумма осадков 4-9 мм, максимальная не превышает 100 мм и наблюдалась с 1999 по 2016 г. (см. рисунок 6, в). В предгорной зоне Иле Алатау установлено максимальное среднее сезонное количество осадков (214 мм) по Казахстану, предельное значение 328 мм в 2003 г.

Для Западного и Центрального Казахстана, а также для Южного Прибалкашья сезонная температура в среднем составляет $23,2$ - $24,3^{\circ}\text{C}$. Максимальные значения приходятся на последнее десятилетие ($25,5$ - $27,2^{\circ}\text{C}$), минимальные отмечаются в период 1992-2003 гг. и составляют $19,7$ - $22,9^{\circ}\text{C}$. Сезонное количество осадков для ареала Западный Казахстан в среднем равно 74 мм. Наибольшая летняя сумма составила 186 мм в 1993 г., а наименьшая – 25 мм в 2010 г.

В ареале Северный Казахстан летняя температура равна $20,0^{\circ}\text{C}$, однако экстремальные значения $17,4^{\circ}\text{C}$ (1992 г.) и $23,0^{\circ}\text{C}$ (1998 г.) пришлись на конец XX века. Среднее количество осадков летом равно 89 мм, экстремальные суммы несколько ниже, чем в Западном Казахстане (154 мм зафиксировано в 2013 г., 45 мм – в 1997 г.).

Весна и осень. В переходные периоды года для 5 ареалов (Западный и Центральный Казахстан, Приаралье, Прибалкашье и предгорная зона Иле Алатау) произрастания лекарственных растений характерна средняя сезонная температура от $4,4$ - $4,7^{\circ}\text{C}$ в предгорной зоне до $6,7$ - $10,9^{\circ}\text{C}$ на остальной территории. Весной температура на 8-19 % выше, чем осенью (см. рисунок 5, б, з). Наибольшие сезонные температуры наблюдались как весной ($11,6$ - $13,7^{\circ}\text{C}$), так и осенью ($6,1$ - $11,5^{\circ}\text{C}$) в 2023 г., исключение составляет весна предгорной зоны Иле Алатау и Центрального Казахстана ($6,8$ и $11,6^{\circ}\text{C}$ в 2008 г.), а также Южного Прибалкашья ($13,7^{\circ}\text{C}$ в 2022 г.). Наименьшие сезонные температуры ($2,0$ - $7,6^{\circ}\text{C}$) отмечались в 90-х годах XX века.

Малое количество сезонных осадков характерно для зон, расположенных в Центральном Казахстане. Здесь среднее значение около 50 мм, чуть больше (73-78 мм) на территории Западного Казахстана, причем весной осадков на 10-35 % больше, чем осенью (см. рисунок 6, б, з). Наименьшие сезонные осадки (35-50 мм) выпали осенью 2005 г. в Приаралье, Прибалкашье и Центральном Казахстане, наибольшие – осенью 2023 г. (137 мм – Западный Казахстан) и весной 2016 г. (125 мм – Западный Казахстан; 104 мм – Прибалкашье).

К югу сезонные температуры возрастают, а к северу падают. Так, в Южном Казахстане сезонная температура колеблется от 12,8 °С осенью до 14,3 °С весной, причем экстремумы имеют аналогичную изменчивость: диапазон минимальных сезонных температур воздуха 9,7-11,8 °С (2016 и 2017 гг. соответственно), максимальных 14,8-17,0 °С (2023 и 2008 гг. соответственно).

В ареалах Южный Казахстан и предгорная зона Иле Алатау сезонные осадки возрастают от 72-107 мм осенью до 138-173 мм весной. Экстремальным для Южного Казахстана являлся 2002 г., когда весной отмечался максимум сезонных осадков (240 мм) и минимум осенних осадков (11 мм). В предгорной зоне Иле Алатау максимальное сезонное количество осадков (286 мм) зафиксировано весной 2016 г., минимальное 45 мм – осенью 1997 г.

В ареале Северный Казахстан среднесезонная температура составляет 4,1 °С осенью и 4,9 °С весной. Максимальные сезонные значения приходятся на весну 2008 г. (8,0 °С) и осень 2023 г. (6,7 °С), минимальные – на весну 1996 г. (0,1 °С) и осень 1993 г. (минус 0,8 °С). Средние сезонные осадки практически одинаковые: весной – 61 мм, осенью – 63 мм. Максимальные значения достигали 105 мм осенью 2001 г., а минимальные – 24 мм весной 1991 г.

Год. Среднегодовая температура воздуха повторяет характер изменения весной и осенью. Для 5 ареалов, расположенных в центральном поясе, средняя за год температура воздуха положительная и изменяется от 4,0 °С в предгорной зоне Иле Алатау до 8,7-8,9 °С в Приаралье и Прибалкашье. Для Северного Казахстана температура уменьшается до 3,9 °С, а для ареала Южный Казахстан возрастает до 13,4 °С. Годовые максимальные значения температуры воздуха зафиксированы в 2023 г. (5,0-14,9 °С), а минимальные – в 1993 г. (1,4-11,3 °С) для всех ареалов произрастания потенциально лекарственных растений (см. рисунок 7).

Минимальные годовые суммы осадков отмечаются в Приаралье и Центральном Казахстане и составляют 146 и 152 мм соответственно. Наибольшее количество зафиксировано в предгорной зоне – 546 мм (см. рисунок 8). Для ареалов произрастания потенциально лекарственных растений

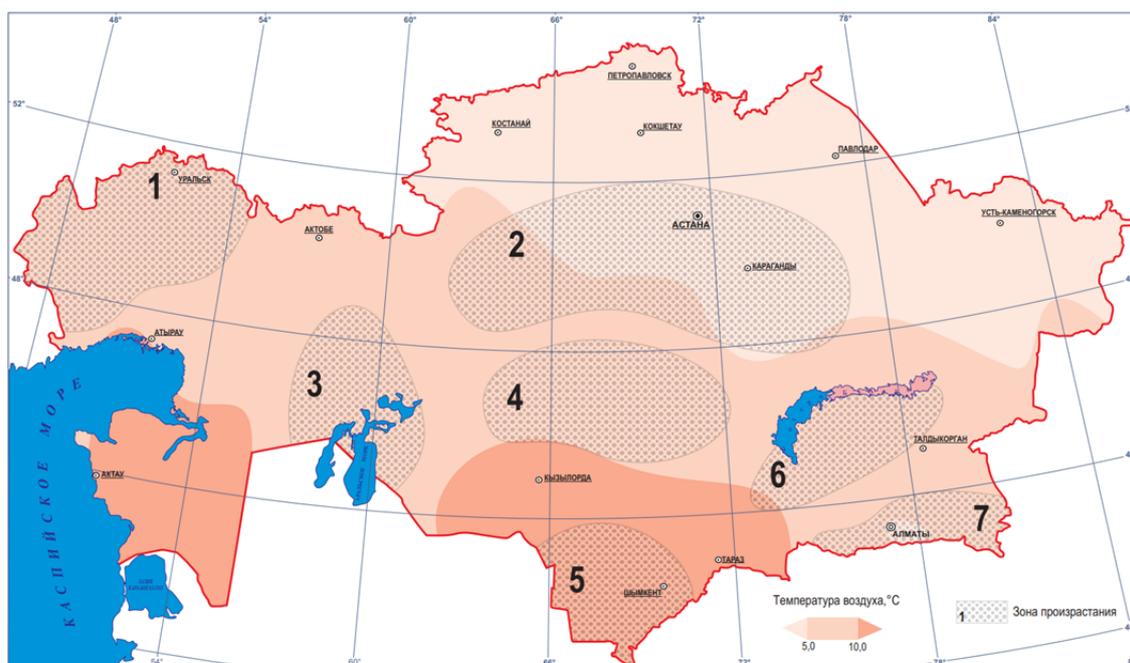


Рисунок 7 – Распределение средней годовой температуры воздуха по зонам произрастания лекарственных растений

Figure 7 – Distribution of the average annual air temperature by zones of growing of medicinal plants

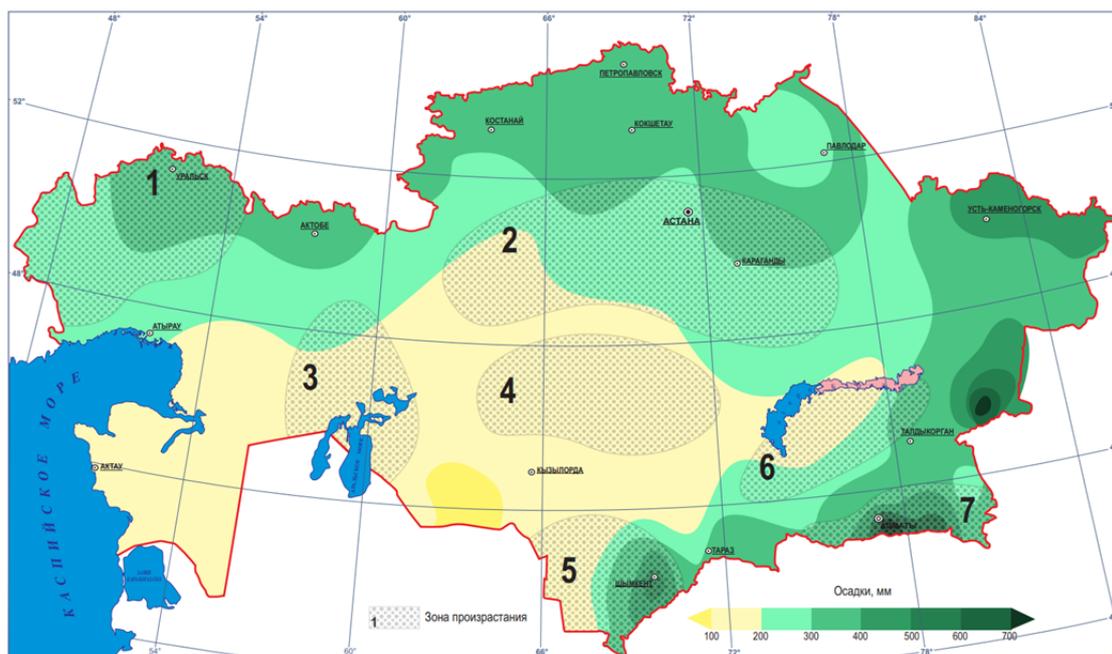


Рисунок 8 – Распределение годовых осадков по зонам произрастания лекарственных растений

Figure 8 – Distribution of annual precipitation by zones of growing of medicinal plants

осадки теплого периода (апрель-октябрь) преобладают над осадками холодного периода (ноябрь-март), исключение составляет ареал Южный Казахстан. Максимальные годовые суммы осадков (331-777 мм – Прибалкашье, Западный Казахстан и предгорная зона Иле Алатау) зафиксированы в 2016 г.; для Приаралья и Южного Казахстана – в 2003 г., сумма осадков составила 255-549 мм. Наименьшие годовые суммы осадков наблюдались повсеместно до 2000 г. (81-192 мм).

Таким образом, пространственное распределение температуры воздуха и осадков является ключевым фактором в агрономии лекарственных растений, влияя на все аспекты их выращивания, от выбора места до качества конечного продукта.

Заключение. Одной из особенностей климата Казахстана является его значительное разнообразие, обусловленное географическим положением. Республика расположена на стыке нескольких крупных климатических зон, что определяет широкий спектр погодных условий. Такое разнообразие создает уникальные условия для произрастания различных видов растений, каждый из которых адаптирован к специфическим климатическим условиям своей зоны.

В ходе исследования установлено, что ареалы Южное Прибалкашье, Южный и Центральный Казахстан, характеризующиеся теплыми и засушливыми условиями, являются идеальными для произрастания растений, богатых эфирными маслами, алкалоидами и другими летучими соединениями. В предгорной зоне Иле Алатау создаются благоприятные условия для произрастания растений, богатых фенольными соединениями, флавоноидами и другими антиоксидантами.

Выводы исследования подчеркивают важность учета региональных климатических особенностей при сборе и культивировании лекарственных растений. Например, растения, произрастающие в южных регионах страны, могут быть более чувствительными к изменениям температуры и режиму осадков, что требует особого подхода к их культивированию и обработке. В то же время растения, произрастающие в горных районах, могут иметь более устойчивую структуру и химический состав, что делает их более пригодными для использования в условиях изменяющегося климата.

Климатические условия Казахстана представляют собой один из наиболее значимых факторов, влияющих на ареалы произрастания потенциально лекарственных растений, а также на их биологические особенности, продуктивность и химический состав. Исследование, проведенное в различных климатических зонах Казахстана, позволило выделить особенности, которые необходимо учитывать при сборе и культивировании лекарственных растений, а также при разработке стратегий их устойчивого использования в медицине и фармакологии.

Финансирование. Исследование проводилось в рамках программы BR21882180 «Разработка программы сохранения и развития ресурсной базы перспективных для медицины и ветеринарии растений Казахстана в условиях изменяющегося климата».

ЛИТЕРАТУРА

- [1] WMO: Climate change indicators reached record levels in 2023 [Электронный ресурс]. – 2024. – URL: <https://wmo.int/ru/media/news/wmo-pokazateli-izmeneniya-klimata-dostigli-rekordnykh-urovney-v-2023-godu> (дата обращения: 04.07.2024).
- [2] Climate Change 2023: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Core Writing Team, H. Lee and J. Romero (eds.)]. IPCC, Geneva, Switzerland, 2023. – P. 35-115. <https://doi.org/10.59327/IPCC/AR6-9789291691647>
- [3] El Gendy A.N.G., Fouad R., Omer E.A., Cock I.E. Effects of Climate Change on Medicinal Plants and Their Active Constituents. In: Hasanuzzaman, M. (eds) Climate-Resilient Agriculture, Vol 1. – Springer, Cham, 2023. – P. 125-156. https://doi.org/10.1007/978-3-031-37424-1_6
- [4] Hounsou K. E., Sonibare M. A., Elufioye T. O. Climate change and the future of medicinal plants research // Bioactive Compounds in Health and Disease. – 2024. – Vol. 7(3). – P. 152-169. <https://doi.org/10.31989/bchd.v7i3.1310>
- [5] Атлас ареалов и ресурсов лекарственных растений Казахстана / Под науч. ред. М. К. Кукунова. – Алматы: Гылым, 1994. – 168 с.
- [6] Перечень редких и находящихся под угрозой исчезновения видов растений. Утвержден Постановлением Правительства Республики Казахстан от 31 октября 2006 года, № 1034 [Электрон. ресурс]. – 2006. – URL: <https://www.gov.kz/memleket/entities/forest/press/article/details/105771?lang=ru> (дата обращения: 04.07.2024).
- [7] Kubentayev S. A., Zhumagul M. Zh., Kurmanbayeva M. S., Alibekov D. T., Kotukhov J. A., Sitpayeva G. T., Mukhtubayeva S. K., Izbastina K. S. Current state of populations of *Rhodiola rosea* L. (Crassulaceae) in East Kazakhstan // Botanical Studies. – 2021. – Vol. 62, No. 1. – P. 1-20. doi: 10.1186/s40529-021-00327-4
- [8] Закон Республики Казахстан «О растительном мире» от 2 января 2023 года, № 183-VII ЗПК.
- [9] Terletsкая N. V., Turzhanova A. S., Khapilina O. N., Zhumagul M. Z., Meduntseva N. D., Kudrina N. O., Korbozova N. K., Kubentayev S. A., Kalendar R. Genetic Diversity in Natural Populations of *Rhodiola* Species of Different Adaptation Strategies // Genes. – 2023. – Vol. 14: 794. <https://doi.org/10.3390/genes14040794>
- [10] Terletsкая N. V., Korbozova N. K., Kudrina N. O., Kobylina T. N., Kurmanbayeva M. S., Meduntseva N. D., Tolstikova T. G. The Influence of Abiotic Stress Factors on the Morphophysiological and Phytochemical Aspects of the Acclimation of the Plant *Rhodiola semenovii* Boriss // Plants. – 2021. – Vol. 10, issue 6: 1196. <https://doi.org/10.3390/plants10061196>
- [11] Terletsкая N. V., Korbozova N. K., Grazhdannikov A. E., Seitimova G. A., Meduntseva N. D., Kudrina N. O. Accumulation of Secondary Metabolites of *Rhodiola semenovii* Boriss. In Situ in the Dynamics of Growth and Development // Metabolites. – 2022. – Vol. 12: 622. <https://doi.org/10.3390/metabo12070622>
- [12] Trisurat Y., Shrestha R.P., Kjelgren R. Plant species vulnerability to climate change in Peninsular Thailand // Applied Geography. – 2011. – Vol. 31, issue 3. – P. 1106-1114. <https://doi.org/10.1016/j.apgeog.2011.02.007>
- [13] Tangjitman K., Trisonthi C., Wongsawad C., Jitaree S., Svenning J.C. Potential impact of climatic change on medicinal plants used in the Karen women's health care in Northern Thailand // Songklanakarin Journal of Science and Technology. – 2015. – Vol. 37, issue 3. – P. 369-379.
- [14] Trisurat, Y., Sutummawong, N., Roehrdanz, P.R., Chitechote, A. Climate Change Impacts on Species Composition and Floristic Regions in Thailand // MDPI Diversity. – 2023. – Vol.15, issue 10: 1087 <https://doi.org/10.3390/d15101087>
- [15] Yi Y., Cheng X., Yang Z., Zhang S. Maxent modeling for predicting the potential distribution of endangered medicinal plant (*H. Riparia* Lour) in Yunnan, China // Ecological Engineering. – 2016. – Vol. 92. – P. 260-269. <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2016.04.010>
- [16] Fang Q., Yue Z., Zhang S., Wang G., Xue B., Guo Z. Effects of Climatic Disturbance on the Trade-Off between the Vegetation Pattern and Water Balance Based on a Novel Model and Accurately Remotely Sensed Data in a Semiarid Basin // MDPI Remote Sensing. – 2024. – Vol. 16, issue 12: 2132. <https://doi.org/10.3390/rs16122132>
- [17] Wei B., Wang R., Hou K., Wang X., Wu W. Predicting the current and future cultivation regions of *Carthamus tinctorius* L. using MaxEnt model under climate change in China // Global Ecology and Conservation. – 2018. – Vol. 16, e00477. <https://doi.org/10.1016/j.gecco.2018.e00477>
- [18] Feng G., Xiong Y.-J., Wei H.-Y., Li Y., Mao L.-F. Endemic medicinal plant distribution correlated with stable climate, precipitation, and cultural diversity // Plant Diversity. – 2023. – Vol. 45, issue 4. – P. 479-484. <https://doi.org/10.1016/j.pld.2022.09.007>
- [19] Khanum R., Mumtaz A.S., Kumar S. Predicting impacts of climate change on medicinal asclepiads of Pakistan using Maxent modeling // Acta Oecologica. – 2013. – Vol. 49. – P. 23-31. <https://doi.org/10.1016/j.actao.2013.02.007>
- [20] Tarnian F., Kumar S., Azarnivand H., Chahouki M.A.Z., Mossivand A.M. Assessing the effects of climate change on the distribution of *Daphne mucronata* in Iran // Environmental Monitoring and Assessment. – 2021. – Vol. 193, issue 9: 562. <https://doi.org/10.1007/s10661-021-09311-8>
- [21] Shaban M., Ghehsareh Ardestani E., Ebrahimi A., Borhani M. Climate change impacts on optimal habitat of *Stachys inflata* medicinal plant in central Iran // Scientific Reports. – 2023. – Vol. 13: 6580. <https://doi.org/10.1038/s41598-023-33660-8>
- [22] Asase A., Peterson A.T. Predicted impacts of global climate change on the geographic distribution of an invaluable African medicinal plant resource, *Alstonia boonei* De Wild // Journal of Applied Research on Medicinal and Aromatic Plants. – 2019. – Vol. 14:100206. <https://doi.org/10.1016/j.jarmap.2019.100206>

- [23] Oluoch W. A., Borgemeister C., de Deus Vidal Junior J., Fremout T., Gaisberger H., Whitney C., Schmitt C.B. Predicted changes in distribution and richness of wild edible plants under climate change scenarios in northwestern Kenya // *Regional Environmental Change*. – 2024. – Vol. 24, issue 1:11. <https://doi.org/10.1007/s10113-023-02175-3>
- [24] Cahyaningsih R., Phillips J., Brehm J.M., Gaisberger H., Maxted N. Climate change impact on medicinal plants in Indonesia // *Global Ecology and Conservation*. – 2021. – Vol. 30: e01752. <https://doi.org/10.1016/j.gecco.2021.e01752>
- [25] Silva J.L.S., Cruz-Neto O., Tabarelli M., Albuquerque U.P., Lopes A.V. Climate change will likely threaten areas of suitable habitats for the most relevant medicinal plants native to the Caatinga dry forest // *Ethnobiology and Conservation*. – 2022. – Vol. 11: 15. <https://doi.org/10.15451/ec2022-06-11.15-1-24>
- [26] Maikhuri R.K., Phondani P.C., Dhyani D., Rawat L.S., Jha N.K., Kandari L.S. Assessment of Climate Change Impacts and its Implications on Medicinal Plants-Based Traditional Healthcare System in Central Himalaya, India. Iran // *Iranian Journal of Science and Technology. Transactions A: Science*. – 2018. – Vol. 42. – P. 1827-1835. <https://doi.org/10.1007/s40995-017-0354-2>
- [27] Kirakosyan A., Seymour E., Kaufman P.B., Warber S., Bolling S., Chang S.C. Antioxidant capacity of polyphenolic extracts from leaves of *Crataegus laevigata* and *Crataegus monogyna* (hawthorn) subjected to drought and cold stress // *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. – 2003. – Vol. 51, issue 14. – P. 3973-3976. <https://doi.org/10.1021/jf030096r>
- [28] Zobayed S.M.A., Afreen F., Kozai T. Temperature stress can alter the photosynthetic efficiency and secondary metabolite concentrations in *St. John's wort* // *Plant Physiology and Biochemistry*. – 2005. – Vol. 43, issue 10-11. – P. 977-984. <https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2005.07.013>
- [29] Sanchez A.C., Osborne P.E., Haq N. Climate change and the African baobab (*Adansonia digitata* L.): the need for better conservation strategies // *African Journal of Ecology*. – 2011. – Vol. 49, issue 2. – P. 234-245. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2028.2011.01257.x>
- [30] Vincent H., Amri A., Castaneda-Alvarez N.P., Dempewolf H., Dulloo E., Guarino L., Hole D., Mba C., Toledo A., Maxted N. Modeling of crop wild relative species identifies areas globally for in situ conservation // *Communications Biology*. – Vol. 2:136. <https://doi.org/10.1038/s42003-019-0372-z>
- [31] Gaisberger H., Legay S., Andre C., Loo J., Azimov R., Aaliev S., Bobokalonov F., Mukhsimov N., Kettle C., Vinceti B. Diversity under threat: connecting genetic diversity and threat mapping to set conservation priorities for Juglans regia L. populations in Central Asia // *Frontiers in Ecology and Evolution*. – 2020. – Vol. 8. <https://doi.org/10.3389/fevo.2020.00171>
- [32] Климат Казахстана [Электронный ресурс]. – URL: <https://www.kazhydromet.kz/ru/klimat/klimat-kazahstana-1> (дата обращения: 04.07.2024).
- [33] Республика Казахстан [Электронный ресурс]. – URL: https://www.akorda.kz/ru/republic_of_kazakhstan/kazakhstan# (дата обращения: 04.07.2024).
- [34] Сальников В., Подрезов А. Исследование по оценке проблем засухи и моделей мониторинга засух в Центральной Азии. Экономическая и социальная комиссия для Азии и Тихого океана. – Алматы: Центр по чрезвычайным ситуациям и снижению риска стихийных бедствий, 2020. – 57 с.
- [35] Ерисковская Л. А. Изменение континентальности климата за последние годы (на примере ледника Туйыксу) // *Гидрометеорология и экология*. – 2015. – № 1. – С. 29-35.

REFERENCES

- [1] WMO: Climate change indicators reached record levels in 2023 [Electronic resource]. 2024. – URL: <https://wmo.int/ru/media/news/wmo-pokazateli-izmeneniya-klimata-dostigli-rekordnykh-urovney-v-2023-godu> (date of the application: 04.07.2024)
- [2] Climate Change 2023: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Core Writing Team, H. Lee and J. Romero (eds.)]. IPCC, Geneva, Switzerland, 2023. P. 35-115. <https://doi.org/10.59327/IPCC/AR6-9789291691647>
- [3] El Gendy A.N.G., Fouad R., Omer E.A., Cock I.E. Effects of Climate Change on Medicinal Plants and Their Active Constituents. In: Hasanuzzaman, M. (eds.) *Climate-Resilient Agriculture*, Vol 1. Springer, Cham, 2023. P. 125-156. https://doi.org/10.1007/978-3-031-37424-1_6
- [4] Hounsou K. E., Sonibare M. A., Elufioye T. O. Climate change and the future of medicinal plants research // *Bioactive Compounds in Health and Disease*. 2024. Vol. 7(3). P. 152-169. <https://doi.org/10.31989/bchd.v7i3.1310>
- [5] Atlas of areas and resources of medicinal plants of Kazakhstan // Scientifically edited by M.K. Kukenova. Almaty: Gylym, 1994. 168 p. (in. Russ.)
- [6] List of rare and endangered plant species. Approved by Decree of the Government of the Republic of Kazakhstan dated October 31, 2006 No. 1034 [Electronic resource]. 2006. URL: <https://www.gov.kz/memleket/entities/forest/press/article/details/105771?lang=ru> (date of the application: 04.07.2024), (in. Russ.).
- [7] Kubentayev S. A., Zhumagul M. Zh., Kurmanbayeva M. S., Alibekov D. T., Kotukhov J. A., Sitpayeva G. T., Mukhtubayeva S. K., Izbastina K. S. Current state of populations of *Rhodiola rosea* L. (Crassulaceae) in East Kazakhstan // *Botanical Studies*. 2021. Vol. 62, No. 1. P. 1-20. doi: 10.1186/s40529-021-00327-4
- [8] Law of the Republic of Kazakhstan “On flora” dated January 2, 2023, No. 183-VII ZRK (in. Russ.)
- [9] Terletsкая N. V., Turzhanova A. S., Khapilina O. N., Zhumagul M. Z., Meduntseva N. D., Kudrina N. O., Korbozova N. K., Kubentayev S. A., Kalendar R. Genetic Diversity in Natural Populations of *Rhodiola* Species of Different Adaptation Strategies // *Genes*. 2023. Vol. 14: 794. <https://doi.org/10.3390/genes14040794>
- [10] Terletsкая N. V., Korbozova N. K., Kudrina N. O., Kobylina T. N., Kurmanbayeva M. S., Meduntseva N. D., Tolstikova T. G. The Influence of Abiotic Stress Factors on the Morphophysiological and Phytochemical Aspects of the Acclimation of the Plant *Rhodiola semenowii* Boriss // *Plants*. 2021. Vol. 10, issue 6: 1196. <https://doi.org/10.3390/plants10061196>

- [11] Terletskaia N. V., Korbozova N. K., Grazhdannikov A. E., Seitimova G. A., Meduntseva N. D., Kudrina N. O. Accumulation of Secondary Metabolites of *Rhodiola semenovii* Boriss. In Situ in the Dynamics of Growth and Development // *Metabolites*. 2022. Vol. 12: 622. <https://doi.org/10.3390/metabo12070622>
- [12] Trisurat Y., Shrestha R.P., Kjelgren R. Plant species vulnerability to climate change in Peninsular Thailand // *Applied Geography*. 2011. Vol. 31, issue 3. P. 1106-1114. <https://doi.org/10.1016/j.apgeog.2011.02.007>
- [13] Tangitman K., Trisonthi C., Wongsawad C., Jitaree S., Svenning J.C. Potential impact of climatic change on medicinal plants used in the Karen women's health care in Northern Thailand // *Songklanakarin Journal of Science and Technology*. 2015. Vol. 37, issue 3. P. 369-379.
- [14] Trisurat, Y., Sutummawong, N., Roehrdanz, P.R., Chitechote, A. Climate Change Impacts on Species Composition and Floristic Regions in Thailand // *MDPI Diversity*. 2023. Vol. 15, issue 10: 1087 <https://doi.org/10.3390/d15101087>
- [15] Yi Y., Cheng X., Yang Z., Zhang S. Maxent modeling for predicting the potential distribution of endangered medicinal plant (*H. Riparia* Lour) in Yunnan, China // *Ecological Engineering*. 2016. Vol. 92. P. 260-269. <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2016.04.010>
- [16] Fang Q., Yue Z., Zhang S., Wang G., Xue B., Guo Z. Effects of Climatic Disturbance on the Trade-Off between the Vegetation Pattern and Water Balance Based on a Novel Model and Accurately Remotely Sensed Data in a Semiarid Basin // *MDPI Remote Sensing*. 2024. Vol. 16, issue 12: 2132. <https://doi.org/10.3390/rs16122132>
- [17] Wei B., Wang R., Hou K., Wang X., Wu W. Predicting the current and future cultivation regions of *Carthamus tinctorius* L. using MaxEnt model under climate change in China // *Global Ecology and Conservation*. 2018. Vol. 16, e00477. <https://doi.org/10.1016/j.gecco.2018.e00477>
- [18] Feng G., Xiong Y.-J., Wei H.-Y., Li Y., Mao L.-F. Endemic medicinal plant distribution correlated with stable climate, precipitation, and cultural diversity // *Plant Diversity*. 2023. Vol. 45, issue 4. P. 479-484. <https://doi.org/10.1016/j.pld.2022.09.007>
- [19] Khanum R., Mumtaz A.S., Kumar S. Predicting impacts of climate change on medicinal asclepiads of Pakistan using Maxent modeling // *Acta Oecologica*. 2013. Vol. 49. P. 23-31. <https://doi.org/10.1016/j.actao.2013.02.007>
- [20] Tarnian F., Kumar S., Azarnivand H., Chahouki M.A.Z., Mossivand A.M. Assessing the effects of climate change on the distribution of *Daphne mucronata* in Iran // *Environmental Monitoring and Assessment*. 2021. Vol. 193, issue 9: 562. <https://doi.org/10.1007/s10661-021-09311-8>
- [21] Shaban M., Ghehsareh Ardestani E., Ebrahimi A., Borhani M. Climate change impacts on optimal habitat of *Stachys inflata* medicinal plant in central Iran // *Scientific Reports*. 2023. Vol. 13: 6580. <https://doi.org/10.1038/s41598-023-33660-8>
- [22] Asase A., Peterson A.T. Predicted impacts of global climate change on the geographic distribution of an invaluable African medicinal plant resource, *Alstonia boonei* De Wild // *Journal of Applied Research on Medicinal and Aromatic Plants*. 2019. Vol. 14: 100206. <https://doi.org/10.1016/j.jarmap.2019.100206>
- [23] Oluoch W.A., Borgemeister C., de Deus Vidal Junior J., Fremout T., Gaisberger H., Whitney C., Schmitt C.B. Predicted changes in distribution and richness of wild edible plants under climate change scenarios in northwestern Kenya // *Regional Environmental Change*. 2024. Vol. 24, issue 1: 11. <https://doi.org/10.1007/s10113-023-02175-3>
- [24] Cahyaningsih R., Phillips J., Brehm J.M., Gaisberger H., Maxted N. Climate change impact on medicinal plants in Indonesia // *Global Ecology and Conservation*. 2021. Vol. 30: e01752. <https://doi.org/10.1016/j.gecco.2021.e01752>
- [25] Silva J.L.S., Cruz-Neto O., Tabarelli M., Albuquerque U.P., Lopes A.V. Climate change will likely threaten areas of suitable habitats for the most relevant medicinal plants native to the Caatinga dry forest // *Ethnobiology and Conservation*. 2022. Vol. 11: 15. <https://doi.org/10.15451/ec2022-06-11.15-1-24>
- [26] Maikhuri R.K., Phondani P.C., Dhyani D., Rawat L.S., Jha N.K., Kandari L.S. Assessment of Climate Change Impacts and its Implications on Medicinal Plants-Based Traditional Healthcare System in Central Himalaya, India. Iran // *Iranian Journal of Science and Technology. Transactions A: Science*. 2018. Vol. 42. P. 1827-1835. <https://doi.org/10.1007/s40995-017-0354-2>
- [27] Kirakosyan A., Seymour E., Kaufman P.B., Warber S., Bolling S., Chang S.C. Antioxidant capacity of polyphenolic extracts from leaves of *Crataegus laevigata* and *Crataegus monogyna* (hawthorn) subjected to drought and cold stress // *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 2003. Vol. 51, issue 14. P. 3973-3976. <https://doi.org/10.1021/jf030096r>
- [28] Zobayed S.M.A., Afreen F., Kozai T. Temperature stress can alter the photosynthetic efficiency and secondary metabolite concentrations in *St. John's wort* // *Plant Physiology and Biochemistry*. 2005. Vol. 43, issue 10-11. P. 977-984. <https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2005.07.013>
- [29] Sanchez A. C., Osborne P. E., Haq N. Climate change and the African baobab (*Adansonia digitata* L.): the need for better conservation strategies // *African Journal of Ecology*. 2011. Vol. 49, issue 2. P. 234-245. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2028.2011.01257.x>
- [30] Vincent H., Amri A., Castaneda-Alvarez N.P., Dempewolf H., Dulloo E., Guarino L., Hole D., Mba C., Toledo A., Maxted N. Modeling of crop wild relative species identifies areas globally for in situ conservation // *Communications Biology*. Vol. 2:136. <https://doi.org/10.1038/s42003-019-0372-z>
- [31] Gaisberger H., Legay S., Andre C., Loo J., Azimov R., Aaliev S., Bobokalonov F., Mukhsimov N., Kettle C., Vinceti B. Diversity under threat: connecting genetic diversity and threat mapping to set conservation priorities for *Juglans regia* L. populations in Central Asia // *Frontiers in Ecology and Evolution*. 2020. Vol. 8. <https://doi.org/10.3389/fevo.2020.00171>
- [32] Climate of Kazakhstan [Electronic resource]. URL: <https://www.kazhydromet.kz/ru/klimat/klimat-kazakhstan-1> (date of the application: 04.07.2024) (in. Russ.)
- [33] Republic of Kazakhstan [Electronic resource]. URL: https://www.akorda.kz/ru/republic_of_kazakhstan/kazakhstan# (date of the application: 04.07.2024) (in. Russ.)
- [34] Salnikov V., Podrezov A. A study to assess drought problems and drought monitoring models in Central Asia. Economic and Social Commission for Asia and the Pacific. Almaty: Center for Emergency Situations and Disaster Risk Reduction, 2020. 57 p. (in. Russ.).
- [35] Eriskovskaya L.A. Changes in climate continentality in recent years (using the example of the Tuuyksu Glacier) // *Hydrometeorology and ecology*. 2015. No. 1. P. 29-35 (in. Russ.).

В. Г. Сальников¹, С. Е. Полякова^{*2}

¹ География ғылымдарының докторы, профессор
(Әл-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университеті, Алматы, Қазақстан; vitali.salnikov@kaznu.kz)

^{2*} География ғылымдарының кандидаты, доцент
(Әл-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университеті, Алматы, Қазақстан; svetlana.polyakova@kaznu.kz)

ПОТЕНЦИАЛДЫ ДӘРІЛІК ӨСІМДІКТЕРДІҢ ӨСУ АЙМАҒЫНЫҢ ҚАЗІРГІ КЛИМАТТЫҚ ЕРЕКШЕЛІКТЕРІ

Аннотация. Потенциалды дәрілік өсімдіктердің өсу аймағының климаттық ерекшеліктері қарастырылады. 1991-2023 жылдар аралығында 33 метеорологиялық станцияның мәліметтері бойынша. Статистикалық талдау және ауқымды диаграммалар (boxplot) көмегімен деректерді визуализациялау жүргізілді. Дәрілік өсімдіктердің өсу аймақтарында ауа температурасы мен жауын-шашын мөлшерінің өзгеруінің маусымдық және жылдық тенденциялары анықталды. Жылдың барлық маусымдарында ауа температурасының жоғарылауы байқалады, тек Оңтүстік Қазақстан мен Іле-Алатау тау бөктеріндегі аймақтарда күзде температураның әлсіз төмендеуі байқалады. Жалпы, жыл ішінде температураның 0,29-0,62 °C/10 жылға кең таралуы байқалады, көктем мен жаз үшін маңызды трендтер байқалады. Жауын-шашынның айлық сомасының уақыт барысын талдау жауын-шашынның әр түрлі өзгерісі байқалатынын көрсетті, Орталық Қазақстан аумағы үшін күзді қоспағанда, барлық трендтер шамалы. Потенциалды дәрілік өсімдіктердің өсу аймақтарындағы негізгі метеорологиялық шамалардың маусымдық және жылдық өзгерістерін зерттеу өсімдіктердің өсу ерекшеліктерін түсіну үшін де, оларды өсіру, жинау және медициналық мақсатта пайдалану процестерін оңтайландыру үшін де маңызды аспект болып табылады. Ауа температурасы мен жауын-шашын сияқты метеорологиялық жағдайлар дәрілік өсімдіктердің биологиялық сипаттамаларын, олардың белсенді компоненттерін және емдік қасиеттерін қалыптастыруда шешуші рөл атқарады.

Түйін сөздер: климаттың өзгеруі, ауа температурасы, жауын-шашын, өсу аймақтары, дәрілік өсімдіктер.

V. G. Salnikov¹, S. Ye. Polyakova^{*2}

¹ Doctor of Geographical Sciences, Professor
(Al-Farabi Kazakh National University, Almaty, Kazakhstan; vitali.salnikov@kaznu.kz)

^{2*} Candidate of Geographical Sciences, Associate Professor
(Al-Farabi Kazakh National University, Almaty, Kazakhstan; svetlana.polyakova@kaznu.kz)

MODERN CLIMATIC FEATURES OF THE HABITATS OF POTENTIALLY MEDICINAL PLANTS

Abstract. The article considers climatic features of habitats of potentially medicinal plants according to the data from 33 meteorological stations for the period from 1991 to 2023. Statistical analysis and visualization of the data using boxplot diagrams were carried out. Seasonal and annual trends in air temperature and precipitation amounts in the habitats of medicinal plants were analyzed. In all areas, in all seasons of the year, there is an increase in air temperature. Only in the areas of Southern Kazakhstan and Piedmont zone of Ile-Alatau there is a slight decrease in temperature in autumn. In general, there is a widespread increase in temperature by 0.29-0.62 °C/10 years per year, with significant trends for spring and summer. The analysis of the time course of monthly precipitation sums showed that there is a diverse change in precipitation, all trends are insignificant, with the exception of autumn for the Central Kazakhstan area. The study of seasonal and annual variations in the main meteorological variables in the habitats of potentially medicinal plants is an important aspect both for understanding the peculiarities of plant growth and for optimizing the processes of their cultivation, collection and use for medicinal purposes. Meteorological conditions, such as air temperature and precipitation, are playing a key role in shaping the biological characteristics of medicinal plants, their active constituents and therapeutic properties.

Keywords: climate change, air temperature, precipitation, habitats, medicinal plants.

<https://doi.org/10.55764/2957-9856/2024-3-125-138.31>

УДК 551.583
МРНТИ 39.23.15

С. А. Долгих^{*1}, Е. Е. Белдеубаев², Г. Е. Турумова³

^{1*} Ведущий научный сотрудник, к. г. н.

(Центрально-Азиатский региональный гляциологический центр категории 2 под эгидой ЮНЕСКО, Алматы, Казахстан; Svetlana_Dolgikh@mail.ru)

² Ведущий научный сотрудник, докторант КазНУ им. аль-Фараби (Центрально-Азиатский региональный гляциологический центр категории 2 под эгидой ЮНЕСКО, Алматы, Казахстан; yerke_beldeubayev@mail.ru)

³ Ведущий инженер, магистр естественных наук (Центрально-Азиатский региональный гляциологический центр категории 2 под эгидой ЮНЕСКО, Алматы, Казахстан; turumova94@mail.ru)

ОЖИДАЕМЫЕ ИЗМЕНЕНИЯ В РЕЖИМЕ ТЕМПЕРАТУРЫ В БАССЕЙНЕ РЕКИ АМУДАРИЯ ПО ДАННЫМ МОДЕЛЕЙ СМIP6 К СЕРЕДИНЕ ТЕКУЩЕГО СТОЛЕТИЯ

Аннотация. Рассмотрены вероятные изменения в характеристиках режима температуры на территории бассейна р. Амудария к середине XXI века. Оценка изменений получена на основе результатов мульти-модельных ансамблей сопряженных моделей глобального климата, участвовавших в шестом этапе проекта взаимного сравнения сопряженных моделей (СМIP6) при двух комбинированных сценариях социально-экономического пути глобального развития и репрезентативных путей концентрации (SSP2-4.5 и SSP5-8.5). Результаты указывают, что на территории бассейна ожидается продолжение тенденции потепления во все сезоны года. К середине столетия вероятные изменения сезонных температур по всей территории укладываются в диапазон: 1,8-3,6 °C для зимних; 1,8-3,1 °C для весенних; 2,2-3,4 °C для летних и 2,1-3,4 °C для осенних температур. Средние годовые температуры могут повыситься на 2,1-3,2 °C. Ожидается увеличение значений абсолютного максимума и минимума суточной температуры воздуха, рост повторяемости экстремально высоких температур воздуха (выше 35 и 40 °C) и уменьшение повторяемости дней с температурами ниже 0 °C. Дано пространственное распределение изменений в характеристиках режима температуры по территории бассейна, которое демонстрирует схожие закономерности для двух сценариев с более сильными изменениями в соответствии со сценарием SSP5-8,5.

Ключевые слова: изменение климата, режим температуры, сценарии климата, модели глобального климата, СМIP6.

Введение. Река Амудария, одна из крупнейших в Центральной Азии, берет начало в горах Памира и Гиндукуша и впадает в Аральское море. Ее бассейн простирается на территории пяти государств: Кыргызстана, Таджикистана, Узбекистана, Туркменистана и частично Афганистана. Горные хребты Гиндукуш, Сарыкольский, Алайский, Туркестанский и Нуратау образуют естественные границы водосбора. Ниже горных районов речная долина расширяется, переходя в обширные равнины, покрытые песчаными пустынями Каракум и Кызылкум.

Изолированность от океанов обусловила формирование в бассейне континентального климата, характеризующегося жарким летом, холодной зимой и малым количеством осадков. Наиболее ярко это проявляется в дельте Зеравшана и низовьях Амударьи, где годовое количество осадков колеблется от 100 до 220 мм [1]. Климат региона в целом теплый и сухой. Среднегодовая температура колеблется от +14 до +17 °C, но в низовьях Амударьи она ниже – от +11 до +14 °C. Лето жаркое (до +32 °C), зима мягкая (от +1 до +2 °C), за исключением низовьев, где зимой возможны заморозки до минус 6 °C. Годовое количество осадков невелико, но в межгорных долинах достигает 450-700 мм при более теплом климате.

Изменение климата несет в себе как риски, так и возможности. Однако существующая экономика, адаптированная под прошлые климатические условия, делает негативные последствия более вероятными, особенно в засушливых регионах. Увеличение числа и интенсивности экстремальных погодных явлений, таких, как волны жары, и изменения в гидрологическом цикле являются основными угрозами. Для адаптации к новым условиям необходимо оценить будущие климатические изменения.

Глобальное потепление демонстрирует устойчивую тенденцию к росту, что подтверждается новыми данными. Согласно Всемирной метеорологической организации [2], глобальная средняя годовая температура в 2023 году была на $1,45 \pm 0,12$ °C выше значений доиндустриального периода 1850-1900 гг. Это был самый теплый год за всю историю наблюдений. Начиная с 1980-х годов наблюдается устойчивая тенденция к потеплению климата, причем каждое последующее десятилетие превышает по температуре все предыдущие с 1850 года. Средняя глобальная температура за последнее десятилетие 2014-2023 годы превысила на $1,20 \pm 0,12$ °C среднюю температуру за доиндустриальный период 1850-1900 гг.

В докладе ВМО, подготовленном Ведущим центром годового/десятилетнего прогнозирования климата, представлен синтез прогнозов на 2024-2028 годы [3]. Согласно докладу с высокой вероятностью в течение одного из следующих пяти лет среднегодовая глобальная температура временно превысит на $1,5$ °C доиндустриальный уровень. Также вероятно (86%), по крайней мере в один из этих лет, будет установлен новый температурный рекорд, который побьет 2023 год.

Наблюдаемые эффекты глобального потепления, когда изменение климата является основным фактором, также влияют на экстремальные тепловые явления, частота, величина, продолжительность и измеряемые температуры которых увеличиваются. При этом большинство регионов суши, безусловно, будут затронуты в будущем [4, 5]. При температуре 40 °C и влажности 25% скорость метаболизма человека увеличивается в среднем на 35 % по сравнению с исходным уровнем, но температура тела не повышается, то есть порог температуры в 40 °C является пределом температурной адаптации. Это верхняя граница так называемой термонейтральной зоны – диапазона температур, при которых организм человека тратит минимальное количество энергии в состоянии покоя [6]. Исследования показали, что максимальная температура, которую может выдержать человеческое тело, составляет 42,3 °C. Если человек подвергается воздействию тепла в течение некоторого времени, это может нанести непоправимый вред мозгу.

Многие характеристики изменения климата напрямую зависят от уровня глобального потепления. Темпы потепления климата не одинаковы по территории земного шара. Например, в Шестом оценочном докладе (ОД6) Межправительственной группы экспертов по изменению климата (МГЭИК) представлено, что потепление над сушей больше, чем в среднем по миру, а в Арктике оно более чем в два раза выше [5]. Континентальность климата в бассейне Амударии усиливает эффект глобального потепления, приводя к более высоким темпам нагрева. Например, в Таджикистане, где более 93 % территории страны занимают горные территории, более половины гор находятся на высоте 3000 м над ур. м. и выше. Данные за 1940-2020 гг. показывают, что средняя годовая температура здесь повышалась на $0,3-0,5$ °C каждое десятилетие, в альпийской зоне – на $0,2-0,4$ °C [7]. В весенний период скорость роста достигала $1,3$ °C/10 лет. На равнинной территории Таджикистана среднегодовая температура увеличивалась на $0,1-0,2$ °C за десятилетие с наибольшим ростом температуры на $0,5-0,8$ °C. В Узбекистане по данным практически всех метеорологических станций повышение средних годовых температур приземного воздуха статистически значимое и превысило естественную изменчивость [8]. За период с 1925 по 2013 год среднегодовая температура в северной, центральной и южной частях Узбекистана увеличилась на 1,69; 1,63 и 1,72 °C соответственно, что значительно превышает темпы глобального потепления. В Туркменистане средняя температура повышалась на $0,3$ °C за каждое десятилетие с 1950 по 2010 год [9]. Информация о современном изменении климата в Центральной Азии содержится также в Сводном ежегодном сообщении о состоянии и изменении климата на территориях государств-участников СНГ [10].

Несмотря на разные временные периоды оценки и разные наборы данных в Национальных сообщениях республик Центральной Азии об изменении климата, в работе [11] подведен итог, что все крупномасштабные исследования отмечают сильную тенденцию к потеплению в Центральной Азии, которая ускорилась в последние годы.

Согласно ОД [5], даже если будут предприниматься решительные меры по сокращению выбросов парниковых газов, вызванных человеческой деятельностью, глобальное потепление будет продолжаться в течение достаточно длительного времени из-за естественной инерционности климатической системы Земли. Таким образом, оценка не только наблюдаемых, но и вероятных изменений климата в будущем является актуальной задачей. Во многих работах, таких, как [12],

показана важность знания изменений в режиме температуры в бассейне р. Амудария вследствие разноплановых воздействий таких изменений.

Цель проведенного анализа – получить оценку вероятного изменения режима температуры в бассейне Амудария в предстоящие десятилетия в условиях, заложенных в сценариях мирового экономического развития.

Материалы и методы исследования. Территория бассейна (рисунок 1) принята в соответствии с базой данных HydroSHEDS (<https://www.hydrosheds.org>), которая предоставляет ученым, занимающимся гидрологическими и экологическими исследованиями, широкий спектр глобальных цифровых данных о реках, озерах и водосборах, позволяя проводить углубленные анализы в различных масштабах. Данные HydroSHEDS свободно доступны в стандартных форматах ГИС и образуют геопространственную структуру для широкого спектра оценок, включая гидрологические, экологические, природоохранные, социально-экономические и медицинские приложения.

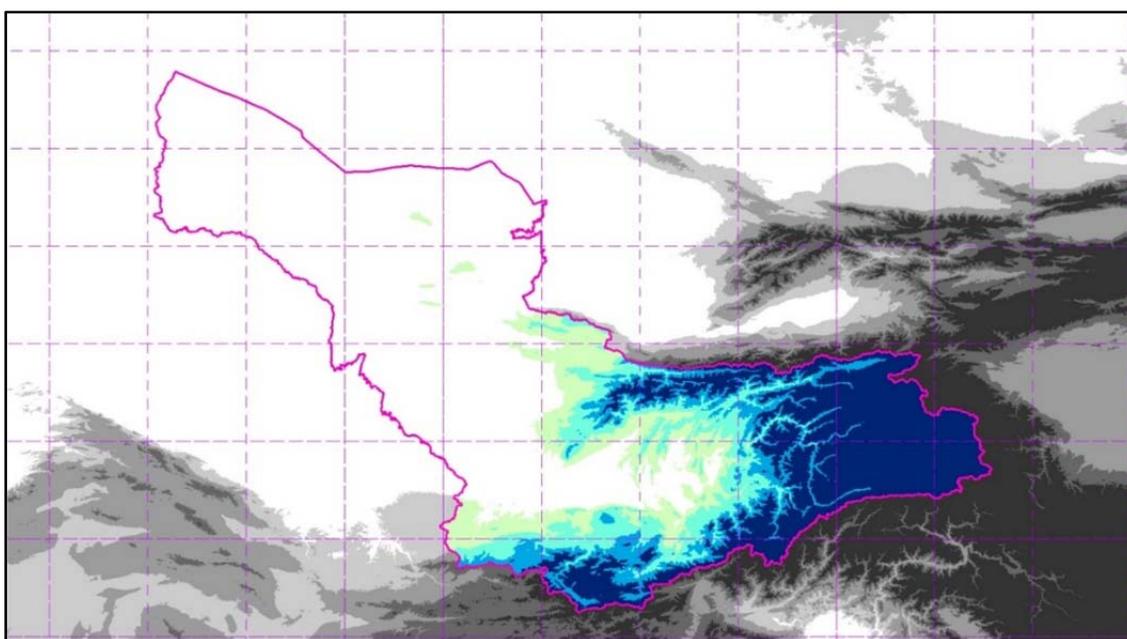


Рисунок 1 – Бассейн реки Амудария с высотными зонами 0-500; 500-1000; 1000-2000; 2000-3000 и более 3000 м

Figure 1 – Amudarya river basin with altitude zones 0-500; 500-1000; 1000-2000; 2000-3000 and more than 3000 m

Необходимость разработки сценариев изменения регионального климата возникла как следствие быстрого его глобального изменения. Для бассейна Амударии результаты таких исследований отражены в национальных сообщениях стран региона и других исследованиях. В Таджикистане и Узбекистане для оценки уязвимости и рисков использованы усреднённые мульти-модельные сценарии климата (на основе моделей глобального климата CMIP5) среднегодового изменения температуры и атмосферных осадков для разных будущих периодов при различных сценариях глобальных выбросов CO₂ (RCP2.6, RCP4.5, RCP8.5) [7, 8]. Для Афганистана были использованы результаты эксперимента Cordex с прогнозами региональной климатической модели при сценариях глобальных выбросов CO₂ RCP4.5 и RCP8.5 [13]. Для Туркменистана использованы результаты мультимодельного ансамбля моделей глобального климата CMIP3 при сценариях выбросов SRES-A1F1 и SRES-B1 [9]. В работе [1], опубликованной в 2018 г., для оценки влияния климатических изменений на водные ресурсы в сельском хозяйстве применялись региональные климатические модели REMO-0406 и REMO-0507 с разрешением широтно-долготной сетки 0,5°×0,16°. Моделирование проводилось с учетом сценария A1B, характеризующегося высокими темпами роста концентрации парниковых газов в течение XXI века и использованного в числе других сценариев в Четвертом докладе МГЭИК.

В рамках анализа задействованы результаты шестой фазы международного проекта сравнения климатических моделей (CMIP6). Использование обновленных версий климатических моделей позволило учесть последние достижения в области моделирования климата и получить более надежные оценки антропогенного воздействия [15]. Важной целью CMIP является обеспечение общедоступности модельных и мультимодельных выходных данных в стандартизированном формате. Проект CMIP был запущен в 1995 году под эгидой Рабочей группы по сопряженному моделированию Всемирной метеорологической организации (Working Group on Coupled Modelling, WGM). Эксперименты CMIP также включают интегрирование с оценками изменений исторических радиационных воздействий с определением будущих изменений. Сравнение между прогнозами будущей температуры CMIP3, CMIP5 и CMIP6 и наблюдениями, которые послужили основой для 4-го, 5-го и 6-го оценочных докладов МГЭИК, показывает, что глобальное потепление, прогнозируемое всеми CMIP, немного ниже наблюдаемого [16]. Наблюдаемое потепление ближе к верхнему уровню прогнозируемых – будущие климатические сценарии CMIP с более высокими выбросами парниковых газов, по-видимому, являются наиболее реалистичными.

Модели CMIP6 предоставляют более детальное и точное описание климатических процессов благодаря усовершенствованным физическим, химическим и биологическим модулям, а также повышенному пространственному разрешению. Это позволило более точно воспроизвести текущее состояние климата и его долгосрочные исторические изменения. Согласно мультимодельной оценке CMIP6 средняя глобальная температура у поверхности земли увеличивается в темпе, близком к наблюдаемому. Несмотря на то, что модели CMIP6 значительно улучшили понимание климатической системы, они все еще не полностью устранили некоторые различия между наблюдаемыми и смоделированными за тот же исторический период региональными режимами осадков, хотя повышение разрешения позволило более точно моделировать мелкомасштабные процессы, включая статистические характеристики суточных осадков.

Исследования глобального изменения климата опираются на многочисленные предположения и факторы, связанные с политикой и развитием общества. Всеобщие социально-экономические пути развития (Shared Socioeconomic Pathways, SSP) были разработаны совместными усилиями международной группы ученых-климатологов, экономистов и специалистов по моделированию энергетических систем для проведения комплексного междисциплинарного анализа. Их также называют «историями, которые произошли в будущем» [17]. Сценарии SSP представляют собой совокупность альтернативных траекторий социально-экономического развития, основанных на пяти различных нарративах [18]. Они позволяют оценить, как различные социально-экономические факторы могут повлиять на климатическую систему. Для каждого сценария SSP существует достаточная база модельных данных, обеспечивающая репрезентативность полученных результатов.

Среди пяти сценариев SSP наиболее тщательно изучаемыми являются SSP2-4.5 и SSP5-8.5. Эти сценарии представляют собой два варианта будущего развития, отличающихся уровнем выбросов парниковых газов и степенью потепления. Сценарий SSP5-8.5 предполагает подход, при котором выбросы CO₂ продолжают расти за пределами XXI века, приводя к значительному повышению глобальной температуры. В тоже время сценарий SSP2-4.5 отражает более умеренный рост температуры, связанный с тем, что на глобальном уровне будут предприняты систематические усилия для снижения выбросов парниковых газов, что позволит стабилизировать их концентрацию к 2100 году. SSP2-4.5 описывает сценарий, в котором глобальное развитие продолжает следовать текущей траектории, без резких сдвигов в сторону более устойчивого или менее устойчивого развития. Хотя сценарий SSP5-8.5 представляется как крайне пессимистичный, его анализ важен из-за неопределенности в поведении углеродного цикла. Существуют риски, что даже при умеренных выбросах (как в сценарии SSP2-4.5) из-за непредсказуемых реакций климатической системы концентрация парниковых газов может достичь уровней, характерных для самого экстремального сценария.

Для оценки будущих климатических изменений в бассейне Амударии использовалась онлайн-платформа МГЭИК [19] (<http://interactive-atlas.ipcc.ch/>). Благодаря интерактивному интерфейсу данной платформы результаты моделей климата, включая оценки некоторых индексов экстремальных явлений, стали более доступными для широкого круга специалистов, что облегчает их применение в различных областях, связанных с климатом.

Результаты и их обсуждение. Согласно результатам моделей CMIP6 ожидается, что в бассейне Амударии температура приземного воздуха будет продолжать повышаться во все сезоны года. В таблице 1 указаны средние, минимальные и максимальные значения изменений сезонных характеристик режима температуры воздуха, осредненных по территории трансграничного бассейна р. Амудария и по отдельным высотным зонам. Эти изменения представлены диапазоном значений, соответствующих смоделированной реакции регионального климата (в данной случае приземной температуры воздуха) на умеренный (SSP2-4.5) и жесткий (SSP5-8.5) сценарии глобального антропогенного радиационного воздействия.

Таблица 1 – Вероятное повышение средней сезонной температуры воздуха (°C): среднее (ср.), минимальное (мин.) и максимальное (макс.) значение по территории трансграничного бассейна Амудария и высотным зонам в соответствии со сценариями SSP2-4.5 и SSP5-8.5 к 2050 г. (2041-2060 гг.) относительно периода 1986-2005 гг.

Table 1 – Probable increase in the average seasonal air temperature (°C): average (av.), minimum (min.) and maximum (max.) values for the territory of the transboundary Amudarya basin and high-altitude zones in accordance with scenarios SSP2-4.5 and SSP5-8.5 by 2050 (2041-2060) relative to the period from 1986 to 2005

Высотная зона, м	Год			Зима			Весна			Лето			Осень		
	ср.	мин.	макс.	ср.	мин.	макс.	ср.	мин.	макс.	ср.	мин.	макс.	ср.	мин.	макс.
	Сценарий SSP2-4.5														
Весь бассейн	2,2	2,1	2,4	2,1	1,8	2,7	2,0	1,8	2,3	2,4	2,2	2,6	2,3	2,1	2,6
0-500	2,2	2,1	2,3	2,0	1,8	2,5	2,0	1,8	2,3	2,5	2,3	2,6	2,2	2,1	2,3
500-1000	2,2	2,1	2,3	2,1	1,8	2,5	1,9	1,8	2,1	2,4	2,3	2,5	2,3	2,2	2,3
1000-2000	2,2	2,1	2,3	2,2	1,9	2,5	1,9	1,8	2,1	2,4	2,3	2,5	2,3	2,2	2,4
2000-3000	2,3	2,1	2,4	2,3	1,9	2,7	2,0	1,8	2,2	2,4	2,2	2,5	2,3	2,2	2,5
Выше 3000	2,2	2,1	2,4	2,2	2,0	2,7	2,0	1,8	2,2	2,4	2,2	2,5	2,4	2,2	2,6
	Сценарий SSP5-8.5														
Весь бассейн	2,9	2,8	3,2	2,8	2,4	3,6	2,7	2,5	3,1	3,2	2,9	3,4	3,0	2,7	3,4
0-500	2,9	2,8	3,1	2,8	2,4	3,4	2,7	2,5	3,1	3,3	3,1	3,4	2,9	2,7	3,0
500-1000	2,9	2,8	3,1	2,8	2,5	3,3	2,6	2,5	2,8	3,2	3,1	3,3	2,9	2,8	3,1
1000-2000	2,9	2,8	3,1	3,0	2,5	3,3	2,7	2,5	2,9	3,2	3,0	3,3	3,0	2,8	3,2
2000-3000	3,0	2,9	3,2	3,1	2,6	3,6	2,7	2,5	3,0	3,1	3,0	3,3	3,0	2,9	3,3
Выше 3000	3,0	2,9	3,2	2,9	2,6	3,6	2,7	2,5	3,0	3,1	2,9	3,2	3,2	2,9	3,4

К середине столетия вероятные изменения сезонных температур по всей территории укладываются в диапазон: 1,8-3,6 °C для зимних; 1,8-3,1 °C для весенних; 2,2-3,4 °C для летних и 2,1-3,4 °C для осенних температур. Средние годовые температуры могут повыситься на 2,1-3,2 °C. Детальное распределение изменения температуры по территории бассейна в зависимости от сценариев SSP2-4.5 и SSP5-8.5 приведено на рисунке 2. Необходимо отметить, что по сценарию SSP5-8.5 можно ожидать более значительного потепления на 0,6-0,9 °C по сравнению с результатами по сценарию SSP2-4.5.

Отдельно выделим изменения в высотной зоне более 3000 м, где расположены ледниковые системы горных массивов бассейна. Здесь величина вероятного повышения средних сезонных температур составляет от 1,8-3,0 °C в весенний период до 2,0-3,6 °C в зимний период.

На рисунке 3 показано изменение средних месячных температур, осредненных по различным высотным зонам бассейна р. Амудария в соответствии со сценарием SSP5-8.5 к 2050 г. Темпы повышения температуры воздуха неоднородны по высотным зонам бассейна. В отдельные месяцы года выделяется несколько характерных черт: для всех высотных зон максимальный рост температуры воздуха ожидается с июля по сентябрь (более чем на 3,0 °C); минимальный – в апреле мае (на 2,4-2,6 °C). В теплый период увеличение температуры либо примерно одинаковый во всех высотных зонах (с апреля по июнь, сентябрь), либо с высотой темп потепления несколько уменьшается, как в самые жаркие месяцы – в юле и в августе. С октября по декабрь рост температуры усиливается с высотой и достигает максимума на высотах более 3000 м, с января по

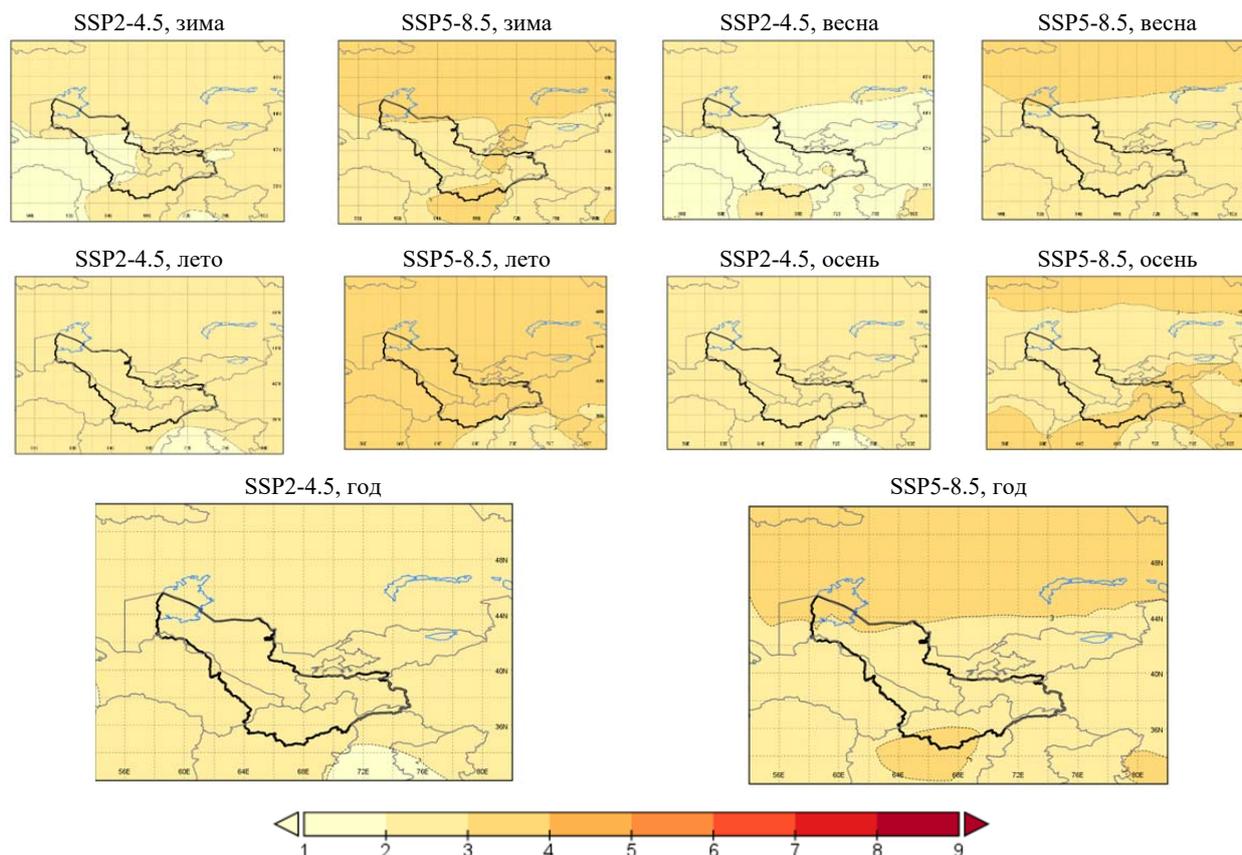


Рисунок 2 – Вероятное изменение средней сезонной и годовой температуры воздуха в бассейне р. Амудария при сценариях SSP2-4.5 и SSP5-8.5. Изменения рассчитаны к 2050 г. (2041-2060 гг.) относительно периода 1986-2005 гг.

Figure 2 – Probable change in the average seasonal and annual air temperature on the territory of the Amudarya River basin under scenarios SSP2-4.5 and SSP5-8.5. The changes are calculated by 2050 (2041-2060) relative to the period from 1986 to 2005

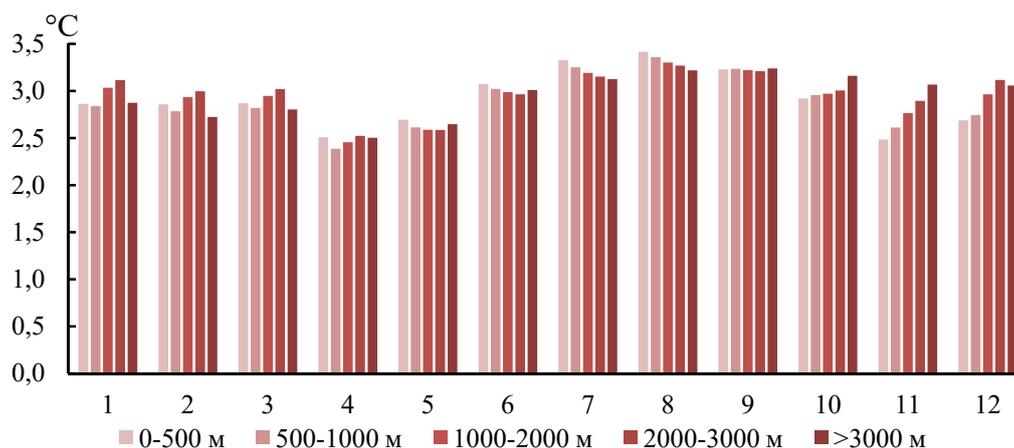


Рисунок 3 – Изменение средней месячной температуры воздуха (°C), осредненное по различным высотным зонам трансграничного бассейна р. Амудария в соответствии со сценарием SSP5-8.5 к 2050 г. (2041-2060 гг.) относительно периода 1986-2005 гг.

Figure 3 – The change in the average monthly air temperature (°C) averaged over various altitude zones of the Amudarya River transboundary basin in accordance with the scenario SSP5-8.5 by 2050 (2041-2060) relative to the period from 1986 to 2005

март величина повышения температуры на этих высотах минимальна по сравнению с нижележащими зонами.

Следует отметить, что ожидаемые изменения в сезонных температурах между различными высотными поясами, как правило, отличаются незначительно – на доли градуса. Внутри высотных зон отличия в темпах потепления могут быть более существенные и достигать или даже превышать 1 °С. Это в наибольшей степени характерно для равнинных территорий в зимний период, что объясняется их значительной протяженностью с севера на юг (см. рисунок 2).

Повышение средних уровней температуры ведет к изменениям в других характеристиках режима температуры. Так, вероятно увеличение значений абсолютного максимума суточной температуры воздуха (индекс ТХх, значения которого представляют собой выборку максимального значения из суточных максимумов температуры для каждого месяца), которое в соответствии со сценарием SSP2-4.5 составит более 2 °С практически во всех высотных зонах во все месяцы года и даже более 3,0 °С в феврале-марте и июле-августе. При более «жестком» сценарии SSP5-8.5 повышение абсолютных максимумов более значительное – на 0,3-1,1 °С и составляет 2,1-4,3 °С. В высотной зоне более 3000 м в отдельные месяцы рост абсолютного максимума может составить более 3-4 °С. Распределение по территории бассейна изменения годового абсолютного максимума суточной температуры воздуха приведено на рисунке 4.

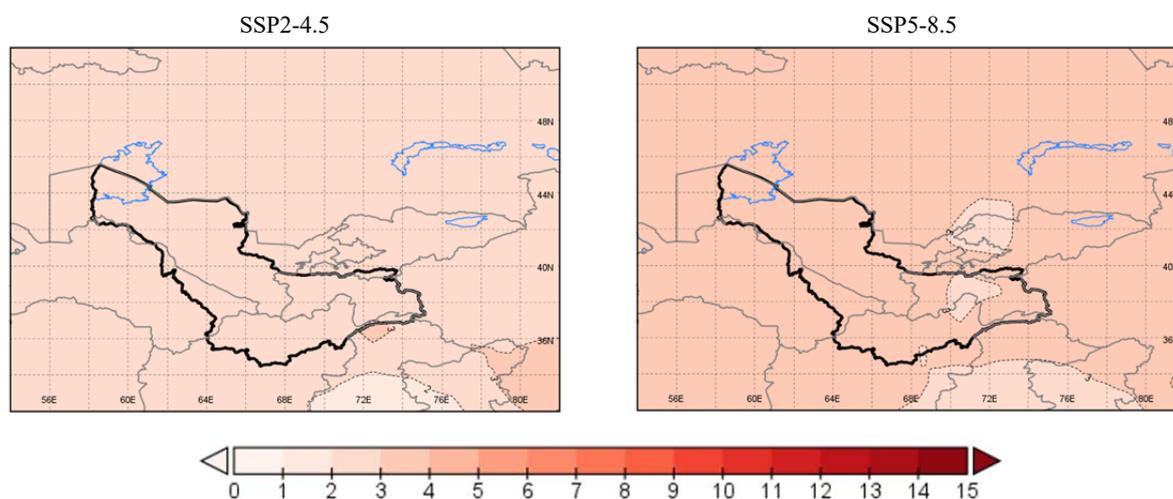


Рисунок 4 – Вероятное изменение в значениях годового абсолютного максимума температуры воздуха (индекс ТХх, °С) в бассейне р. Амударьи при сценариях SSP2-4.5 и SSP5-8.5.

Изменения рассчитаны к 2050 г. (2041-2060 гг.) относительно периода 1986-2005 гг.

Figure 4 – Probable change in the values of the annual absolute maximum air temperature (index TXx, °C) on the territory of the Amudarya River basin under scenarios SSP2-4.5 and SSP5-8.5.

The changes are calculated by 2050 (2041-2060) relative to the period from 1986 to 2005.

Вместе с увеличением значений абсолютного максимума суточной температуры воздуха ожидается и повышение абсолютных минимальных суточных температур (индекс ТNn, значения которого представляют собой выборку минимального значения из суточных минимумов температуры для каждого месяца). Это увеличение по территории бассейна находится в диапазоне 1,6-5,5 °С. Примечательно, что в январе-феврале и ноябре-декабре рост абсолютного минимума, как ожидается, превысит увеличение абсолютного максимума, особенно в декабре, что приведет к сокращению суточной амплитуды при общем росте температуры воздуха. В марте, мае и октябре картина обратная – суточная амплитуда увеличивается. При более «жестком» сценарии SSP5-8.5 в высотной зоне более 3000 м вероятные изменения абсолютного минимума суточной температуры могут составлять более 4 °С. Распределение по территории бассейна изменения годового абсолютного максимума суточной температуры воздуха приведено на рисунке 5.

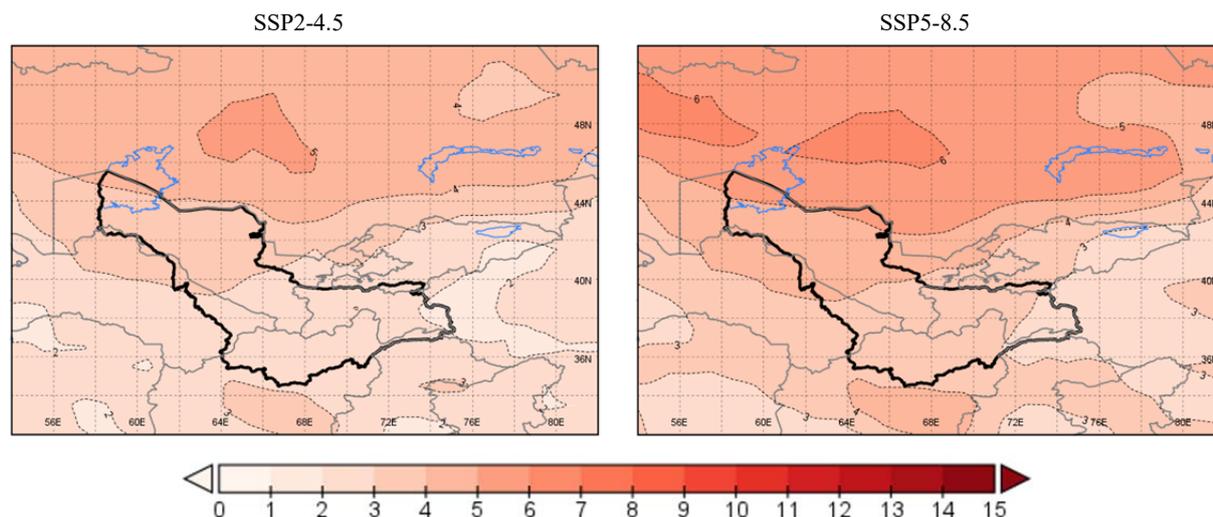


Рисунок 5– Вероятное изменение в значениях годового абсолютного минимума температуры воздуха (индекс TNn, °C) в бассейне р. Амудария при сценариях SSP2-4.5 и SSP5-8.5.

Изменения рассчитаны к 2050 г. (2041-2060 гг.) относительно периода 1986-2005 гг.

Figure 5– Probable change in the values of the annual absolute minimum air temperature (TNn index, °C) on the territory of the Amudarya River basin under scenarios SSP2-4.5 and SSP5-8.5.

The changes are calculated by 2050 (2041-2060) relative to the period from 1986 to 2005

Еще одной характерной чертой в ожидаемом изменении режима температуры воздуха является увеличение повторяемости дней с экстремально высокими температурами воздуха. Например, температуры выше 35 °C (индекс SU35, рисунок 6, таблица 2) к середине века могут случаться значительно чаще, особенно на равнинной территории, где таких дней будет больше максимально на 25-33 в зонах до 2000 м. Индекс SU40, отражающий количество дней с температурой выше 40 °C, показывает их значительное увеличение на 20-35 дней. В то же время для высокогорных районов (выше 2000 м) оценки изменений этого индекса, полученные с помощью мультимодельного ансамбля, характеризуются высокой неопределенностью из-за превышения порога внутренней изменчивости более чем в 66% моделей, что естественно для данной высотной зоны.

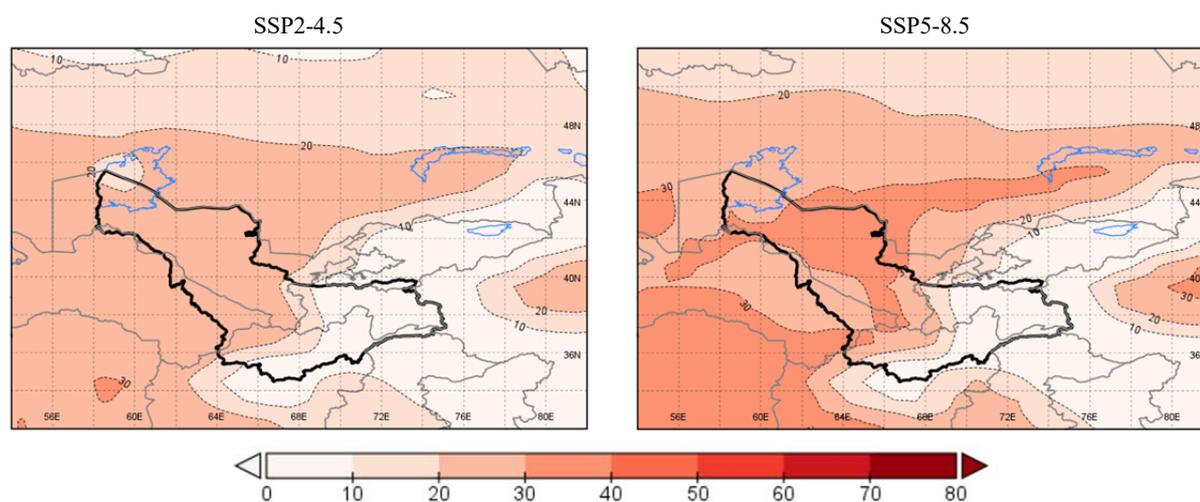


Рисунок 6 – Вероятное изменение количества дней с температурой выше 35 °C (индекс SU35, дни) в бассейне р. Амудария при сценариях SSP2-4.5 и SSP5-8.5. Изменения рассчитаны к 2050 г. (2041-2060 гг.) относительно периода 1986-2005 гг.

Figure 6 – Probable change in the number of days with temperatures above 35 °C (SU35 index, days) on the territory of the Amudarya River basin under scenarios SSP 2.4.5 and SSP 5.8.5.

Changes are calculated by 2050 (2041-2060) relative to the period from 1986 to 2005

Таблица 2 – Вероятное изменение годового количества суток, когда суточный максимум температуры воздуха > 35 °С (индекс SU35, сут) и > 40 °С (индекс SU40, сут): среднее (ср.) и максимальное (макс.) значение в трансграничном бассейне р. Амудария и его высотных зонах в соответствии со сценариями SSP2-4.5 и SSP5-8.5 к 2050 г. (2041-2060 гг.)

Table 2 – Probable change in the annual number of days when the daily maximum air temperature is > 35 °C (SU35 index, day) and > 40 °C (SU40 index, day): average (av.) and maximum (max.) values for the territory of the transboundary basin of the Amu Darya River and its altitude zones in accordance with scenarios SP2-4.5 and SSP5-8.5 by 2050 (2041-2060)

Высотная зона, м	Индекс			
	SU35		SU40	
	ср.	макс.	ср.	макс.
Сценарий SSP2-4.5				
0-500	23	25	19	28
500-1000	19	26	11	24
1000-2000	12	25	5	20
2000-3000	–	–	–	–
Выше 3000	–	–	–	–
Сценарий SSP5-8,5				
0-500	29	32	25	35
500-1000	25	33	16	31
1000-2000	16	32	8	26
2000-3000	–	–	–	–
Выше 3000	–	–	–	–

Важной характеристикой климата для состояния снежного покрова и ледниковых систем является повторяемость дней, когда температура воздуха опускается ниже 0 °С (индекс FD0). От этого, например, зависит в твердой или жидкой фазе будут выпадать атмосферные осадки. При ожидаемом повышении температуры повторяемость морозных дней будет сокращаться даже в зимний период (таблица 3). С увеличением высоты места это сокращение становится менее значительным: если на равнине оно составляет 9-18 дней, то в среднем по горной зоне выше 3000 м сокращение в зимний период всего на 3-4 дня, и оно неустойчивое. В весенний и осенний периоды, а также летом, наоборот, чем больше высота места, тем значительнее уменьшение повторяемости дней, когда температура воздуха опускается ниже 0 °С. В результате в целом за год на равнине морозных дней станет меньше в среднем на 23-29 дней, в высотной зоне выше 3000 м – в среднем на 25-34 дня (таблица 3, рисунок 7).

Климатические проекции связаны с определенной степенью неопределенности. Существуют три основных источника неопределенности в климатических прогнозах: естественная изменчивость климатической системы, неопределенность моделей климата и неопределенность сценариев. Естественная изменчивость относится к климатическим колебаниям, которые происходят без какого-либо влияния человека и могут быть непредсказуемыми (например, извержения вулканов, изменения солнечной активности и т.п.). Существует множество климатических моделей, и хотя все они были разработаны в соответствии с основными законами физики, отдельные климатические модели различаются по ряду аспектов, таких, как уровень упрощения, размер сетки модели и способ, которым они представляют физические явления, особенно те, которые слишком малы для явного моделирования (например, облака, взаимодействие атмосферы и поверхности, представление почвенного и растительного покрова). Таким образом, каждая модель уникальна и будет генерировать немного разные прогнозы. Чтобы устранить этот тип неопределенности, часто используются ансамбли климатических моделей как в данном исследовании. Эволюция выбросов парниковых газов также неопределенна, и в настоящее время невозможно точно установить, какими будут будущие выбросы. Следовательно, модели запускаются с различными траекториями выбросов, которые основаны на наборе предположений о движущих силах, таких, как технологические изменения, демографическое и социально-экономическое развитие, землепользование и их ключевые взаимодействия. Сценарии предоставляют альтернативные видения того, как может

разворачиваться будущее, и, следовательно, влияют на результаты климатических прогнозов. Важно понимать, что климатические проекции не являются точными прогнозами, а скорее представляют собой диапазон возможных изменений климата в ответ на заложенные в модели сценарии изменения концентрации парниковых газов в атмосфере.

Таблица 3 – Вероятное изменение годового/сезонного количества суток, когда суточный минимум температуры воздуха < 0 °С (индекс FD0, сут): среднее (ср.), минимальное (мин.) и максимальное (макс.) значение в трансграничном бассейне р. Амудария и его высотных зонах в соответствии со сценариями SSP2-4.5 и SSP5-8.5 к 2050 г. (2041-2060 гг.).

Table 3 – Probable change in the annual/seasonal number of days when the daily minimum air temperature is < 0 °C (index FD0, day): average (av.), minimum (min.) and maximum (max.) values for the territory of the transboundary basin of the Amudarya River and its altitude zones in accordance with scenarios SSP2-4.5 and SSP5-8.5 by 2050 (2041-2060)

Высотная зона, м	Год			Зима			Весна			Лето			Осень		
	ср.	мин.	макс.	ср.	мин.	макс.	ср.	мин.	макс.	ср.	мин.	макс.	ср.	мин.	макс.
Сценарий SSP2-4.5															
Весь бассейн	-23	-19	-29	-9	0	-14	-6	-3	-10	-2	0	-15	-7	-4	-13
0-500	-23	-19	-26	-12	-9	-14	-5	-3	-8	0	0	0	-5	-4	-8
500-1000	-22	-19	-29	-11	-6	-13	-5	-3	-9	0	0	0	-6	-4	-13
1000-2000	-24	-19	-29	-10	-3	-13	-6	-3	-10	-1	0	-5	-8	-4	-13
2000-3000	-25	-19	-29	-7	-1	-13	-7	-3	-10	-2	0	-9	-9	-4	-13
Выше 3000	-25	-21	-29	-3	0	-11	-7	-3	-10	-7	0	-15	-9	-5	-13
Сценарий SSP5-8.5															
Весь бассейн	-31	-25	-39	-13	0	-18	-7	-4	-13	-2	0	-18	-8	-5	-16
0-500	-29	-25	-35	-16	-13	-18	-7	-4	-10	0	0	0	-6	-5	-11
500-1000	-29	-25	-38	-16	-8	-18	-6	-4	-12	0	0	-4	-7	-5	-15
1000-2000	-32	-26	-38	-13	-4	-18	-8	-4	-13	-1	0	-8	-10	-5	-16
2000-3000	-35	-26	-39	-10	-1	-18	-10	-4	-13	-2	0	-12	-12	-5	-16
Выше 3000	-34	-27	-39	-4	0	-16	-9	-4	-13	-9	0	-18	-11	-6	-16

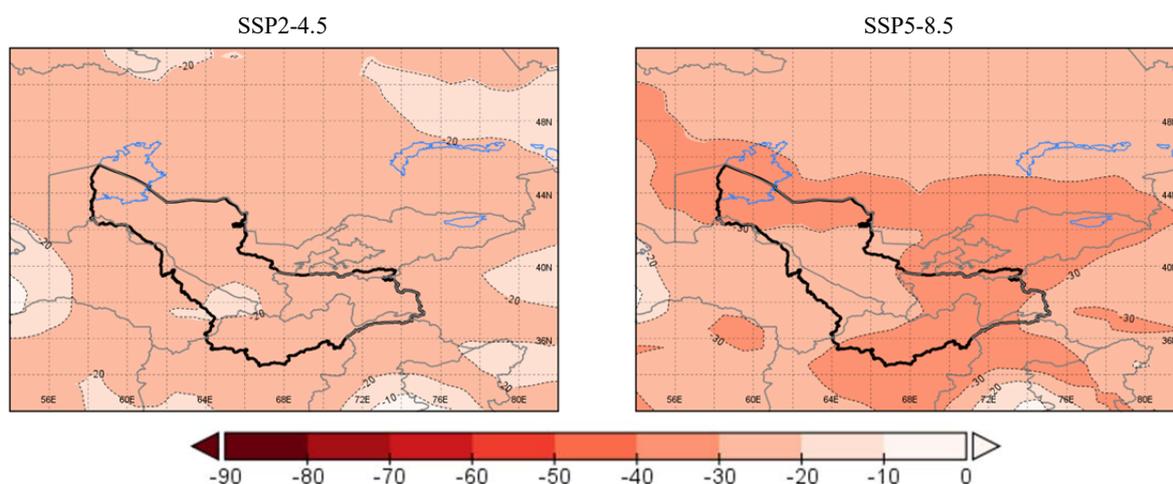


Рисунок 7 – Вероятное изменение в количестве дней с морозом, когда суточный минимум температуры опускается ниже 0 °С (индекс FD0, дни) в бассейне р. Амудария при сценариях SSP2-4.5 и SSP5-8.5. Изменения рассчитаны к 2050 г. (2041-2060 гг.) относительно периода 1986-2005 гг.

Figure 7 – Probable change in the number of days with frost when the daily minimum temperature drops below 0 °C (index FD0, days) in the territory of the Amudarya River basin under scenarios SSP2-4.5 and SSP5-8.5. Changes are calculated by 2050 (2041-2060) relative to the period 1986-2005.

Для снижения неопределенности результатов моделирования будущего климата при подготовке Интерактивного атласа использован именно мультимодельный подход. Также принимая во внимание, что модели глобального климата имеют некоторые погрешности при моделировании климата за исторический период, нами показаны не абсолютные значения исследованных характеристик режима температуры для периода 2041-2060 гг., а их изменения, характеризующие чувствительность моделей к воздействию сценариев концентрации выбросов на климатическую систему.

При подготовке Атласа МГЭИК для каждой ячейки широтно-долготной сетки определена степень согласованности результатов моделей и указаны ячейки, где отсутствуют устойчивые изменения (менее 66 % моделей показывают изменение, превышающее порог внутренней изменчивости). Выявлены следующие регионы с неустойчивым изменением отдельных характеристик режима температуры:

– изменение в абсолютных минимумах температуры (индекс TNn) на равнинной территории бассейна при сценарии 4.5;

– изменение в количестве дней с температурой выше 35 и 40 °C (индексы SU35 и SU40) в высокогорных районах при сценариях SSP2-4.5 и SSP5-8.5;

– изменение в количестве дней, когда суточный минимум температуры опускается ниже 0 °C (индекс FD0, дни) при сценариях SSP2-4.5 и SSP5-8.5 в зимний период в высокогорье и в летний период в низкогорной зоне бассейна.

Заключение и выводы. Смоделированная региональная реакция температурного режима на сценарии антропогенного воздействия указывает на повышение температуры в бассейне р. Амудария во все сезоны года.

Согласно результатам моделей CMIP6 ожидается, что в бассейне р. Амудария температура приземного воздуха будет продолжать повышаться во все сезоны года. К середине столетия вероятные изменения сезонных температур по всей территории укладываются в диапазон: 1,8-3,6 °C для зимних; 1,8-3,1 °C для весенних; 2,2-3,4 °C для летних; и 2,1-3,4 °C для осенних температур. Средние годовые температуры могут повыситься на 2,1-3,2 °C. Увеличение средних месячных температур сопровождается уменьшением повторяемости отрицательных температур и ростом максимальных и минимальных суточных температур, а также увеличением повторяемости экстремально высоких температур (более 35 и 40 °C) на равнинной территории и в предгорной и горной местности (до высот 2000 м).

Последствия подобного изменения режима температуры в будущем могут иметь как негативные, так и позитивные последствия. Для сельского хозяйства потенциальные последствия от повышения температуры могут включать снижение производства животноводческой продукции, уменьшение доступности воды из-за увеличения испарения и снижения влажности почвы, роста повторяемости и интенсивности волн тепла зимой и жары летом, вероятно учащение засух и пыльных бурь.

Повышение температуры воздуха в горных районах ведет к удлинению периода с положительными температурами и соответственно к увеличению суммы положительных температур, к расширению зоны и сокращению сезона осадков в твердом виде, что важно для состояния ледниковых систем в верховьях бассейна, к активному таянию снега в более ранние сроки, к повышению риска прорыва ледниковых озер и селей гляциального происхождения.

Кроме того, горы являются средой обитания для многих редких и находящихся под угрозой исчезновения видов в мире, а наличие множества различных экосистем в непосредственной близости повышает экологическую чувствительность гор к изменению окружающей среды.

Быстрые изменения в высокогорном климате будут иметь последствия, выходящие далеко за пределы непосредственно горных регионов, поскольку горы являются «водонапорными башнями» и основным источником воды для большого количества населения в регионах с более низкой высотой. Социальные и экономические последствия потепления в горных регионах могут быть значительными, поэтому необходимо уделять пристальное внимание этому вопросу.

Финансирование. Исследование выполнено при финансовой поддержке Комитета науки Министерства науки и высшего образования Республики Казахстана по теме «Ледниковые сис-

темы трансграничных бассейнов Центральной Азии: состояние, современные и прогнозные изменения, роль в обеспечении водной безопасности стран региона». Программно-целевое финансирование № BR 18574176.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Будущее бассейна Амударьи в условиях изменения климата / Под общ. ред. проф. В. А. Духовного. – Ташкент: НИЦ МКВК Центральной Азии, 2018. – 328 с.
- [2] State of the Global Climate 2023. – WMO-№ 1347. – Geneva, 2024. – 53 p.
- [3] WMO Global Annual to Decadal Climate Update. Target years: 2024 and 2024-2028 // P.27 download WMO Global Annual to Decadal Climate Update
- [4] Perkins S, LV A JR. Increasing frequency, intensity and duration of observed global heatwaves and warm spells // *Geophys Res Lett.* 2012; 39: L20714.
- [5] The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Masson-Delmotte, V., P. Zhai, A. Pirani, S.L. Connors, C. Péan, S. Berger, N. Caud, Y. Chen, L. Goldfarb, M.I. Gomis, M. Huang, K. Leitzell, E. Lonnoy, J.B.R. Matthews, T.K. Maycock, T. Waterfield, O. Yelekçi, R. Yu, B. Zhou (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 2391 pp. doi:10.1017/9781009157896.
- [6] Klingelhöfer D., Braun M., Brüggmann D. et al. Heatwaves: does global research reflect the growing threat in the light of climate change? *Global Health* 19, 56 (2023). <https://doi.org/10.1186/s12992-023-00955-4>
- [7] Четвертое национальное сообщение Республики Таджикистан по Рамочной конвенции ООН об изменении климата. – Душанбе, 2022. – 260 с.
- [8] Третье национальное сообщение Республики Узбекистан по Рамочной конвенции ООН об изменении климата. – Ташкент, 2016. – 220 с.
- [9] Third National Communication of Turkmenistan under the United Nations Framework Convention on Climate Change. – Ashgabat, 2015. – 160 p.
- [10] Сводное ежегодное сообщение о состоянии и изменении климата на территориях государств-участников СНГ за 2023 год [Электрон. ресурс]. – 2024. – URL: <https://seack.meteoinfo.ru/media/images-seack/seack/monitoring/cis-climate-2023.pdf> (дата обращения: 12.04.2024).
- [11] Isabell Haag, Philip D. Jones and Cyrus Samimi. Central Asia's Changing Climate: How Temperature and Precipitation Have Changed across Time, Space, and Altitude // *Climate*. – 2019, 7(10), 123; <https://doi.org/10.3390/cli7100123>
- [12] Доклад «Окружающая среда и безопасность в бассейне Амударьи»/ЮНЕП, ГРИД-Арендаль, Zoi Environment Network. – 2011. – 112 с.
- [13] Afghanistan's Second National Communication under the United Nations Framework Convention on Climate Change. – Kabul, 2017. – 98 p.
- [14] Climate Change 2021: Annex II: Models [Gutiérrez, J.M., A.-M. Tréguier (eds.)]. In *Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [Masson-Delmotte, V., P. Zhai, A. Pirani, S.L. Connors, C. Péan, S. Berger, N. Caud, Y. Chen, L. Goldfarb, M.I. Gomis, M. Huang, K. Leitzell, E. Lonnoy, J.B.R. Matthews, T.K. Maycock, T. Waterfield, O. Yelekçi, R. Yu, and B. Zhou (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA. – P. 2087-2138. doi:10.1017/9781009157896.016.
- [15] Veronika Eyring, Sandrine Bony, Gerald A. Meehl, Catherine A. Senior, Bjorn Stevens, Ronald J. Stouffer, Karl E. Taylor. Overview of the Coupled Model Intercomparison Project Phase 6 (CMIP6) experimental design and organization // *Geosci. Model Dev.* – 2016. – No. 9. – P. 1937-1958. doi:10.5194/gmd-9-1937-2016.
- [16] Carvalho, D., Rafael, S., Monteiro, A. V. Rodrigues, M. Lopes, A. Rocha. How well have CMIP3, CMIP5 and CMIP6 future climate projections portrayed the recently observed warming // *Sci Rep.* – 2022. – No. 12. – 11983 p. doi: 10.1038/s41598-022-16264-6.
- [17] IPCC, 2021: Annex VII: Glossary [Matthews, J.B.R., V. Möller, R. van Diemen, J.S. Fuglestedt, V. Masson-Delmotte, C. Méndez, S. Semenov, A. Reisinger (eds.)]. In *Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [Masson-Delmotte, V., P. Zhai, A. Pirani, S.L. Connors, C. Péan, S. Berger, N. Caud, Y. Chen, L. Goldfarb, M.I. Gomis, M. Huang, K. Leitzell, E. Lonnoy, J.B.R. Matthews, T.K. Maycock, T. Waterfield, O. Yelekçi, R. Yu, and B. Zhou (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA. – P. 2215-2256. doi:10.1017/9781009157896.022.
- [18] Riahi, K., van Vuuren, D.P., Kriegler, E., Edmonds, J., O'Neill, B., Fujimori, S., Bauer, N., Calvin, K. The shared socioeconomic pathways and their energy, land use, and greenhouse gas emissions implications: An overview // *Global Environmental Change.* – 2017. – No. 42. – P. 153-168.
- [19] Gutiérrez J.M., R.G. Jones, G.T. Narisma, L.M. Alves, M. Amjad, I.V. Gorodetskaya, M. Grose, N.A.B. Klutse, S. Krakovska, J. Li, D. Martínez-Castro, L.O. Mearns, S.H. Mernild, T. Ngo-Duc, B. van den Hurk, and J.-H. Yoon, 2021: Atlas. In *Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [Masson-Delmotte, V., P. Zhai, A. Pirani, S.L. Connors, C. Péan, S. Berger, N. Caud, Y. Chen, L. Goldfarb, M.I. Gomis, M. Huang, K. Leitzell, E. Lonnoy, J.B.R. Matthews, T.K. Maycock, T. Waterfield, O. Yelekçi, R. Yu, and B. Zhou (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA. P. 1927-2058. doi:10.1017/9781009157896.021.

REFERENCES

- [1] The Future of the Amu Darya Basin in the Context of Climate Change [Text] / Edited by Prof. V. A. Dukhovny. Tashkent: Central Asian Scientific and Information Center of ICWC, 2018. 328 p. (in Russ.).
- [2] State of the Global Climate 2023. WMO-No. 1347. Geneva, 2024. 53 p.
- [3] WMO Global Annual to Decadal Climate Update. Target years: 2024 and 2024-2028 // P.27 download WMO Global Annual to Decadal Climate Update.
- [4] Perkins S, LV A JR. Increasing frequency, intensity and duration of observed global heatwaves and warm spells // *Geophys Res Lett.* 2012; 39: L20714.
- [5] The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Masson-Delmotte, V., P. Zhai, A. Pirani, S.L. Connors, C. Péan, S. Berger, N. Caud, Y. Chen, L. Goldfarb, M.I. Gomis, M. Huang, K. Leitzell, E. Lonnoy, J.B.R. Matthews, T.K. Maycock, T. Waterfield, O. Yelekçi, R. Yu, B. Zhou (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA. 2391 pp. doi:10.1017/9781009157896.
- [6] Klingelhöfer, D., Braun, M., Brüggmann, D. et al. Heatwaves: does global research reflect the growing threat in the light of climate change? // *Global Health* 19, 56 (2023). <https://doi.org/10.1186/s12992-023-00955-4>
- [7] The Fourth National Communication of the Republic of Tajikistan under the UN Framework Convention on Climate Change. Dushanbe, 2022. 260 p. (in Russ.).
- [8] The Third National Communication of the Republic of Uzbekistan under the UN Framework Convention on Climate Change. Tashkent, 2016. 220 p. (in Russ.).
- [9] Third National Communication of Turkmenistan under the United Nations Framework Convention on Climate Change. Ashgabat, 2015. 160 p.
- [10] Consolidated Annual Report on the State and Change of Climate in the Territories of the CIS Member States for 2023 [Electronic resource]. – 2024. – URL: <https://seakc.meteoinfo.ru/media/images-seakc/seakc/monitoring/cis-climate-2023.pdf> (accessed: 12.04.2024) (in Russ.).
- [11] Isabell Haag, Philip D. Jones and Cyrus Samimi. Central Asia's Changing Climate: How Temperature and Precipitation Have Changed across Time, Space, and Altitude // *Climate*. 2019, 7(10), 123; <https://doi.org/10.3390/cli7100123>
- [12] Report "Environment and Security in the Amu Darya Basin" / UNEP, GRID-Arendal, Zoi Environment Network. 2011. 112 p. (in Russ.).
- [13] Afghanistan's Second National Communication under the United Nations Framework Convention on Climate Change. Kabul, 2017. 98 p.
- [14] Climate Change 2021: Annex II: Models [Gutiérrez, J.M., A.-M. Tréguier (eds.)]. In *Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [Masson-Delmotte, V., P. Zhai, A. Pirani, S.L. Connors, C. Péan, S. Berger, N. Caud, Y. Chen, L. Goldfarb, M.I. Gomis, M. Huang, K. Leitzell, E. Lonnoy, J.B.R. Matthews, T.K. Maycock, T. Waterfield, O. Yelekçi, R. Yu, B. Zhou (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA. P. 2087-2138. doi:10.1017/9781009157896.016.
- [15] Veronika Eyring, Sandrine Bony, Gerald A. Meehl, Catherine A. Senior, Bjorn Stevens, Ronald J. Stouffer, and Karl E. Taylor. Overview of the Coupled Model Intercomparison Project Phase 6 (CMIP6) experimental design and organization // *Geosci. Model Dev.* 2016. No. 9. P. 1937-1958. doi:10.5194/gmd-9-1937-2016.
- [16] Carvalho, D., Rafael, S., Monteiro, A. V. Rodrigues, M. Lopes & A. Rocha. How well have CMIP3, CMIP5 and CMIP6 future climate projections portrayed the recently observed warming // *Sci Rep.* 2022. No. 12. 11983 p. doi: 10.1038/s41598-022-16264-6.
- [17] IPCC, 2021: Annex VII: Glossary [Matthews, J.B.R., V. Möller, R. van Diemen, J.S. Fuglestedt, V. Masson-Delmotte, C. Méndez, S. Semenov, A. Reisinger (eds.)]. In *Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [Masson-Delmotte, V., P. Zhai, A. Pirani, S.L. Connors, C. Péan, S. Berger, N. Caud, Y. Chen, L. Goldfarb, M.I. Gomis, M. Huang, K. Leitzell, E. Lonnoy, J.B.R. Matthews, T.K. Maycock, T. Waterfield, O. Yelekçi, R. Yu, and B. Zhou (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA. P. 2215-2256. doi:10.1017/9781009157896.022.
- [18] Riahi, K., van Vuuren, D.P., Kriegler, E., Edmonds, J., O'Neill, B., Fujimori, S., Bauer, N., Calvin, K. The shared socioeconomic pathways and their energy, land use, and greenhouse gas emissions implications: An overview // *Global Environmental Change.* 2017. No. 42. P. 153-168.
- [19] Gutiérrez, J.M., R.G. Jones, G.T. Narisma, L.M. Alves, M. Amjad, I.V. Gorodetskaya, M. Grose, N.A.B. Klutse, S. Krakovska, J. Li, D. Martínez-Castro, L.O. Mearns, S.H. Mernild, T. Ngo-Duc, B. van den Hurk, and J.-H. Yoon, 2021: Atlas. In *Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [Masson-Delmotte, V., P. Zhai, A. Pirani, S.L. Connors, C. Péan, S. Berger, N. Caud, Y. Chen, L. Goldfarb, M.I. Gomis, M. Huang, K. Leitzell, E. Lonnoy, J.B.R. Matthews, T.K. Maycock, T. Waterfield, O. Yelekçi, R. Yu, and B. Zhou (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, pp. 1927-2058. doi:10.1017/9781009157896.021.

С. А. Долгих*¹, Е. Е. Белдеубаев², Г. Е. Турумова³

¹* Жетекші ғылыми қызметкер, география ғылымдарының кандидаты
(ЮНЕСКО қамқорлығымен 2 санаттағы Орталық Азия өңірлік гляциологиялық орталығы,
Almaty, Kazakhstan; Svetlana_Dolgikh@mail.ru)

² Жетекші ғылыми қызметкер, әл-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университетінің докторанты
(ЮНЕСКО қамқорлығымен 2 санаттағы Орталық Азия өңірлік гляциологиялық орталығы,
Almaty, Kazakhstan; yerke_beldeubayev@mail.ru)

³ Жетекші инженер, жаратылыстану ғылымдарының магистрі (ЮНЕСКО қамқорлығымен
2 санаттағы Орталық Азия өңірлік гляциологиялық орталығы, Almaty, Kazakhstan; turumova94@mail.ru)

ОСЫ ҒАСЫРДЫҢ ОРТАСЫНА ҚАРАЙ СМІР6 МОДЕЛЬДЕРІ БОЙЫНША АМУДАРИЯ ӨЗЕНІ БАССЕЙНІНДЕГІ ТЕМПЕРАТУРА РЕЖИМІНІҢ КҮТІЛЕТІН ӨЗГЕРІСТЕРІ

Аннотация. Бұл зерттеу ХХІ ғасырдың ортасына қарай Амудария өзенінің бассейніндегі температура режимінің сипаттамаларындағы ықтимал өзгерістерді қарастырды. Өзгерістерді бағалау жаһандық дамудың әлеуметтік-экономикалық жолының және шоғырланудың өкілдік жолдарының (SSP2-4.5 және SSP5-8.5) екі біріктірілген сценарийінде біріктірілген модельдерді өзара салыстыру жобасының (CMIP6) алтыншы кезеңіне қатысқан жаһандық климаттың біріктірілген модельдерінің көп модельді ансамбльдерінің нәтижелері негізінде алынды. Нәтижелер бассейн аумағында жылдың барлық маусымдарында жылыну үрдісі жалғасады деп күтілуде. Ғасырдың ортасына қарай мезгілдік температураның ықтимал өзгеруі бүкіл аумаққа: қыс мезгіліне 1,8-3,6 °С; көктем мезгіліне 1,8-3,1 °С; жаз мезгіліне 2,2-3,4 °С; күз мезгіліне 2,1-3,4 °С. Жылдық орташа температура 2,1-3,2 °С-қа көтерілуі мүмкін. Тәуліктік ауа температурасының абсолютті максимумы мен минимумының мәндерінің артуы, ауаның өте жоғары температураларының қайталануының артуы (35 және 40 °С-тан жоғары) және 0 °С-тан төмен температурамен күндердің қайталануының төмендеуі күтіледі. SSP5-8,5 сценарийіне сәйкес күшті өзгерістері бар екі сценарий үшін ұқсас үлгілерді көрсететін бассейн аумағы бойынша температура режимінің сипаттамаларындағы өзгерістердің кеңістіктік таралуы берілген.

Түйін сөздер: климаттың өзгеруі, температура режимі, климаттық сценарийлер, климаттың жаһандық модельдері, CMIP6.

S. A. Dolgikh*¹, Ye. Ye. Beldeubayev², G. Ye. Turumova³

¹* PhD, Leading Researcher (Central Asian Regional Glaciological Center as a category 2 under the auspices of UNESCO, Almaty, Kazakhstan; Svetlana_Dolgikh@mail.ru)

² Leading Researcher, Doctoral Student of al-Farabi Kazakh National University
(Central Asian Regional Glaciological Center as a category 2 under the auspices of UNESCO,
Almaty, Kazakhstan; yerke_beldeubayev@mail.ru)

³ Leading Engineer, Master of Natural Sciences (Central Asian Regional Glaciological Center as a category 2 under the auspices of UNESCO, Almaty, Kazakhstan; turumova94@mail.ru)

EXPECTED CHANGES IN THE TEMPERATURE REGIME IN THE AMUDARYA RIVER BASIN ACCORDING TO CMIP6 MODELS BY THE MIDDLE OF THE CURRENT CENTURY

Abstract. This study considers probable changes in the characteristics of the temperature regime in the Amu Darya River basin by the middle of the 21st century. The assessment of changes is based on the results of multi-model ensembles of coupled global climate models participating in the sixth stage of the Coupled Model Intercomparison Project 6 (CMIP6) under two combined scenarios of the global socio-economic development pathway and representative concentration pathways (SSP2-4.5 and SSP5-8.5). The results indicate that the warming trend is expected to continue in all seasons of the year in the basin. By the middle of the century, probable changes in seasonal temperatures throughout the territory fit into the following range: 1.8-3.6 °C for winter; 1.8-3.1 °C for spring; 2.2-3.4 °C for summer; and 2.1-3.4 °C for autumn temperatures. Average annual temperatures may increase by 2.1-3.2 °C. An increase in the absolute maximum and minimum daily air temperatures, an increase in the frequency of extremely high air temperatures (above 35 and 40 °C) and a decrease in the frequency of days with temperatures below 0 °C are expected. The spatial distribution of changes in the characteristics of the temperature regime across the basin is given, which demonstrates similar patterns for two scenarios with stronger changes in accordance with the SSP5-8.5 scenario.

Keywords: climate change, temperature regime, climate scenarios, global climate models, CMIP6.

<https://doi.org/10.55764/2957-9856/2024-3-139-154.32>

МРНТИ 68.29.05

УДК 556.5

Г. Е. Монкаева

Докторант (Казахский национальный университет им. аль-Фараби, Алматы, Казахстан;
gulsara.monkayeva@mail.ru)

ВЛИЯНИЕ СОВРЕМЕННОГО ИЗМЕНЕНИЯ КЛИМАТА НА ИСПАРЕНИЕ С ВОДНОЙ ПОВЕРХНОСТИ В ИЛЕ-БАЛКАШСКОМ БАССЕЙНЕ

Аннотация. На примере Иле-Балкашского бассейна рассмотрены изменения испарения с водной поверхности за последние 40 лет, а также основных метеорологических элементов, которые влияют на испарение. Выполнена оценка изменений испарения с водной поверхности за 1996-2020 гг. по отношению к предшествующему периоду 1980-1995 гг. За последние 20 лет на многих равнинных станциях Иле-Балкашского бассейна отмечается незначительное увеличение испарения, и оно составляет примерно 1-10 %. А в горных районах и вблизи крупных акваторий, таких, как оз. Балкаш и оз. Улкен Алматы, наблюдается уменьшение испарения примерно на 2-9 %. Проведен анализ основных факторов, влияющих на изменение величин испарения с водной поверхности. Сделан вывод, что увеличение испарения с водной поверхности на равнинных станциях бассейна в основном связано с ростом температуры воздуха и некоторым повышением количества осадков, а сокращение испарения в горной местности и вблизи акватории вызвано падением средней скорости ветра и незначительным увеличением влажности воздуха. Исследование может помочь в поддержке принятия решений в отрасли сельского хозяйства и водных ресурсов, так как испарение с водной поверхности участвует во многих гидрологических, климатических и гидродинамических моделях. Полученные результаты могут быть использованы во многих научных расчетах.

Ключевые слова: изменения климата, испарение с водной поверхности, влияние метеорологических факторов, климатические индексы.

Введение. В результате изменения глобального климата происходят изменения в характеристиках регионального климата [1], поэтому изучение изменений в распределении водных ресурсов какого-либо региона или страны стало актуальной задачей. Для расчета водных ресурсов необходимо иметь не только данные поверхностного, подземного стока, но и величину испарения [2]. Испарение – процесс фазового перехода вещества из жидкого (или твердого) состояния в газообразное. Оно может происходить с разных видов поверхностей: океанов, морей и водоемов, с поверхности почвы (суши) и растений (транспирация), со снежного и ледового покровов и других поверхностей [3]. Таким образом, испарение участвует в процессе круговорота воды в природе. Вследствие климатических изменений и повышения глобальной температуры приземного воздуха [4] наблюдаются изменения и в скорости испарения [5], что может привести к определенным последствиям.

Испарение в Казахстане в основном определяется на станциях национальной гидрометеорологической службы Казгидромета с помощью испарительного прибора ГГИ-3000 с испарительной площадью 3000 см² и высотой 60 см [6]. Количество испарения с водной поверхности нужно для решения многих научных и практических вопросов, связанных с использованием водных ресурсов страны. Данные испарения применяются в различных гидрологических, гидродинамических и климатических моделях, поэтому изучение методов расчета испарения является одной из важных и нужных задач. В связи с осушением Аральского моря [7] и появившимися проблемами многие поднимают вопрос о том, что ожидает озеро Балкаш, поэтому исследование изменения испарения с водной поверхности в Иле-Балкашском бассейне в современных условиях очень актуально. Кроме того, исследуемый бассейн расположен в экономически важном регионе страны.

Цели и задачи исследования: изучение влияния основных климатических элементов на испарение с водной поверхности для выявления современных изменений в количестве испарения.

Объектом исследования является Иле-Балкашский бассейн (рисунок 1), который является экологически, экономически и стратегически значимой территорией для Казахстана. В бассейне располагается одно из самых крупных озер в стране – Балкаш, а также находятся семь основных рек (Иле, Каратал, Биен, Аксу, Лепси, Баскан, Сарканд), подпитывающие это озеро [8]. В регион исследования входят несколько областей Казахстана: Алматинская, Жетысуская, юго-восточная часть Карагандинской области и восточная часть Жамбылской области, а также г. Алматы, который является одним из культурных и финансово-экономических центров республики [9].

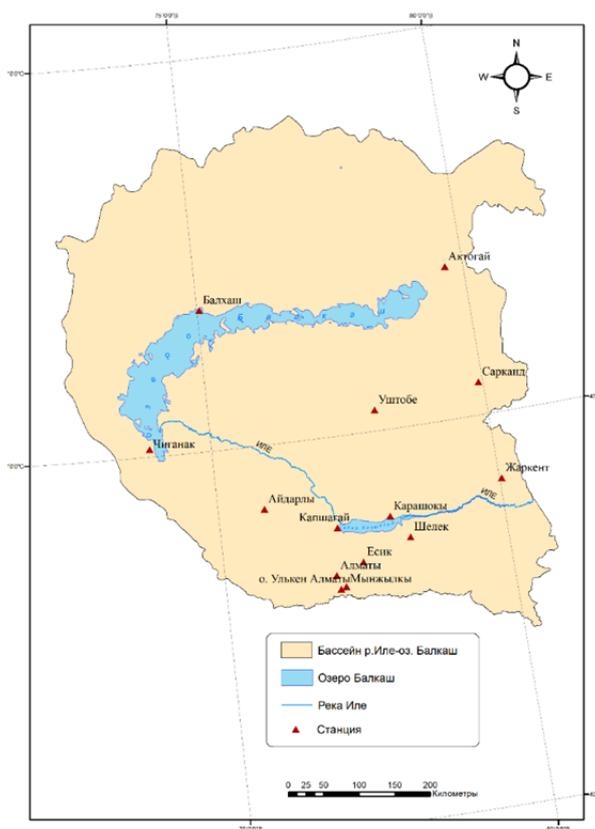


Рисунок 1 – Карта-схема Иле-Балкашского бассейна

Figure 1 – Map-scheme of the Ile-Balkash basin

Балкаш – второе по величине озеро после Каспийского моря на территории Казахстана [10]. Оно является на половину солоноватым и пресноводным, имеет флору и фауну, которые вследствие антропогенных и климатических воздействий за последние годы претерпевают изменения [11].

Иле-Балкашский бассейн является внутриконтинентальным, имеет значительные размеры, орографическая и климатическая неоднородность его обуславливает большое разнообразие природных условий [12].

Материалы и методы исследования. В Казахстане со времен Советского Союза располагались 53 станции по наблюдению за испарением с поверхности воды, режимные наблюдения которых охватывали период с 1960-х до 1996 годов и измеряли испарение в каждую декаду и месяц теплого периода, в холодное время наблюдения не велись. В работе применены данные наблюдений 12 метеорологических станций. В таблице 1 представлены основные сведения о метеорологических станциях (МС), оборудованных приборами ГГИ-3000. Многие наблюдения велись еще с 1961 года, но некоторые станции начали проводить наблюдения с 1970 г. В связи с тем, что в данных наблюдательной сети до 80-х годов были пропуски и неодинаковый период наблюдений, базовый период наблюдений был определен с 1980 по 1995 г., так как в эти годы данные наблюдений на многих станциях были наиболее полными, а последующий период оценки соответственно выбран с 1996 по 2020 г.

Таблица 1 – Основные сведения о метеорологических станциях с приборами ГГИ-3000 в Иле-Балкашском бассейне
Table 1 – Basic information on meteorological stations with GHI-3000 instruments in the Ile-Balkash basin

№ п/п	Станция	Долгота	Широта	Высота	Период наблюдений
1	Капшагай	77°03'	43°51'	496	1980-2010
2	Озеро Улькен Алматы	76°59'	43°04'	2516	1980-1995
3	Шелек	78°18'	43°36'	606	1986-1996
4	Мынжылкы	77°05'	43°05'	3017	1980-1993
5	Карашоқы	78°00'	43°54'	492	1981-1997
6	Жаркент	80°03'	44°10'	643	1980-1995
7	Айдарлы	75°49'	44°11'	498	1980-1996
8	Уштобе	78°00'	45°16'	421	1980-2017
9	Сарканд	79°56'	45°25'	764	1980-2017
10	Актогай (бас. р. Аягоз)	79°40'	46°56'	364	1980-1995
11	Балкаш	75°03'	46°48'	350	1980-2017
12	Чиганак	73°54'	45°06'	349	1980-1995

Испарение с водной поверхности можно оценить с использованием многих методов. В работе применялись инструментальный (с испарительных установок ГГИ-3000) и эмпирические методы. В связи со спецификой методики наблюдения за испарением с водной поверхности (нет наблюдений в холодный период) многие ученые проводили исследования только за безледоставный период, что имеет некую неопределенность. Для расчета среднего многолетнего значения испарения необходимы ряды и в холодный период, поэтому нами осуществлялось восстановление испарения за холодный период и отдельно за теплый [13].

Следует отметить, что в работе используются фактические данные с испарителя ГГИ-3000, которые установлены в грунте, следовательно, наблюдаемые значения будут считаться испаряемостью с общей площади всего Иле-Балкашского бассейна.

Восстановление проводилось при помощи уравнения множественной регрессии, которое составлено на основе данных ГГИ-3000 за все годы с наиболее коррелируемыми элементами с испарением с водной поверхности: x_1 – температура воздуха и x_2 – относительная влажность воздуха с использованием данных за весь период наблюдений по всем станциям. Но, помимо этого, в ходе изучения различных методик по определению испарения были проведены расчеты пропусков наблюдений за испарением в теплом периоде такими методами, как уравнения Н. Н. Иванова и обобщенная формула ГГИ (Б. Д. Зайкова) [6]. Выявлены средние погрешности методов расчета испарения в сравнении с уравнением множественной регрессии, согласно которым уравнение Н. Н. Иванова незначительно завышает данные ГГИ-3000, а результаты по обобщенной формуле ГГИ сопоставимы с данными испарительного бассейна 20 м².

В связи с тем, что условия орографии оказывают влияние на многие метеорологические элементы, а температура воздуха – это основной элемент, от которого зависит испарение с водной поверхности, следовательно, зная, что в горной местности распределение температуры по высотам иначе, чем на равнинной местности, уравнения множественной регрессии на равнинной территории могут быть не применимы. Экспозиция склонов и атмосферное давление, а также скорости ветра оказывают влияние на испарение, поэтому горные станции восстанавливались уравнением Литовченко А. Ф., Мазур Л. П. [14], а не уравнением регрессии:

$$E_{0 \text{ мес}} = \frac{a \cdot 1,07^t}{0,001 \cdot P}, \quad (1)$$

где a – параметр, зависящий от экспозиции склона (принята средняя величина 39,2); t – средняя месячная температура воздуха, °C; P – атмосферное давление, мб.

Испарение в холодном периоде рассчитывалось (с отрицательными средними многолетними месячными температурами воздуха) по методу П. П. Кузьмина [15], который выбран согласно указаниям определения испарения с площади речных водосборов и с поверхности суши:

$$E_a = 0,34 \cdot n \cdot d, \quad (2)$$

где E_a – количество испарения за месяц, мм; 0,34 – коэффициент; n – число дней в месяце; d – средние суточные значения дефицита влажности воздуха для конкретного месяца, мб.

Коэффициент 0,34 является некоторым средним, на самом деле он варьирует по площади территории. Эта формула позволяла рассчитывать средние месячные значения испарения по среднемесячным значениям основных метеозлементов, от которых зависело испарение [16]. Проверить погрешности восстановления по формуле П. П. Кузьмина в холодный период невозможно в связи с отсутствием фактических данных измерений в холодный период. Необходимо отметить, что количество испарения в холодный период года (ноябрь-март) незначительное (не более 10 %) от годовой суммы испарения. В таблице 2 представлены формулы восстановления, погрешности метода и восстановленные пропуски.

Таблица 2 – Методы и погрешности восстановления данных за теплый и холодный периоды

Table 2 – Methods and errors of data recovery for warm and cold periods.

№ п/п	Станция	Холодный период				Теплый период			
		Метод восстановления	Формула восстановления	Погрешность метода, %	Восстановленные годы, месяцы	Метод восстановления	Формула восстановления	Погрешность метода, %	Восстановленные годы, месяцы
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	Капшагай	П. П. Кузьмина	$E_a = 0,34 \cdot n \cdot d$	5 – 10	1980-2020 (I, II, III, XI, XII)	Уравнение множественной регрессии	$7,42 \cdot x_1 - 1,048 \cdot x_2 + 68,43$	10	1980 (IV), 1984-1985 (IV), 1992-1995 (IV), 1999-2020 (IV-X)
2	Оз. Улкен Алматы				1980-2020 (I, II, III, XI, XII)	Литовченко А.Ф., Мазур Л.П.	$E_{0 \text{ мес}} = \frac{a \cdot 1,07^t}{0,001 \cdot P}$	23	1980-1995 (IV, V), 1980-1989 (VI), 1992-1995 (VI), 1983 (VII-X), 1989 (X), 1991 (X), 1998-2020 (IV-X)
3	Шелек				1980-2020 (I, II, III, XI, XII)	Уравнение множественной регрессии	$8,38 \cdot x_1 - 0,87 \cdot x_2 + 71,60$	14	1980-1986 (IV-VI), 1980-1985 (VII-X), 1990-1991 (X), 1997-2020 (IV-X)
4	Мынжылы				1980-2020 (I, II, III, XI, XII)	Литовченко А.Ф., Мазур Л.П.	$E_{0 \text{ мес}} = \frac{35 \cdot 1,07^t}{0,001 \cdot P}$	14	1980-1995 (IV, V, X), 1980-1983 (VI), 1985 (VI), 1987-1989 (VI), 1992-1995 (VI), 1980 (VII), 1994-1995 (VII-X), 1980-1990 (IX), 1993 (IX), 1996-2020 (IV-X)
5	Карашоқы				1980-2020 (I, II, III, XI, XII)	Уравнение множественной регрессии	$7,47 \cdot x_1 - 1,79 \cdot x_2 + 149,68$	11	1980 (IV-X), 1984-1985 (IV), 1988-1991 (IV), 1989-1991 (IV-X), 1984 (X), 1992-1995 (X), 1998-2020 (IV-X)

Окончание таблицы 2									
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
6	Жаркент	П. П. Кузьмина	$E_a = 0,34 \cdot n \cdot d$	5 – 10	1980-2020 (I, II, III, XI, XII)	Уравнение множественной регрессии	$8,64 \cdot x_1 - 1,83 \cdot x_2 + 117,4$	11	1987 (IV), 1984 (IX, X), 1992-1993 (IV-IX), 1992 (X), 1994-1995 (X), 1994 (IX), 1997-2020 (IV- X)
7	Айдарлы				1980-2020 (I, II, III, XI, XII)		$9,30 \cdot x_1 - 2,12 \cdot x_2 + 132,2$	15	1988 (IV), 1993 (IV, X), 1997-2020 (IV- X)
8	Уштобе				1980-2020 (I, II, III, XI, XII)		$3,44 \cdot x_1 - 2,32 \cdot x_2 + 186,61$	12	1986-1988 (IV), 1986 (X), 1997-2007 (IV- X), 1998 (IV- V), 2018-2020 (IV- X)
9	Сарканд				1980-2020 (I, II, III, XI, XII)		$5,63 \cdot x_1 - 2,42 \cdot x_2 + 158,14$	16	1980-1982 (IV), 1984-1988 (IV), 1990(IV), 1993-1994 (IV), 1981 (V), 1984 (V), 1984 (IX), 1985 (X), 1990 (X), 1997-1999 (IV-X), 2004(IV- X), 2007 (IV- X), 2000-2003 (IV), 2005-2006(IV), 2008 (IV), 2010-2015 (IV), 2018-2020 (IV- X)
10	Актогай (бассейн р. Аягоз)				1980-2020 (I, II, III, XI, XII)		$6,88 \cdot x_1 - 0,66 \cdot x_2 + 48,75$	15	1980-1995 (IV), 1981 (V), 1985-1987 (X), 1990-1992 (IV-X), 1995 (IV-X), 1993-1994 (X), 1995-2006 (IV- X), 2018-2020 (IV- X), 2007-2017 (IV, X)
11	Балкаш				1980-2020 (I, II, III, XI, XII)		$8,12 \cdot x_1 - 2,69 \cdot x_2 + 218,39$	10	1980-1986 (IV), 1988 (IV), 1993 (IV, V), 1986 (X), 1992 (X)
12	Чиганак				1980-1995 (I, II, III, XI, XII)		Не восстанавливалась	Не восстанавливалась	Не восстанавливалась

* x_1 – температура воздуха; x_2 – относительная влажность воздуха.

На многих станциях, где велись наблюдения за испарением в Казахстане еще со времен Советского Союза, из-за финансовых трудностей Казгидромет был вынужден сократить свои наблюдательные пункты. Начиная с 1996 г. по настоящее время из 12 МС в Иле-Балкашском бассейне наблюдение за испарением осталось только на 4 станциях: Уштобе, Сарканд, Карашоки, Капшагай. В связи с этим по многим станциям данные с 1996 по 2020 г. в теплый период восстанавливались по выявленным уравнениям множественной регрессии (см. таблицу 2).

Согласно работе [17] о наблюдении с испарителей ГГИ-3000 выявлено, что данные этих испарителей завышены относительно реальных значений испарения в природе. В связи с этим проведены сравнения данных наблюдений по двум приборам, установленных на станции Капшагай (рисунок 2), согласно которым данные ГГИ-3000 завышены относительно данных с испаромера 20 м².

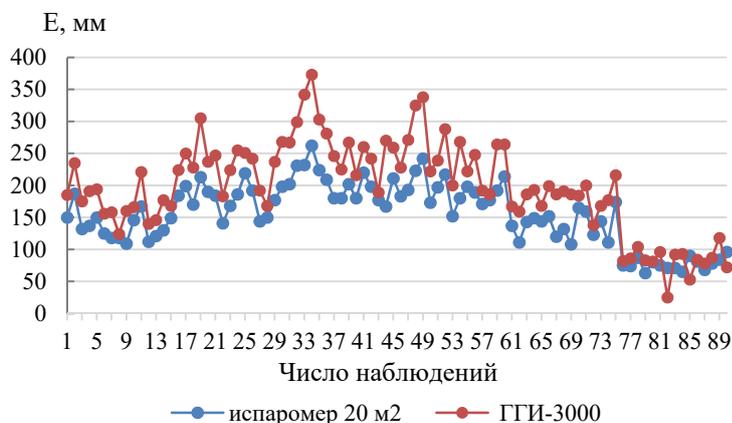


Рисунок 2 – Сравнение данных испарения с водной поверхности по прибору ГГИ-3000 с данными испарителя бассейна площадью 20 м²
 Figure 2 – Comparison of evaporation data from the water surface using the GGI-3000 instrument with data from the evaporator of a 20 m² swimming pool

Так как считается что близкими к реальным значениям испарения с водной поверхности являются данные с испарительного бассейна площадью 20 м², проведен пересчет данных с ГГИ-3000 к испаромеру с бассейна площадью 20 м².

В связи с тем, что на многих станциях не велись параллельные наблюдения с двух испарителей, прибегли к данным российских ученых [18]. Согласно им средняя величина отношения E₂₀/E составила для континентальных станций 0,75, а для береговых и островных – 0,82. К сожалению, современных отношений E₂₀/E на территории Казахстана не имеется. В связи с редкой сетью испарительных приборов и малым количеством параллельных наблюдений эта проблема актуальна для многих стран СНГ.

Нужно иметь в виду, что использованные пересчетные коэффициенты могут не соответствовать территории Казахстана, так как они рассчитываются с учетом широты и рельефа местности, а также изменчивости метеорологических параметров.

В таблице 3 представлены результаты средних многолетних значений испарения с водной поверхности за период 1980-1995 гг., приведенные к данным испарительного бассейна 20 м². На исследуемой территории поправка 0,82 не применялась, так как крупных акваторий кроме озера Балкаш не имеется.

Таблица 3 – Среднее многолетнее годовое количество испарения с водной поверхности, приведенное к испарительному бассейну 20 м² за период 1980-1995 гг.

Table 3 – Mean multiyear annual evapotranspiration from the water surface applied to a 20 m² evaporation basin for the period 1980-1995

№ п/п	Метеорологическая станция	Испарение по ГГИ-3000, мм	Коэффициент поправки	Испарение с испарительного бассейна площадью 20 м ² , мм
1	Капшагай			1119
2	Озеро Улкен Алматы	608	0,75	456
3	Шелек	1412	0,75	1059
4	Мынжылкы	529	0,75	397
5	Карашоқы	1517	0,75	1138
6	Жаркент	1395	0,75	1046
7	Айдарлы	1471	0,75	1103
8	Уштобе	967	0,75	725
9	Сарканд	943	0,75	707
10	Актогай (бас. р. Аягоз)	989	0,75	742
11	Балкаш	1558	0,72	1122
12	Чиганак	1542	0,71	1095

Для МС Балкаш и Чиганак применялись поправки 0,71 и 0,72 согласно работе [19].

В таблице 4 приведены коэффициенты корреляции, полученные по этим данным, между E и некоторыми метеорологическими элементами (E – испарение с водной поверхности, t – температура воздуха, f – относительная влажность воздуха, r – атмосферные осадки, v – скорость ветра, p – атмосферное давление).

Таблица 4 – Коэффициенты корреляции испарения с водной поверхности с метеорологическими элементами
Table 4 – Correlation coefficients of evaporation from water surface with meteorological elements

	t	f	r	v	p
E	0,8	0,6	0,5	0,4	0,8

Согласно корреляционным связям выявили связь испарения с другими метеорологическими элементами, и в регрессионном анализе применяли только два элемента: температуру и относительную влажность воздуха, у которых корреляционная связь выше 0,6. Атмосферное давление имеет высокий коэффициент корреляции, так как испарение взаимосвязано с давлением водяного пара в атмосфере. К сожалению, из-за недостаточности данных по давлению водяного пара в сравнении этот параметр не применялся.

Для выявления изменений в слое испарения изначально были рассмотрены климатические условия в Иле-Балкашском бассейне.

Известно, что испарение с водной поверхности зависит от многих метеорологических элементов. Но среди них особое место занимают температура и влажность воздуха. При прочих равных условиях испарение увеличивается при росте температуры воздуха и уменьшении влажности воздуха. В качестве примера на рисунке 3 представлена связь среднемесячных значений испарения с водной поверхности с температурой и влажностью воздуха за теплый период года на станции Жаркент.

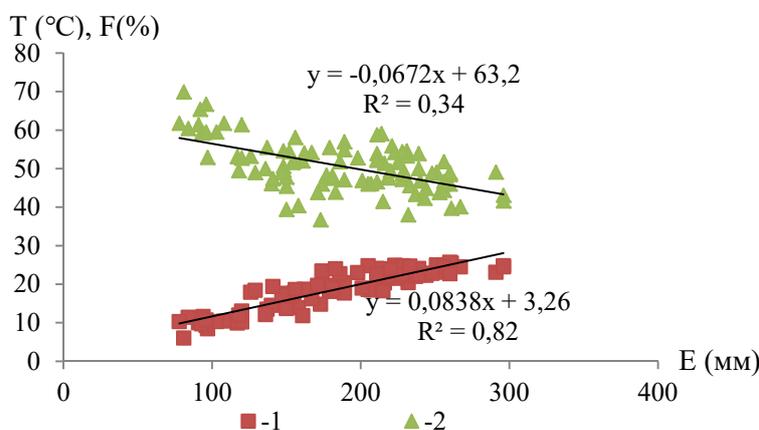


Рисунок 3 – Связь среднемесячных значений испарения с температурой (1) и влажностью (2) воздуха за теплый период года на МС Жаркент

Figure 3 – Correlation of monthly evaporation averages with air temperature (1) and humidity (2) for the warm period of the year at the MS Zharkent

Расчеты показали, что коэффициент детерминации среднемесячного испарения на МС Жаркент составляет 0,82, что показывает высокую долю (роль) температуры воздуха в испарении с водной поверхности. Доля влажности воздуха составляет 0,34. Итак, вначале рассмотрим связь испарения с температурой воздуха как ключевого фактора в процессе испарения. На рисунке 4 показана связь между среднегодовым значением испарения и средней температурой воздуха за теплый период года. Средняя температура за теплый период рассматривается не случайно, так как не менее 90 % испарения приходится на это время.

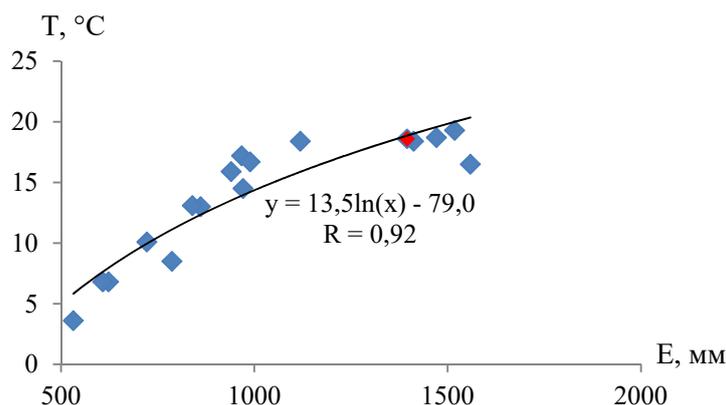


Рисунок 4 – Связь между испарением с водной поверхностью и температурой воздуха за теплый период года на МС Жаркент

Figure 4 – Relationship between evaporation from the water surface and air temperature for the warm period of the year at the Zharkent MS

Из рисунка 4 видно, что связь между испарением и температурой воздуха высокая, а коэффициент корреляции составляет 0,92. Кроме того, данные по испарению на МС Жаркент (на рисунке – красный ромб) вполне согласуются с термическими условиями местности и не противоречат полученным зависимостям по другим метеостанциям Казахстана, на которых проводились измерения испарения с помощью прибора ГГИ-3000.

Результаты и их обсуждение. Наиболее часто при объяснении изменения в климате используют характеристики линейного тренда и приводят изменения характеристик температуры воздуха с использованием коэффициентов линейного тренда и детерминации, которые дают важную информацию о долгосрочных изменениях температуры и степени их объяснимости. Коэффициент линейного тренда показывает скорость изменения температуры воздуха с течением времени. Это значение показывает, насколько средняя температура изменяется (повышается или понижается) за единицу времени (например, за год). Мера существенности тренда – коэффициент детерминации (D) характеризует вклад трендовой составляющей в полную дисперсию климатической переменной за рассматриваемый период времени (в процентах).

В таблице 5 представлены характеристики линейного тренда аномалии температуры приземного воздуха, осреднённые по Жетысу, Алматинской, Карагандинской, Жамбылской областям за 1976–2022 гг.

Таблица 5 – Характеристики линейного тренда аномалии температуры приземного воздуха, осреднённые по территории некоторых областей за период 1976–2022 гг. [20].

Table 5 – Characteristics of the linear trend of the surface air temperature anomaly averaged over the territory of some regions for the period 1976–2022 [20]

Регион / область	Год		Зима		Весна		Лето		Осень	
	а	D	а	D	а	D	а	D	а	D
Алматинская	0,32	36	0,27	4	0,66	37	0,24	24	0,14	3
Жетысу	0,27	24	0,19	2	0,64	32	0,21	20	0,09	1
Жамбылская	0,31	29	0,32	4	0,65	34	0,22	20	0,11	1
Карагандинская	0,21	11	0,12	1	0,70	29	0,01	0	0,05	0

Примечания: а – коэффициент линейного тренда, °C/10 лет; D – коэффициент детерминации, %; «жирным» шрифтом выделены статистически значимые тенденции на 5 % уровне.

Положительный коэффициент указывает на увеличение температуры с течением времени, а отрицательный – на ее понижение. Например, коэффициент 0,32 в Алматинской области означает, что температура увеличивается на 0,32°C/10 лет. Коэффициент детерминации, который вносит вклад трендовой составляющей в полную дисперсию в характеристиках температуры, показывает,

что весной и летом среди рассматриваемых областей наблюдаются статистически значимое увеличение. Среди всех этих областей в годовых и сезонных величинах изменение температуры интенсивнее в Алматинской области.

В таблице 6 представлены характеристики линейного тренда аномалии сезонных и годовых сумм осадков, которые предоставляют важную информацию о долгосрочных изменениях в количестве осадков в Иле-Балкашском бассейне.

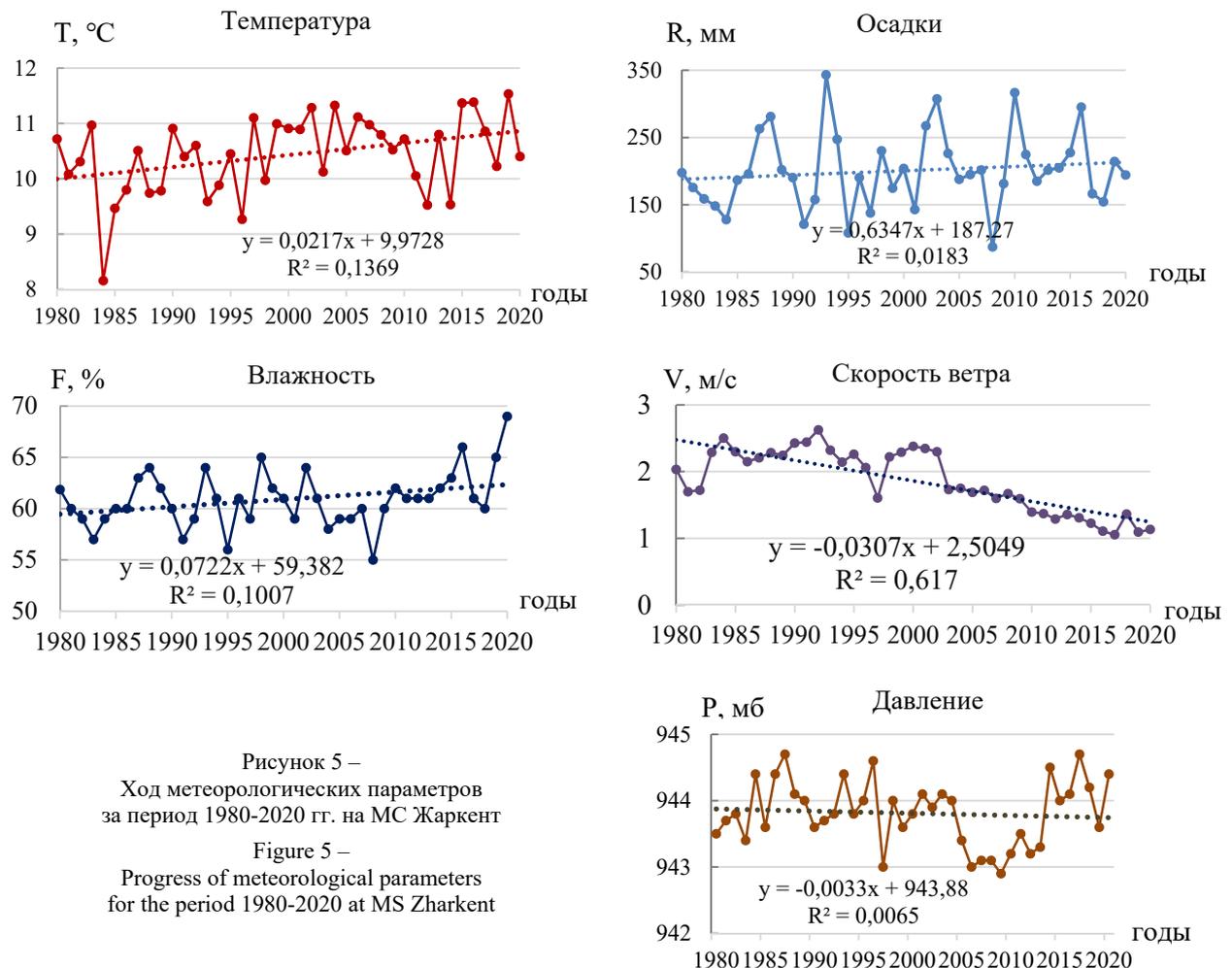
Таблица 6 – Характеристики линейного тренда аномалии сезонных и годовых сумм атмосферных осадков, осреднённых по территории некоторых областей за период 1976–2022 гг. [20]

Table 6 – Characteristics of the linear trend of the anomaly of seasonal and annual totals of atmospheric precipitation averaged over the territory of some regions for the period 1976–2022

Регион / область	Год		Зима		Весна		Лето		Осень	
	a	D	a	D	a	D	a	D	a	D
Алматинская	0,5	0	2,6	1	0,9	0	-0,5	0	0,5	0
Жетысу	1,2	1	4,8	3	3,1	2	-0,3	1	-1,9	1
Жамбылская	-1,4	1	-0,8	0	-0,6	0	1,8	2	-3,7	2
Карагандинская	0,1	0	0,1	0	-0,7	0	4,2	4	-4,5	4

Примечания: a – коэффициент линейного тренда, нормы/10 лет; D – коэффициент детерминации, %.

Коэффициент линейного тренда для годовых сумм осадков в области Жетысу составляет 1,2 нормы/10лет.



В Жетысуской области для сезонных аномалий осадков в зимний и весенний сезоны коэффициенты линейного тренда составляют 4,8 и 3,1 нормы /10 лет соответственно. В эти сезоны наблюдается большее изменение, чем в другие. В Карагандинской области изменения отмечаются летом (4,2 нормы /10 лет) и осенью (-4,5 нормы /10 лет), что подтверждает коэффициент детерминации, который колеблется от 0 до 4 % нормы/10 лет.

На рисунке 5 в качестве примера представлены тенденции хода основных метеорологических параметров на станции Жаркент.

Из рисунка 5 можно заметить, что на МС Жаркент наблюдается увеличение температуры воздуха, уменьшение скорости ветра, осадки и давление не имеют четкой тенденции в росте, влажность незначительно повышается в последние десятилетия.

По другим равнинным станциям прослеживается схожая ситуация, лишь в горной местности уменьшается скорость ветра и отмечается выпадение осадков. Подробнее современные изменения в Иле-Балкашском бассейне по метеопараметрам представлены в таблице 7.

Таблица 7 – Современные изменения в климатических параметрах Иле-Балкашского бассейна
Table 7 – Modern changes in climatic parameters of the Ile-Balkash basin

№ п/п	Станция	Температура, °С		Изменение, °С	Осадки, мм		Изменение, мм	Влажность, %		Изменение, %
		1961-1990	1991-2020		1961-1990	1991-2020		1961-1990	1991-2020	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1	Актогай	6	6,9	0,9	196	191	-5	54	56	2
2	Уштобе	7,4	8,3	1,0	267	287	21	62	62	-0,5
3	Балкаш	5,7	6,5	0,8	134	141	7	61	62	1,0
4	Сарканд	7,7	8,2	0,5	38	42	5	59	60	1,0
5	Айдарлы	9,5	10,4	0,9	229	245	16	56	58	2,0
6	Жаркент	9,6	10,6	1,0	183	203	20	60	61	0,6
7	Шелек	9,9	10,9	1,0	258	264	6	58	58	-0,2
8	Карашоқы	10,9	11,5	0,6	223	247	24	62	62	0,5
9	Капшагай	9,6	10,2	0,6	255	303	48	60	63	3
10	Оз. Улкен Алматы	1,4	2	0,6	650	665	15	58	60	2
11	Мынжылқы	-1,8	-1	0,8	873	870	-3	56	59	3

Окончание таблицы 7
And of table 7

№ п/п	Станция	Скорость ветра, м/с		Изменение, м/с	Атмосферное давление, гПа		Изменение, гПа
		1961-1990	1991-2020		1961-1990	1991-2020	
1	2	12	13	14	15	16	17
1	Актогай	2,2	2,2	0,0			
2	Уштобе	1,9	1,6	-0,3	968,6	968,3	-0,2
3	Балкаш	4,4	4,1	-0,3	978,3	978,2	-0,1
4	Сарканд	1,1	0,9	-0,2	930	930,4	0,4
5	Айдарлы	2,9	2,3	-0,6	960	960	0,0
6	Жаркент	2,2	1,5	-0,7	942,9	943,7	0,8
7	Шелек	2,4	1,3	-1,1	947,5	947,6	0,1
8	Карашоқы	4,9	4,4	-0,5	960,3	960,4	0,1
9	Капшагай	2,7	1,9	-0,8	960,3	960,7	0,4
10	Оз. Улкен Алматы	1,6	1,8	0,2	752,1	752,6	0,5
11	Мынжылқы	1,5	1,3	-0,2	706,4	706,9	0,5

Согласно таблице 7 наблюдаются повсеместное увеличение температуры на всех станциях бассейна, изменение во влажности и в давлении не отмечается, скорости ветра почти на всех станциях уменьшаются, осадки на многих равнинных станциях возросли, но их увеличение малозначительно. Лишь на станциях Актогай и Мынжылкы осадки имеют отрицательный знак, то есть наблюдается сокращение осадков на 5 и 3 мм соответственно.

В ходе работы рассчитаны некоторые отобранные климатические индексы, рекомендованные Глобальной рамочной основой климатического обслуживания (ГРОКО), которые могут влиять на испарение с водной поверхности и помочь в поддержке принятия решений в отрасли сельского хозяйства и водных ресурсов [20].

На рисунках 6-8 представлены карты-схемы пространственного распределения индексов: TXx (суточная максимальная температура воздуха), Rx1day (максимальная суточная сумма осадков), CDD (максимальная продолжительность бездождного периода).

На рисунке 6 показано пространственное распределение коэффициента линейного тренда суточной максимальной температуры воздуха ($^{\circ}\text{C}/10$ лет), рассчитанного за период 1961-2020 гг.

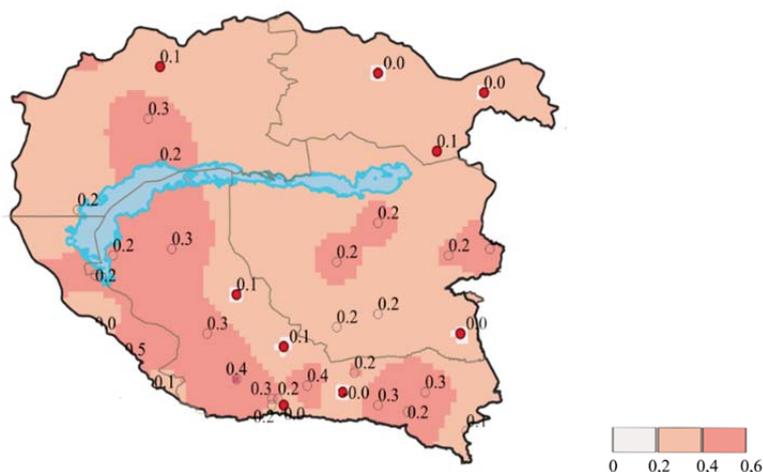


Рисунок 6 – Пространственное распределение коэффициента линейного тренда суточной максимальной температуры воздуха ($^{\circ}\text{C}/10$ лет), рассчитанного за период 1961–2020 гг. (индекс TXx)

Figure 6 – Spatial distribution of the linear trend coefficient of daily maximum air temperature ($^{\circ}\text{C}/10$ years) calculated for the period 1961–2020 (TXx index)

Суточная максимальная температура воздуха оказывает значительное влияние на различные секторы экономики, к примеру на сельское хозяйство, водные ресурсы, энергетику и т.д. Высокие дневные температуры могут повлиять на рост растений, их урожайность и качество. Экстремальные температуры могут вызвать тепловой стресс у растений, снизить урожай и повысить потребность в воде для орошения. Повышенные температуры увеличивают испарение с водных поверхностей, что снижает запасы воды в реках, озерах и водохранилищах. Это особенно критично для регионов с ограниченными водными ресурсами и повышает затраты на водоснабжение [21].

Темпы изменения максимальной суточной температурой воздуха в Иле-Балкашском бассейне колеблются от 0,2 до 0,6 $^{\circ}\text{C}/10$ лет. В целом в основном выше 0,4 $^{\circ}\text{C}/10$ лет наблюдаются на станциях Алматинской и Карагандинской областей.

Следующий важный климатический индекс, который был рассчитан, это максимальная суточная сумма осадков (см. рисунок 7, а) за период 1961-2020 гг. Количество осадков напрямую влияет на увлажнение почвы, необходимое для роста сельскохозяйственных культур. Недостаток осадков может вызвать засуху, а избыточные осадки могут привести к затоплению и эрозии почвы. Осадки пополняют водные ресурсы, необходимые для водоснабжения населенных пунктов, промышленности и сельского хозяйства.

Максимальные суточные количества осадков в году за последние 60 лет в Иле-Балкашском бассейне не имеют значительных изменений, лишь на некоторых станциях эти изменения значимы. Таким образом, скорость изменения Rx1day колеблется от -1,5 до 1,5 мм/10 лет, статистически значимое увеличение на станциях выделено красным цветом.

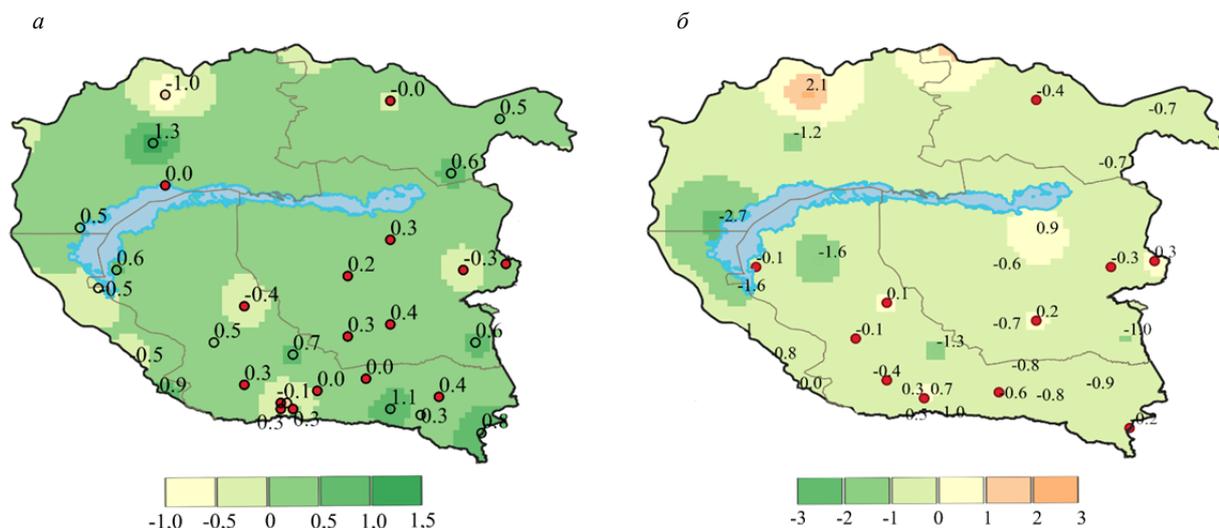


Рисунок 7 – Пространственное распределение коэффициента линейного тренда за период 1961-2020 гг.:

a – максимального суточного количества осадков (индекс Rx1day) в году; мм/10 лет;
b – максимальной продолжительности бездождного периода (индекс CDD); дни/10 лет

Figure 7 – Spatial distribution of the linear trend coefficient calculated for the period 1961-2020:

a – maximum values of daily precipitation per year (Rx1day index); mm/10 years;
b – maximum duration of the rain-free period (CDD index); days/10 years

Важным является индекс CDD (максимальная продолжительность бездождного периода, когда суточное количество осадков составляло менее 1 мм). На рисунке 7, *b* представлено пространственное распределение коэффициента линейного тренда максимальной продолжительности бездождного периода (дни/10 лет), рассчитанного за период 1961-2020 гг. Статистически значимое увеличение на 5%-м уровне на станциях выделено красным цветом.

Длительные сухие периоды могут привести к дефициту влаги в почве, что негативно сказывается на росте сельскохозяйственных культур, снижает урожайность и может привести к гибели растений. Продолжительные сухие периоды снижают уровни рек, озер и водохранилищ, что создает дефицит воды для питьевых нужд, сельского хозяйства и промышленности. Снижение уровня воды в водохранилищах и реках уменьшает возможности производства гидроэнергии. Продолжительные сухие периоды увеличивают риск лесных и степных пожаров, что наносит ущерб экосистемам и биоразнообразию. Водные ресурсы часто используются для охлаждения оборудования и чистки производственных линий. Дефицит воды может повысить издержки и снизить эффективность производства [21].

Согласно рисунку 7, *b* коэффициенты линейного тренда бездождного периода колеблются от -3 до 2 дней каждые 10 лет. В основном по всей исследуемой территории изменения не превышают 1-го дня. Лишь на станции Сарышаган наблюдается сокращение бездождного периода примерно на 3 дня и, наоборот, увеличение бездождного периода отмечается на станции Актогай Карагандинской области.

Для выявления современных изменений в количестве испарения с водной поверхности проведена оценка динамики испарения. На рисунке 8 представлены примеры по некоторым станциям за период 1980-2020 гг. В таблице 8 приведено сравнение средних многолетних значений испарения с водной поверхности за периоды 1996-2020 и 1980-1995 гг.

Согласно таблице 8 в слое испарения с водной поверхности в основном увеличиваются количество испарения на равнинных станциях Карашоқы, Айдарлы, Шелек, Капшагай, Сарканд, Актогай. В горной местности на станции Мынжылқы и вблизи акваторий, таких, как озера Балкаш и Улкен Алматы, наблюдаются незначительные уменьшения количества испарения с водной поверхности.

Среди 12 станций наблюдений за испарением МС Чиганак закрылась в 1996 г. В связи с этим данные наблюдений по этой станции по всем метеорологическим параметрам отсутствовали. Расчеты по этой станции были только до 1995 г., в связи с этим в таблицу 8 результаты этой станции не были включены.

Таблица 8 – Изменения в слое испарения с водной поверхности в Иле-Балкашском бассейне, мм
 Table 8 – Changes in evaporation layer from water surface in the Ile-Balkash basin, mm

№ п/п	Станция	1980-1995	1996-2020	Изменение, мм
1	Капшагай	1119	1161	42
2	Озеро Улкен Алматы	456	416	-40
3	Шелек	1059	1093	34
4	Мынжылкы	397	373	-24
5	Карашоки	1138	1183	45
6	Жаркент	1046	1060	26
7	Айдарлы	1103	1218	115
8	Уштобе	725	733	8
9	Сарканд	707	744	37
10	Актогай (бассейн р. Аягоз)	742	787	45
11	Балкаш	1122	1100	-22

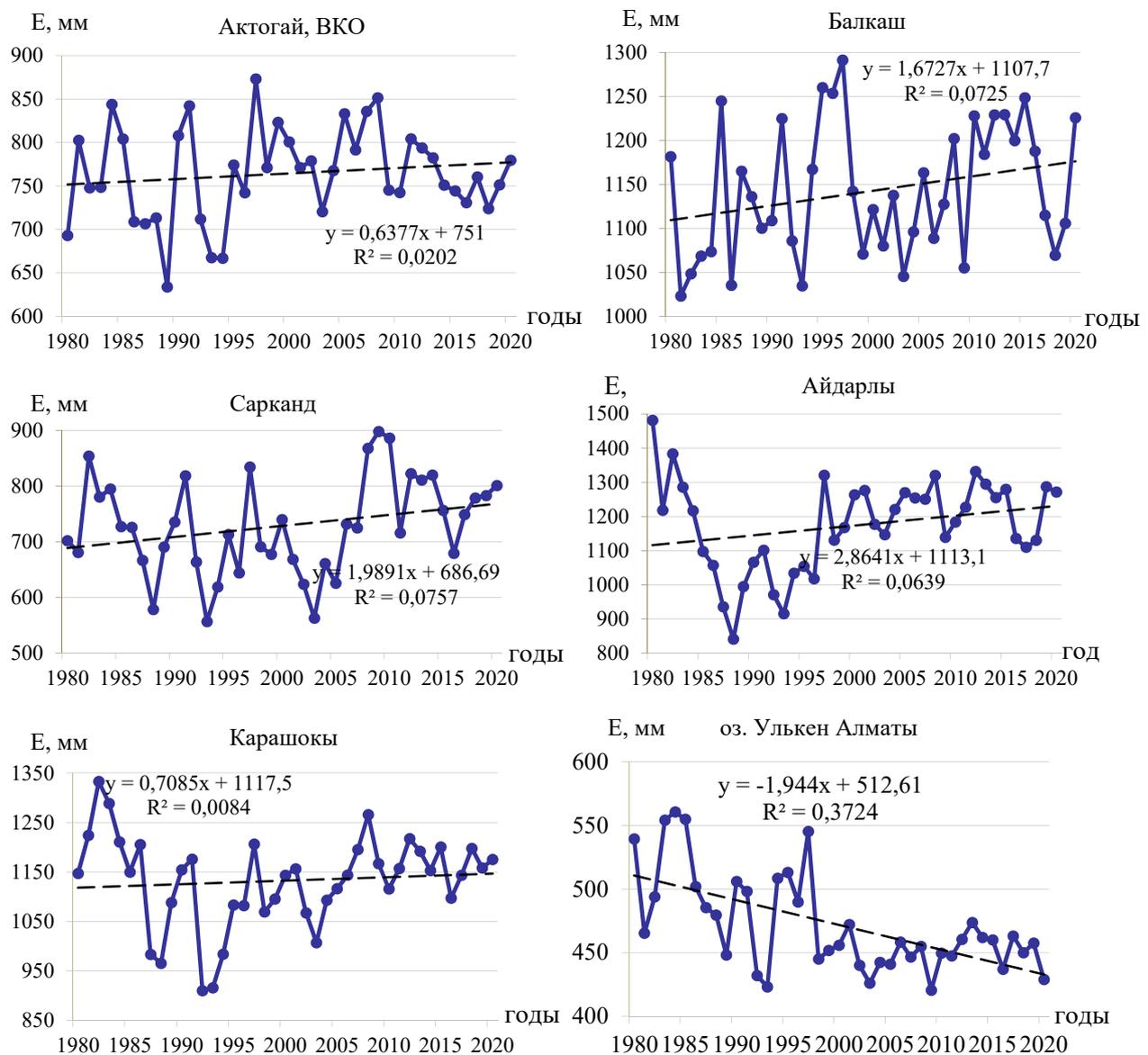


Рисунок 8 – Временной ход испарения с водной поверхности за 1980-2020 гг.

Figure 8 – Time course of evaporation from the water surface for 1980-2020

Из рисунка 8, следует, что тенденции в увеличении количества испарения наблюдаются в основном на равнинных станциях (Актогай, Карашоқы, Айдарлы, Шелек, Капшагай), а в предгорной местности на станциях (Уштобе, Сарканд, Жаркент) не прослеживается четкая тенденция роста испарения, на станциях Балкаш, Озеро Улькен Алматы и Мынжылки, наоборот, испарение снижается.

Выводы. За последние 40 лет (1980-2020 гг.) в Иле-Балкашском бассейне наблюдаются изменения в некоторых основных климатических параметрах:

- 1) повсеместное увеличение температуры на всех станциях от 0,5 до 1 °С;
- 2) повсеместное уменьшение скорости ветра почти на всех станциях от 0,2 до 1,1 м/с;
- 3) осадки на многих равнинных станциях возросли от 5 до 48 мм и лишь на станциях Актогай и Мынжылки они уменьшились на 5 и 3 мм соответственно;
- 4) изменения в атмосферном давлении не установлены;
- 5) изменения в относительной влажности воздуха не отмечаются.

Это еще раз доказывает, что такие метеорологические элементы, как атмосферное давление и относительная влажность воздуха, мало изменчивы год от году в связи с глобальными процессами круговорота влаги в атмосфере.

Установлено, что за последние 20 лет почти на многих равнинных станциях Иле-Балкашского бассейна отмечается незначительное увеличение испарения с водной поверхности, и оно составляет примерно 1-10 %, а в горных районах и вблизи акватории (станция Балкаш), испарение уменьшается примерно на 2-9 %. Можно сделать выводы, что незначительное увеличение испарения с водной поверхности на равнинных станциях в Иле-Балкашском бассейне в основном связано с ростом температуры воздуха и некоторым увеличением количества осадков, а уменьшение испарения в горной местности и вблизи акватории вызвано падением средней скорости ветра и незначительным повышением влажности воздуха.

Таким образом, необходимо осуществлять меры по адаптации к изменению климата в целях сокращения испарения с водной поверхности в Иле-Балкашском бассейне.

Благодарность. Автор выражает благодарность Региональному проекту USAID по водным ресурсам и окружающей среде за техническую и финансовую поддержку в рамках конкурса молодых ученых в странах Центральной Азии.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) (Ed.), 2023. Climate Change Information for Regional Impact and for Risk Assessment, in: Climate Change 2021 – The Physical Science Basis: Working Group I Contribution to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press, Cambridge, p. 1767-1926. <https://doi.org/10.1017/9781009157896.014>
- [2] Hussien A. G., Hashim F. A., Qaddoura R., Abualigah L., Pop A. 2022. An enhanced evaporation rate water-cycle algorithm for global optimization. Processes 10, 2254.
- [3] Landau L. D., Akhiezer A. I., Lifshitz E. M., 1967. Chapter ix - phase transitions, in: Landau L.D., Akhiezer A.I., Lifshitz E.M. (Eds.), General Physics. Pergamon, Oxford, p. 197-229. <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-009106-8.50012-1>
- [4] Brkić Ž., 2023. Increasing water temperature of the largest freshwater lake on the Mediterranean islands as an indicator of global warming. Heliyon 9, e19248. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e19248>
- [5] Guan X., Liu C., Zhang J., Wang G., Bao Z., Jin J., 2022. On the attribution of changing water surface evaporation across China. Journal of Hydrology: Regional Studies 40, 100991. <https://doi.org/10.1016/j.ejrh.2022.100991>
- [6] Монкаева Г. Е. О методах расчета испарения с водной поверхности Иле-Балкашского водохозяйственного бассейна // Мат-лы Международной конференции «Мировые тенденции развития науки и техники: пути совершенствования». – М., 2022. – С. 313-317.
- [7] Bao A., Tao Y., Xu W., Lei J., Jiapaer G., Chen X., Komiljon T., Khabibullo S., Sagidullaevich X., Kamalatdin I., 2024. Ecological problems and ecological restoration zoning of the Aral Sea. Journal of Arid Land 16, p.1–16. <https://doi.org/10.1007/s40333-024-0055-6>
- [8] De Boer T., Paltan H., Sternberg T., Wheeler K., 2021. Evaluating Vulnerability of Central Asian Water Resources under Uncertain Climate and Development Conditions: The Case of the Ili-Balkhash Basin // Water 13. <https://doi.org/10.3390/w13050615>
- [9] Polikarpov D., Savelyev I., 2023. Socio-demographic situation in the city of Almaty: prospects and risks of development, p. 322-332
- [10] Sala R., Deom J. M., Aladin V., Plotnikov I., Nurtazin S., 2020. Geological History and Present Conditions of Lake Balkhash, p. 143-175. https://doi.org/10.1007/978-3-030-42254-7_5
- [11] Tilekova Z., Oshakbaev M., Khaustov A., 2016. Assessing the geoecological state of ecosystems in the Balkhash region. Geography and Natural Resources 37, 79-86. <https://doi.org/10.1134/S187537281601011X>

- [12] Турсунова А. А., Мырзахметов А. Б. Водные ресурсы Иле-Балкашского бассейна с учетом международных принципов совместного использования // Руснаука/ География/3. 2012. https://www.rusnauka.com/14_ENXXI_2012/Geographia/3_110293.doc.htm
- [13] Кожухметов П. Ж., Монкаева Г. Е. Оценка испарения с водной поверхности на основе фактических данных измерений с помощью ГГИ-3000 (на примере Иле-Балкашского бассейна) // Гидрометеорология и экология. – 2017. – № 3(86). – С. 49-59.
- [14] Мазур Л. П., Маринович Т. В. Оценка гидроклиматических показателей в горных районах Илейского Алатау // Гидрометеорология и экология. – 2007. – Вып. 1. – С. 75-85.
- [15] Кузьмин П. П. К методике исследования и расчета испарения с поверхности снежного покрова // Труды ГГИ. – 1953. – Вып. 41(95). – С. 34-52.
- [16] Постников А. Н. Испарение с поверхности снежного покрова за период его возникновения на территории России // Ученые записки № 2. – СПб.: РГГМУ, 2016. – С. 55-63.
- [17] Вуглинский В. С., Албул И. П. Методика расчета испарения с водной поверхности по данным испарителя ГГИ-3000 // Вестник СПбГУ. Сер. 7. – 2016. – Вып. 3. – С. 118-128.
- [18] Кузнецов В.И. Методика расчета испарения с бассейнов площадью 20 м² по наблюдениям в испарителях ГГИ-3000 // Труды ГГИ. – 1970. – Вып. 181. – С. 3-32.
- [19] Вуглинский В.С. Водные ресурсы и водный баланс крупных водохранилищ СССР. – Л.: Гидрометеоздат, 1991. – 65 с.
- [20] Ежегодный бюллетень мониторинга состояния и изменения климата Казахстана. – Астана, 2022. <https://www.kazhydromet.kz/ru/klimat/ezhegodnyy-byulleten-monitoringa-sostoyaniya-i-izmeneniya-klimata-kazahstana>
- [21] Курманова М., Монкаева Г. Специализированное климатическое обслуживание в поддержку принятия решений в Казахстане // Международная молодежная школа и конференция по вычислительно-информационным технологиям для наук об окружающей среде. – М., 2019. – С. 317-320.

REFERENCES

- [1] Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) (Ed.), 2023. Climate Change Information for Regional Impact and for Risk Assessment, in: Climate Change 2021 – The Physical Science Basis: Working Group I Contribution to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press, Cambridge, p. 1767-1926. <https://doi.org/10.1017/9781009157896.014>
- [2] Hussien A.G., Hashim F.A., Qaddoura R., Abualigah L., Pop A. 2022. An enhanced evaporation rate water-cycle algorithm for global optimization. Processes 10, 2254.
- [3] Landau L.D., Akhiezer A.I., Lifshitz E.M., 1967. Chapter ix - phase transitions, in: Landau L.D., Akhiezer A.I., Lifshitz E.M. (Eds.), General Physics. Pergamon, Oxford, p. 197-229. <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-009106-8.50012-1>
- [4] Brkić Ž., 2023. Increasing water temperature of the largest freshwater lake on the Mediterranean islands as an indicator of global warming. Heliyon 9, e19248. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e19248>
- [5] Guan X., Liu C., Zhang J., Wang G., Bao Z., Jin J., 2022. On the attribution of changing water surface evaporation across China. Journal of Hydrology: Regional Studies 40, 100991. <https://doi.org/10.1016/j.ejrh.2022.100991>
- [6] Monkayeva G.E. About methods of calculation of evaporation from water surface of Ile-Balkash water basin // Mater. International Conference «World tendencies of science and technology development: ways of improvement». М., 2022. P. 313-317 (in Russ.).
- [7] Bao A., Tao Y., Xu W., Lei J., Jiapaer G., Chen X., Komiljon T., Khabibullo S., Sagidullaevich X., Kamalatdin I., 2024. Ecological problems and ecological restoration zoning of the Aral Sea. Journal of Arid Land 16, p. 1-16. <https://doi.org/10.1007/s40333-024-0055-6>
- [8] De Boer T., Paltan H., Sternberg T., Wheeler K., 2021. Evaluating Vulnerability of Central Asian Water Resources under Uncertain Climate and Development Conditions: The Case of the Ili-Balkhash Basin // Water 13. <https://doi.org/10.3390/w13050615>
- [9] Polikarpov D., Savelyev I., 2023. Socio-demographic situation in the city of Almaty: prospects and risks of development, p. 322-332.
- [10] Sala R., Deom J. M., Aladin V., Plotnikov I., Nurtazin S., 2020. Geological History and Present Conditions of Lake Balkhash, p. 143-175. https://doi.org/10.1007/978-3-030-42254-7_5
- [11] Tilekova Z., Oshakbaev M., Khaustov A., 2016. Assessing the geoecological state of ecosystems in the Balkhash region. Geography and Natural Resources 37, 79-86. <https://doi.org/10.1134/S187537281601011X>
- [12] Tursunova A. A., Myrzhakmetov A. B. Water resources of the Ile-Balkash basin taking into account international principles of joint use // Rusnauka/Geography/3. 2012. https://www.rusnauka.com/14_ENXXI_2012/Geographia/3_110293.doc.htm (in Russ.).
- [13] Kozhakhmetov P. J., Monkaeva G. E. Estimation of evaporation from the water surface based on actual measurement data using GGI-3000 (on the example of the Ile-Balkhash basin) // Hydrometeorology and Ecology. 2017. No. 3 (86). P. 49-59 (in Russ.).
- [14] Mazur L. P., Marinovich T. V. Assessment of hydroclimatic indicators in the mountainous areas of Ileyskiy Alatau // Hydrometeorology and Ecology. 2007. Issue 1. P. 75-85 (in Russ.).
- [15] Kuzmin P. P. To the methodology of investigation and calculation of evaporation from the snow cover surface (in Russian) // Proceedings of the State Hydrometeorological Institute. 1953. Issue 41(95). P. 34-52 (in Russ.).
- [16] Postnikov A. N. Evaporation from the surface of the snow cover for the period of its occurrence on the territory of Russia // Scientific Notes No. 2. SPb.: RSHMU, 2016. P. 55-63 (in Russ.).

[17] Vuglinsky V. S., Albul I. P. Methodology of calculation of evaporation from the water surface according to the data of the evaporator GGI-3000 // Vestnik of SPbSU. Ser. 7. 2016. Issue. 3. P. 118-128 (in Russ.).

[18] Kuznetsov V.I. Methodology of calculation of evaporation from 20 m² basins based on observations in evaporators GGI-3000 // Proc. of GGI. 1970. Issue. 181. P. 3-32 (in Russ.).

[19] Vuglinsky V.S. Water resources and water balance of large reservoirs of the USSR. L.: Gidrometeoizdat, 1991. 65 p. (in Russ.).

[20] Annual bulletin of monitoring the state and climate change of Kazakhstan. Astana, 2022. <https://www.kazhydromet.kz/ru/klimat/ezhegodnyy-byulleten-monitoringa-sostoyaniya-i-izmeneniya-klimata-kazahstana> (in Russ.).

[21] Kurmanova M., Monkaeva G. Specialised climate services in decision support in Kazakhstan // International Youth School and Conference on Computational and Information Technologies for Environmental Sciences. M., 2019. P. 317-320 (in Russ.).

Г. Е. Монкаева

Докторант (әл-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университеті,
Алматы, Қазақстан; gulsara.monkayeva@mail.ru)

ІЛЕ-БАЛҚАШ АЛАБЫ БҰЛАНУЫНА КЛИМАТТЫҢ ӨЗГЕРУІНІҢ КӘЗІРГІ ӘСЕРІ

Аннотация. Іле-Балқаш бассейнінің мысалында соңғы қырық жылдағы су бетінен буланудың өзгеруі, сонымен қатар булануға әсер ететін кейбір метеорологиялық көрсеткіштердің өзгеруі қарастырылды. Жүргізілген жұмыс 1980-1995 жж. аралығында алдыңғы 1996- 2020 жж. кезеңге қатынаса отырып су бетінен булану өзгерістеріне баға берілді. Іле-Балқаш ойпатының жазықтық станциялар аумағында буланудың ұлғаюы және ол шамамен 1-10 % өсуі байқалған, ал таулы аймақтарда және су алабтарына жақын аймақтарда буланудың шамамен 2-9 % азаюы анықталған. Алынған нәтижелерге сүйене отырып, өзен алабындағы жазықтық станцияларда су бетінен буланудың жоғарылауы температураның көтерілуіне және жауын-шашын мөлшерінің аздап көбейуіне байланысты қорытынды жасауға болады. Сонымен қатар Іле өз. - Балқаш көлі алабындағы таулы аймақтарда және су акваторияларына жақын аймақтарда буланудың азаюы желдің орташа жылдамдығының төмендеуімен және ауа ылғалдылығының аздап жоғарылауымен байланысты. Бұл зерттеу ауыл шаруашылығы және су ресурстары салаларында шешім қабылдауды көмектесуі мүмкін, өйткені су бетінен булану көптеген гидрологиялық, климаттық және гидродинамикалық модельдерге қатысады, сондықтан алынған нәтижелерді көптеген ғылыми есептеулерде қолдануға болады.

Түйін сөздер: климаттың өзгеруі, су беті булануы, метеорологиялық факторлардың әсері, климаттық индекстер.

G. Ye. Monkayeva

Doctoral student (al-Farabi Kazakh National University, Almaty, Kazakhstan; gulsara.monkayeva@mail.ru)

THE IMPACT OF MODERN CLIMATE CHANGE ON EVAPORATION FROM WATER SURFACE IN THE ILE-BALKASH BASIN

Abstract. Using the Ile-Balkash basin as an example, changes in evaporation from the water surface over the last 40 years, as well as changes in the main meteorological elements that affect evaporation, are considered. Within the framework of this work, the changes in evaporation from the water surface for 1996-2020 in relation to the previous period of 1980-1995 were assessed. It was established that over the last 20 years, there was a slight increase in evaporation at many lowland stations of the Ile-Balkash basin and it is about 1-10 %. In mountainous areas and near large water areas, such as Balkash and Ulken Almaty Lakes, there is a decrease in evaporation by about 2-9 %. The main factors influencing the change in evaporation values from the water surface were analyzed. It was concluded that the increase in evaporation from the water surface at the lowland stations in the Ile-Balkash basin is mainly due to the increase in air temperature and some increase in precipitation, and the decrease in evaporation in mountainous areas and near a water area is caused by the decrease of average wind speed and an insignificant increase in air humidity. This study can help support decision making in the agriculture and water resources sector, since evaporation from the water surface is involved in many hydrological, climatic and hydrodynamic models. Therefore, the obtained results can be used in many scientific calculations.

Keywords: climate change, evaporation from the water surface, the influence of meteorological factors, climate indices.

География и туризм

География және туризм

Geography and tourism

<https://doi.org/10.55764/2957-9856/2024-3-155-163.33>

МРНТИ 34.29.35

УДК 574.589

Ф. В. Сапожников¹, П. О. Завьялов², А. К. Курбаниязов*³, Н. К. Курбаниязов⁴

¹ К. б. н., ведущий научный сотрудник

(Институт океанологии им. П. П. Ширшова РАН, Москва, Россия; fil_aralsky@mail.ru)

² Д. г. н., зам.директора (Институт океанологии им. П. П. Ширшова РАН, Москва, Россия; peter@ocean.ru)

^{3*} К. г. н., профессор (Международный Казахско-Турецкий университет им. Ходжа Ахмеда Ясави,
Международный университет туризма и гостеприимства, Туркестан, Казахстан;

abylgazy.kurbanyazov@ayu.edu.kz)

⁴ Докторант (Казахский национальный университет им. аль-Фараби, Алматы, Казахстан; tif.nur@mail.ru)

ДРЕЙФУЮЩИЕ НИТЧАТЫЕ ВОДОРОСЛИ В ПРИБРЕЖНОЙ ЗОНЕ ВОСТОЧНОГО КАСПИЯ КАК САМОСТОЯТЕЛЬНОЕ ВЕРХНЕПЕЛАГИЧЕСКОЕ СООБЩЕСТВО

Аннотация. Прибрежная зона Среднего Каспия в настоящее время подвергается существенным изменениям на фоне падения уровня моря. При обмелении меняется характер влияния водных потоков на донные ландшафты, в том числе усиливается воздействие штормовых волн на их поверхности, заселённые донными сообществами. Усиливается и влияние накатных и штормовых волн на донные водоросли. Ценозы донных макрофитных водорослей, ранее росшие на подводных скалах, в том числе плоских скальных платформах, которыми изобилует восточное побережье Среднего Каспия, на глубинах 10-12 м, прежде попадали под воздействие только особенно сильных штормовых волн. Теперь их местообитания оказались на существенно меньшей глубине (около 7,5-9,5 м), что привело к более частым и массовым отрывам талломов макрофитов и переносу их в пелагиаль. Массовый перенос живых талломов зелёных и красных водорослей в верхние слои водной толщи на протяжении разных сезонов года способствовал формированию сообществ нового типа, иначе структурирующих приповерхностный слой фитопелагиали. Новые ценозы представляют собой совокупность метаморфизированных талломов нитчаток с обильно разрастающимся на них микроэпифитным комплексом, живут в приповерхностном слое воды длительное время, служат кормом для пелагических рыб и оказывают существенное влияние на береговые ландшафты. Массовое развитие макрофитов на дне и их дальнейшее интенсивное развитие в пелагиали, в свою очередь, могут быть обусловлены усилением эвтрофикации прибрежной зоны в районах крупных населённых пунктов.

Ключевые слова: Каспий, падение уровня, фитобентос, макрофиты, багрянки, зелёные водоросли, фитопелагиаль, микроэпифиты, эвтрофикация.

Введение. Каспийское море меняется, и его метаморфозы, закономерным образом, по-разному сказываются в различных географических районах его акватории. Изучение экологических аспектов глобальных изменений Каспия в этих районах является важной задачей последних лет.

Когда мы говорим о фитопелагиали, то подразумеваем под этим термином совокупность сообществ живых организмов, в разной степени способных к добыче энергии для жизнеобеспечения с помощью реакций фотосинтеза, населяющих толщу воды на пространствах водоёмов самых разных типов, по аналогии с фитобенталью как совокупностью сообществ организмов того же типа, населяющих поверхность дна и приповерхностные слои его толщи.

В Среднем Каспии донные заросли макрофитов, населяющих скальные, каменистые и ракушечные грунты, сформированы зелёными и красными макрофитными водорослями с нитчатой организацией таллома [1]. При рассмотрении распределения этих макрофитов по глубинам в настоящее время необходимо принять во внимание тот непреложный факт, что Каспий мелеет [2-9]. Масштабное снижение уровня самого большого в мире озера, характеризуемого с гидрологических позиций как озеро-море, происходит начиная с 1996 года [10]. В последние 6 лет темпы снижения уровня усилились и к настоящему времени составляют до 20-30 см в год [11]. Прибрежные мелководные донные ландшафты в результате обмеления оказались под ударом: глубина в тех местах, где они находятся, стала меньше, а шторма на фоне глобальных климатических изменений учащаются и становятся сильнее [12].

Макромасштабные элементы донных ландшафтов, проявляющиеся начиная от метров и более, остаются прежними, но меняется глубина их расположения. Например, в январе 2017 г. поверхность обширной плоской подводной скалы, расположенной в прибрежной области Восточного Каспия в районе г. Актау, находилась на глубине 10 м, и уровень моря составлял -27,92 м по БС. В мае 2024 г., когда уровень понизился до -29,1 м по БС, поверхность этой скалы оказалась уже на глубине 8,82 м. При этом те нитчатые багрянки, что её населяли в мае 2024 г., уже в большей степени ощущали на себе прохождение сильных накатных штормовых волн, нежели в январе 2017 г. Если же рассматривать поверхности скал, располагавшихся в тот же период 2017 г. на глубине 3 м, то к маю 2024 г. они закономерно оказались на глубине 1,82 м – и на такой глубине воздействие шторма на макрофитобентос будет существенно более сильным. Между тем в периоды затишья между штормами нитчатки продолжают активно разрастаться на каменных поверхностях подводных ландшафтов, доступных для прикрепления их ризоидов. Но при волнениях моря, вызываемых как нагонными ветрами, так и зыбью – отголосками далёких штормов, их отрывает от таких субстратов всё чаще, поскольку глубина, на которой находятся эти субстраты, уменьшилась.

Добавим второй фактор, способствующий росту обилия нитчаток на дне и набирающий силу в последние десятилетия. Речь идёт о бытовых стоках городов и других крупных населённых пунктов, активно разрастающихся и отдающих морю всё большие объёмы сточных вод. Степень очистки этих стоков различна, однако степень развития макрофитов в прибрежной зоне свидетельствует о том, что в море поступает всё больше биогенных веществ, таких, как нитраты, нитриты и фосфаты, способствующих разрастанию тех видов нитчаток, что не особенно притязательны к чистоте окружающей среды, но при этом легко используют обильную подкормку и хорошо на ней растут.

Наши наблюдения 2018-2024 гг. показали, что за этот период в прибрежной зоне Среднего Каспия, в районах городов Актау, Форт-Шевченко, порта Ерсай и пос. Курык, сформировался новый устойчивый тип сообществ верхней фитопелагиали, представленный плавучими формами нитчаток, отрываемых с поверхности дна и морфологически меняющихся в толще воды, в совокупности с их микроэпифитными комплексами, также метаморфизирующими при переходе к обитанию в приповерхностном слое водной толщи.

Материалы и методы исследований. Исследования были проведены в три различных сезона: весной, в апреле 2023 г., осенью, в сентябре 2023 г., и летом, в июне 2024 г. Материал отбирали в прибрежной зоне Среднего Каспия, в районах г. Актау, порта Ерсай и пос. Курык – в зоне прибрежного наката. Также образцы были взяты на открытой прибрежной акватории: в черте г. Актау, на траверсе мыса Меловой (сентябрь 2023 и июнь 2024 гг.); в 16,5 км к югу от м. Меловой – в районе ЖК РИКСОС (в сентябре 2023 г.) и в районе пос. Акшукура, в 22 км к северу от мыса Меловой (в июне 2024 г.). Во всех случаях отбор проводили на расстоянии 3,5 км от берега, в области, где глубины составляли около 14-15 м. Донный грунт в этих местах был представлен плоскими каменными плитами с разреженной россыпью раковин двустворчатых моллюсков. В июне 2024 г. материал из зоны воздействия прибрежного наката был также отобран в районе пляжа г. Форт-Шевченко. На открытой акватории пробы брали с борта маломерных судов, у берега – с портовых сооружений, пирсов, волноломов и дамб строящихся марин при окружающей глубине не менее 1 м.

Образцы из приповерхностного слоя вод, с глубины около 20 см, отбирали с помощью батометра объёмом 3 л, в количестве не менее 5 батометров на точку отбора. Образцы из

приповерхностного слоя вод, с глубины около 20 см, отбирали с помощью батометра объёмом 3 л. Образцы с поверхности дна брали тралением планктонной сети Апштейна по плоским скалам на удалении от берега и соскрёбыванием макрофитов со скалистого дна краем ПЭТ-ёмкости на прибрежных глубинах до 1 м. Материал фиксировали 2%-м раствором формальдегида и сохраняли в тёмном месте до начала обработки в лаборатории ИО РАН (Москва, РФ). Структуру талломов нитчаток, их видовую принадлежность, а также состав, количественную структуру и пространственную организацию микроэпифитона на поверхности разных видов макроводорослей изучали методами световой микроскопии. Использовали микроскопы Leica DMLS, Leica DM2500 и ZEISS Primo Star на рабочих увеличениях 200, 400 и 1000. Идентификацию макрофитов проводили с помощью современных печатных и интерактивных источников [13-17]. Макроводоросли и цианобактерии из состава микроэпифитона были установлены с помощью тематических атласов и определителей, ориентированных в том числе и на Каспийское море [18-30]. Для идентификации видовой принадлежности диатомей были изготовлены постоянные препараты с использованием светопреломляющей среды «Канифоль». При уточнении современного таксономического статуса микро- и макрофитов использовали данные порталов AlgaeBase [31] и WoRMS [32]. Для описания количественного статуса макрофитов в составе микрообрастаний применяли следующие категории обилия: единично – 1-2 экземпляра вида на 5 полей зрения концентрированной пробы обрастаний при $\times 400$ (далее для того же объёма отсмотренного материала), редко – (3)5-15(18) экз., часто – (19)20 – 35(50) экз., массово с около 40-100(120) экз., доминант – от примерно 200 экз. и более. Для фотодокументирования материала использовали цифровые камеры BlackView, Canon и Leica. Оценку количественного статуса видов и пространственной организации микроэпифитона проводили по сериям цифровых снимков – 35-50 фото на препарат. Особое внимание при описании структуры микрообрастаний уделяли их ярусности и способам размещения макрофитов в их составе.

Результаты исследований. Для удобства восприятия материала мы представляем результаты анализа эпипелагических сообществ нитчаток по разным сезонам года.

Весна: апрель 2023 г. Результаты исследований, полученные совместно специалистами Института океанологии им. П. П. Ширшова РАН и Международного Казахско-Турецкого университета им. Х. А. Ясави весной 2023 г., показали, что в весенний период верхнепелагические сообщества прибрежной зоны восточной части Среднего Каспия напрямую связаны в своём развитии с донными ценозами.

Обильное разрастание нитчатых красных и зелёных макрофитных водорослей происходило уже в ранневесенний период на скалистых донных грунтах на глубинах от 0 до 10-12 м.

В этот период практически все скалы и камни на дне покрывал густой «ковёр», состоящий преимущественно из крупных (до 10-15 см высотой), обильно ветвящихся талломов *Carradoriella* sp. и *Ceramium diaphanum*. В сравнительно небольших количествах присутствовали *Grania efflorescens* и *Callithamnion kirillianum*, а также зелёная нитчатка *Cladophora sericea*. Особенно мощного развития эти макрофиты достигали в черте крупных населённых пунктов, таких, как г. Актау, пос. Курьк, а также вблизи портовых зон. Это связано с более высокой эвтрофикацией прибрежной зоны на таких участках. Практически ежегодно, в конце марта – начале апреля на востоке Среднего Каспия имеют место сильные шторма, достигающие мощности 5-6 баллов. Под воздействием высоких накатных волн происходит массовый отрыв талломов донных нитчатых багрянок от поверхности каменного грунта. Часть из них выносится прибоем на мелководья и ложится на песок/скалы в полосе прибоя, заполняя нижнюю часть псевдолиторали валом из гниющих красных водорослей, источающих дурной запах. Согласно нашим измерениям, сырая биомасса таких навалов, постоянно увлажняемых накатными волнами, может достигать 30-40 кг на 1 м².

В то же время большая часть оторванных со дна багрянок остаётся парить во взвешенном состоянии в толще воды, образуя в слое 2-3 м от поверхности совершенно своеобразное сообщество. Здесь слоевища нитчаток, имеющие на дне форму обильно ветвящихся кустов, метаморфизируются до общей формы, расправляя ветви радиально во всех направлениях. При этом продолжают рост и усложнение их ветвления, но расположение ветвей становится более редким на фоне общего округления объёма, занимаемого слоевищем.

Парение талломов достигается за счёт такой формы разрастания, а также за счёт обильного выделения их клетками кислорода, аккумулирующегося в виде пузырьков среди ветвей. Плотность расположения в воде парящих слоевищ постепенно увеличивается в направлении берега. На глубинах менее полуметра, особенно в полукрытых лагунах, формирующихся на фоне падения уровня Каспия и обнажения донных скально-каменистых ландшафтов мелководной зоны, парящие слоевища могут собираться в скопления, заполняющие практически всю толщу воды.

Весной 2023 года на фоне развития в приповерхностном слое происходило частичное обесцвечивание слоевищ. У *C. diaphanum* это было связано с удлинением прозрачных междуузлий – длинных бесхлорофильных клеток, выполняющих скелетную функцию в структуре талломов и рассеивающих приходящий солнечный свет так, чтобы он охватывал пигментированные клетки «поясков». При этом на поверхности междуузлий развивались только два вида микроэпифитов: багрянки *Acrochaetium parvulum* и прикреплённые (сидячие) диатомеи *Cocconeis scutellum*. В свою очередь, на «поясках», образуемых коровыми фотосинтезирующими клетками при их компактном расположении, обильно разрастались не только *C. scutellum* (нижний ярус), но и такие эпифитные колониальные диатомеи, как *Licmophora debilis*, *L. gracilis* (нижний приподнимающийся ярус, а также оброст тонких светорассеивающих волосков, маскирующих «пояски»), *Rhoicosphenia abbreviata* и *Pteroncola inane* (средний ярус), а также *Achnanthes brevipes*, *A. longipes* и *Grammatophora oceanica* (верхний ярус). Сравнительный анализ микроэпифитона экземпляров *C. diaphanum*, собранных на дне и в эпипелагиали, показал, что развитие микрообрастаний на коровом слое поясков происходит уже у плавучих форм этих макрофитов.

Совсем иная структура микроэпифитона была отмечена на талломах *Carradoriella* sp. – здесь в массе развивались тонкотрихомные цианобактерии *Leibleinia epiphytica*, часто встречались густые дерновинки *Lyngbya major*, диатомеи были представлены только *L. debilis*. Обесцвечивание талломов *Carradoriella* происходило за счёт обильного кущения тонких однорядных периферических ветвей (пигментированных, но рассеивающих свет), а также густого слоя бесцветных светорегулирующих волосков, кустящихся по концам этих ветвей. Развитие цианобактериального компонента происходило только на плавучих экземплярах этой нитчатки. На поверхности талломов *G. efflorescens* и *C. kirillianum* микрообрастания отмечены не были. Талломы *C. sericea* были покрыты разноплотным обростом *C. scutellum* (практически панцирным в центральной области слоевища), а также разреженными колониями бесшовных диатомей (*Stenophora* sp., *L. debilis* и *Tabularia fasciculata*).

Плотность плавучих нитчаток на глубине около 20 см составляла в этот период близи берега 1360 ± 305 г/м².

Лето: июнь 2024 г. Анализ материала, собранного на дне и в эпипелагиале в начале календарного лета, показал, что в этот период в прибрежной зоне обильно развивались в пелагиали только *Carradoriella* sp., *C. diaphanum* и *C. kirillianum*, зелёные нитчатки отсутствовали. Микроэпифитон был отмечен только на первых двух видах. На поверхности корового слоя *Carradoriella* и на междуузлиях *Ceramium* доминировала диатомея *Nitzschia pusilla*, ведущая здесь подвижный образ жизни. В свою очередь, массовый вид *Nitzschia fonticola* был представлен в виде небольших компактных колониальных поселений, одетых общей слизью, в том числе коротких лентовидных колоний. Также на обоих видах массово развивались прикреплённые *Achnanthisidium* sp., *Cocconeis costata* и *C. neothumensis*, часто встречались *Cocconeis scutellum*, факультативно прикрепляющиеся к поверхности *Halamphora borealis* и *H. hybrida*, подвижная *Navicymbula pusilla*. В нижнем ярусе обильно развивалась прикреплённо трихомная цианобактерия *Leibleinia* cf. *incospicua*, ей часто сопутствовала *Leibleinia* sp. Среди диатомей в массе развивались колониальные цианобактерии *Merismopedia* cf. *punctata* и *M. glauca*. Часто встречались небольшие инициальные талломы эпифитной багрянки *Colaconema hallandicum*. В статусе редких видов были отмечены небольшие колонии *Aphanocapsa orae*, *Palmella* sp., трихомы *Phormidium* cf. *insigne*, *Leibleinia* cf. *kryloviana*, подвижные *Navicula phylleptosoma*, прикреплённые колониальные *Rhoicosphenia abbreviata*, *Licmophora* sp. и некрупные талломы *Grania efflorescens*. Всё это разнообразие микрофитов занимало, по сути, два яруса – стелящийся (он же панцирный в исполнении видов *Cocconeis*), самый нижний, и приподнимающийся, сформированный в основном *Achnanthisidium*, при участии *Rhoicosphenia* и *Licmophora*.

На донных нитчатках тех же видов было отмечено только развитие колониальных поселений видов *Cocconeis* и приповерхностные сети из талломов *L. cf. incospicua*.

Плотность плавучих нитчаток на глубине около 20 см составляла в этот период близи берега 205 ± 63 г/м², на расстоянии 3,5 км от берега - 27 ± 13 г/м².

Осень: сентябрь 2023 г. В сборах из эпипелагиали присутствовали только округлившиеся формы *Carradoriella* sp., *C. diaphanum* и *C. kirillianum*. Доминировал первый вид.

Микрообрастание на междуузлиях *C. diaphanum* было представлено нижним ярусом при массовом развитии *Cocconeis costata*, *C. neothumensis* и *C. scutellum*, часто встречалась *C. hallandicum*, изредка – небольшие колонии *Rhoicosphenia abbreviata* на ветвящихся стебельках и приподнимавшиеся трихомы *Leibleinia epiphytica*. На поясках был хорошо развит верхний ярус, в структуре которого в статусе доминанта развивалась *Rh. abbreviata*, массовыми были *Achnanthes longipes* и *A. brevipes*, часто встречались *Licmophora cf. abbreviata*, *L. ehrenbergii* и разветвлённые колонии *Grammatophora oceanica*, *G. marina*, талломы *Grania efflorescens*. На обильно ветвящихся талломах *C. kirillianum* отмечали частое присутствие длинных трихомов цианобактерии *Leibleinia cf. kryloviana*, изредка встречались диатомеи *L. cf. abbreviata* и *Rhopalodia gibberula*. На поверхности талломов *Carradoriella* sp. в приподнимающемся ярусе в массе развивались цианобактерии *Leibleinia epiphytica*. Верхний ярус формировали, массово разрастаясь, обильно ветвящиеся талломы *Grania efflorescens*, часто покрытые колониями диатомеи *Tabularia fasciculata* и трихомами *L. cf. kryloviana*, лентовидными колониями *A. longipes*, а также разреженной порослью *L. cf. abbreviata* и *L. ehrenbergii* – эти же два вида местами в массе покрывали молодые ветви самого базифита. Для осеннего периода наблюдений было характерно спорадическое развитие инфузорий из рода *Vorticella* на плавучих талломах *Carradoriella* и *Ceramium*.

Микроэпифитон донных талломов *C. diaphanum* формировали только виды *Cocconeis*, а на *Carradoriella* здесь практически не было обрастаний, кроме разреженных колоний *G. oceanica* и *G. marina*.

В этот период плотность плавучих нитчаток составляла у берега 314 ± 59 г/м², а на удалении от берега в 3,5 км – 37 ± 8 г/м².

Общие наблюдения. По свидетельствам очевидцев из числа моряков яхт-клуба «Бриз» (г. Актау), постоянно наблюдающих за прибрежной акваторией в бухте у мыса Меловой, парящие нитчатки в изобилии висели в приповерхностном слое воды в последние годы ежесезонно в прибрежных водах с первой-второй декады апреля и далее на протяжении примерно двух недель. Мощность слоя выбросов в бухте у мыса Меловой достигала 20 см высотой и около 3 м шириной. В летний период плавучие талломы встречались на акватории уже в меньшем количестве, их выбросы на берег формировали полосу шириной всего около полутора метров при толщине до 5-8 см. В осеннее время распространение нитчаток у поверхности моря наблюдали также ежегодно, примерно с середины третьей декады августа. Слой выбросов багрянок, наблюдаемый нами в сентябре 2023 г. в районе порта Ерсай, достигал 30 см при ширине полосы в 1,5-3,5 м.

Заключение. Все описанные признаки, касающиеся как пространственной организации плавучих талломов самих макрофитов, так и микроэпифитона, развивающегося на их поверхности, и в немалой степени отличий по его структуре от донных форм тех же видов нитчаток, а также длительного по времени развития плавучих форм, приуроченного к определённой фенофазе в годовом цикле изменений биоты прибрежной зоны моря, позволяют выделить это верхнепелагическое сообщество как самостоятельное явление в жизни фитопелагиали Восточного Каспия.

Если говорить о казахстанском секторе Каспийского моря, то потенциальными потребителями фитомассы ценозов плавучих нитчаток, обильно развивающихся в прибрежной зоне Среднего Каспия, будут представители кефалевых, вселившиеся в озеро-море в 30-х годах XX столетия. Это *Chelon auratus* (Risso, 1810) – сингиль и *Chelon saliens* (Risso, 1810) – остронос. Взрослые кефали постоянно мигрируют у самого побережья и бывают вполне обычны в бухтах, лагунах, эстуариях и низовьях рек. Их основную пищу составляет детрит (обогащенный органическим веществом донный ил) и перифитон (растительное и животное обрастание подводного субстрата), в значительно меньшей степени – бентос.

Кефалиевые рыбы являются промысловыми видами как для российского, так и для казахстанского сектора, также их добывают и в иранских водах (поскольку кефалиевые сходятся в прибрежные воды Ирана на зимовку, и часть из них остаётся там на нерест). Ввиду трофических особенностей этих промысловых рыб описанные верхнепелагические ценозы являются ценным биоресурсом для формирования их кормовой базы.

Финансирование. Это исследование финансируется Комитетом науки Министерства науки и высшего образования Республики Казахстан (международная коллаборация, грант № AP14869522).

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Степаньян О. В. Макрофитобентос Каспийского моря: разнообразие, распределение, продуктивность // *Океанология*. – 2016. – Т. 56, № 3. – С. 429-439.
- [2] Лебедев С. А., Костяной А. Г., Гинзбург А. И. Динамика Каспийского моря по данным инструментальных измерений, результатам моделирования и данным дистанционного зондирования // *Мат-лы III междунар. научно-практической конф. "Прикладные аспекты геологии, геофизики и геоэкологии с использованием современных информационных технологий"*. – Майкоп, 2015. – С. 146-179.
- [3] Лебедев С. А. Пространственная неоднородность межгодовой изменчивости уровня Каспийского моря по данным спутниковой альтиметрии // *Вестник ТвГУ. Серия "География и геоэкология"*. – 2015. – № 2. – С. 13-21.
- [4] Chen J. L., Pekker T., Wilson C. R., Tapley B. D., Kostianoy A. G., Cretaux J.-F., Safarov E. S. Longterm Caspian Sea level change // *Geophysical Research Letters*. – 2017. – Vol. 44. – P. 6993-7001. <https://doi.org/10.1002/2017GL073958>
- [5] Фролов А. В. Сценарные прогнозы колебаний уровня Каспия с учётом климатических и техногенных воздействий на водный баланс моря // *Океанологические исследования*. – 2019. – Т. 47, № 5. – С. 130-148.
- [6] Lebedev S. A., Kostianoy A. G. Investigation of seasonal and interannual variability of water exchange through the Middle Caspian based on satellite altimetry // *Sovremennye problemy distantsionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa*. – 2020. – Vol. 17, No. 6. – P. 103-109
- [7] Ginzburg A. I., Kostianoy A. G., Serykh I. V., Lebedev S. A. Climatic changes in the hydrometeorological parameters of the Caspian Sea (1980–2020) // *Current problems in remote sensing of the Earth from space*. – 2021. – 18(5). – P. 277-291 (in Russ.). <https://doi.org/10.21046/2070-7401-2021-18-5-277-291>
- [8] Kostianoy A. G., Eremina T. R., Ivanov V. V., Lobanov V. B., Krovnin A. S., Amosova V. M., Afanasiev D. F., Barabanov V. V., Belousov V. N., Voloshchuk E. V., Ginzburg A. I., Gordeeva S. M., Dolgov A. V., Zhukova S. V., Zezera A. S., Zuenko Yu. I., Lardygina E. G., Lebedev S. A., Luchin V. A., Mezentseva L. I., Mikhailova A. V., Razinkov V. P., Rostov I. D., Serykh I. V., Trusenkova O. O., Ustinova E. I., Khen G. V. Marine natural systems // *The third assessment report on climate change and its consequences on the territory of the Russian Federation* / Ed. V. M. Kattsov; Roshydromet. – St. Petersburg: Science-intensive technologies, 2022. – P. 192-238 (in Russ.).
- [9] Kruglova E., Myslenkov S. Influence of long-term wind variability on the storm activity in the Caspian Sea // *Water*. – 2023. – No. 15. – P. 21-25. <https://doi.org/10.3390/w15112125>
- [10] Ермаков В. Б. Многолетние изменения уровня Каспийского моря и современные варианты их прогнозирования // *Известия Российской академии наук. Серия географическая*. – 2023. – № 87(6). – С. 930-940. <https://doi.org/10.31857/S2587556623060067>. EDN: EGCZBH
- [11] Chen J., Cazenave A., Wang S.-Y., Li J. Caspian Sea Level Change Observed by Satellite Altimetry. *Remote Sensing*. – 2023. – No. 15(3). – P. 703. <https://doi.org/10.3390/rs15030703>
- [12] Pavlova A., Myslenkov S., Arkhipkin V., Surkova G. Storm Surges and Extreme Wind Waves in the Caspian Sea in the Present and Future Climate // *Civil Engineering Journal*. – 2022. – Vol. 8, No. 11. – P. 2353-2377. DOI: 10.28991/CEJ-2022-08-11-01
- [13] Зинова А.Д. Определитель зеленых, бурых и красных водорослей южных морей СССР. – М.-Л.: Наука, 1967. – 398 с.
- [14] Зинова А.Д., Забержинская Э.Б. Новые для Каспийского моря виды водорослей // *Новости систематики низших растений*. – 1965. – С. 97-100.
- [15] Зинова А.Д., Забержинская Э.Б. Новые виды красных водорослей из Каспийского моря // *Новостисистематики низших растений*. – 1968. – С. 28-33.
- [16] Блинова Е.И. Водоросли-макрофиты и травы морей европейской части России. – М.: Изд-во ВНИРО, 2007. – 114 с.
- [17] Verlaque M., Ruitton S., Mineur F., Boudouresque C.F. CIESM atlas of exotic species in the Mediterranean. – Macrophytes. CIESM, Monaco, 2015. – 362 p.
- [18] Komárek J., Anagnostidis K. Modern approach to the classification system of the cyanophytes 4 // *Nostocales*. *Algol. Stud.* – 1989. – No. 56. – P. 247-345.
- [19] Komárek J., Anagnostidis K., Ettl H., Gärtner G., Heynig H., Mollenhauer D. Cyanoprokaryota 1. Chroococcales // *Ed. Süßwasserflora von Mitteleuropa*, 1998. – No. 19/1. – 548 p.
- [20] Komárek J., Anagnostidis K., Büdel B., Krienitz L., Gärtner G., Schagerl M. Cyanoprokaryota. 2. Oscillatoriales // *Süßwasserflora von Mitteleuropa*. – 2005. – No. 19/2. – 759 p.
- [21] Komárek J., Büdel B., Gärtner G., Krienitz L., Schagerl M. Cyanoprokaryota: 3rd Part: Heterocystous Genera // *Süßwasserflora von Mitteleuropa*, Bd. 19 (3), Springer Spektrum. Berlin: Heidelberg, 2013. – 1130 p.
- [22] Witkowski A., Lange-Bertalot H., Metzeltin D. Diatom Flora of Marine Coasts I *Iconographia Diatomologica*. – 2000. – No. 7. – 925 p.

- [23] Krammer K., Lange-Bertalot H. Bacillariophyceae 4. Teil: Achnantheaceae, Kritische Ergänzungen zu Navicula (Lineolatae), Gomphonema Gesamtliteraturverzeichnis Teil 1-4 [second revised edition]. – Suesswasserflora von Mitteleuropa. Spektrum Akademischer Verlag Heidelberg, 2004. – 468 p.
- [24] Spaulding S., Edlund M. Navicula. In: Diatoms of North America [Electron. resource]. – 2008a. – URL: <https://diatoms.org/genera/navicula> (date of circulation: 05.06.2023).
- [25] Spaulding S., Edlund M. Mastogloia. In: Diatoms of North America [Electron. resource]. – 2008. – URL: <https://diatoms.org/genera/mastogloia> (date of circulation: 05.06.2023).
- [26] Spaulding S., Edlund M. Navicymbula. In: Diatoms of North America [Electron. resource]. – 2008. – URL: <https://diatoms.org/genera/navicymbula> (date of circulation: 05.06.2023).
- [27] Spaulding S., Edlund M. Nitzschia. Diatoms of North America [Electron. resource]. – 2008d. – URL: <https://diatoms.org/genera/nitzschia> (date of circulation: 05.06.2023).
- [28] Spaulding S. Halamphora. Diatoms of North America. America [Electron. resource]. – 2011. – URL: <https://diatoms.org/genera/halamphora> (date of circulation: 05.06.2023).
- [29] Spaulding S. Amphora. Diatoms of North America [Electron. resource]. – 2011b. – URL: <https://diatoms.org/genera/amphora> (date of circulation: 05.06.2023).
- [30] Kulikovskiy M. S., Glushchenko A. M., Genkal S. I., Kuznetsov I. V., Dorofeyuk N. I., Papanin I. D. Identification book of diatoms from Russia. – Yaroslavl: Filigran, 2016. – 803 p. (in Russ.).
- [31] Guiry M. D., Guiry G. M. AlgaeBase. World-wide electronic publication, National University of Ireland, Galway [Electron. resource]. – 2022. – URL: <https://www.algaebase.org> (date of circulation: 13.06.2024).
- [32] WoRMS Editorial Board World Register of Marine Species [Electron. resource]. – 2023. – URL: <https://www.marinespecies.org> <https://doi.org/10.14284/170> (date of circulation: 13.06.2024).

REFERENCES

- [1] Stepanyan O. V. Macrophytobenthos of the Caspian Sea: diversity, distribution, productivity // *Oceanology*. 2016. Vol. 56, No. 3. P. 429-439 (in Russ.).
- [2] Lebedev S. A., Kostyanov A. G., Ginzburg A. I. Dynamics of the Caspian Sea based on instrumental measurements, modeling results and remote sensing data // *Proc. III int. scientific-practical conf. "Applied aspects of geology, geophysics and geoecology using modern information technologies"*, Maikop, 2015. P. 146-179 (in Russ.).
- [3] Lebedev S. A. Spatial heterogeneity of interannual variability of the Caspian Sea level based on satellite altimetry data // *Bulletin of Tver State University. Series "Geography and Geoecology"*. 2015. No. 2. P. 13-21 (in Russ.).
- [4] Chen J. L., Pekker T., Wilson C. R., Tapley B. D., Kostianov A. G., Cretaux J.-F., Safarov E. S. Longterm Caspian Sea level change // *Geophysical Research Letters*. 2017. Vol. 44. P. 6993-7001. <https://doi.org/10.1002/2017GL073958>
- [5] Frolov A. V. Scenario forecasts of Caspian Sea level fluctuations taking into account climatic and anthropogenic impacts on the water balance of the sea // *Oceanological research*. 2019. Vol. 47, No. 5. P. 130-148 (in Russ.).
- [6] Lebedev S. A., Kostianov A. G. Investigation of seasonal and interannual variability of water exchange through the Middle Caspian based on satellite altimetry // *Sovremennye problemy distantsionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa*. 2020. Vol. 17, No. 6. P. 103-109.
- [7] Ginzburg A. I., Kostianov A. G., Serykh I. V., Lebedev S. A. Climatic changes in the hydrometeorological parameters of the Caspian Sea (1980–2020) // *Current problems in remote sensing of the Earth from space*. 2021. No. 18(5). P. 277-291. <https://doi.org/10.21046/2070-7401-2021-18-5-277-291> (in Russ.).
- [8] Kostianov A. G., Eremina T. R., Ivanov V. V., Lobanov V. B., Krovnin A. S., Amosova V. M., Afanasiev D. F., Barabanov V. V., Belousov V. N., Voloshchuk E. V., Ginzburg A. I., Gordeeva S. M., Dolgov A. V., Zhukova S. V., Zezera A. S., Zuenko Yu. I., Lardygina E. G., Lebedev S. A., Luchin V. A., Mezentseva L. I., Mikhailova A. V., Razinkov V. P., Rostov I. D., Serykh I. V., Trusenkova O. O., Ustinova E. I., Khen G. V. Marine natural systems. The third assessment report on climate change and its consequences on the territory of the Russian Federation / Ed. V. M. Kattsov; Roshydromet. St. Petersburg: Science-intensive technologies, 2022. P. 192-238 (in Russ.).
- [9] Kruglova E., Myslenkov S. Influence of long-term wind variability on the storm activity in the Caspian Sea // *Water*. 2023. No. 15. P. 21-25. <https://doi.org/10.3390/w15112125>
- [10] Ermakov V. B. Long-term changes in the Caspian Sea level and modern options for their forecasting // *Bulletin of the Russian Academy of Sciences. Geographical Series*. 2023. No. 87(6). P. 930-940. <https://doi.org/10.31857/S2587556623060067>. EDN: EGCZBH (in Russ.).
- [11] Chen J., Cazenave A., Wang S.-Y., Li J. Caspian Sea Level Change Observed by Satellite Altimetry // *Remote Sensing*. 2023. No. 15(3). P. 703. <https://doi.org/10.3390/rs15030703>
- [12] Pavlova A., Myslenkov S., Arkhipkin V., Surkova G. Storm Surges and Extreme Wind Waves in the Caspian Sea in the Present and Future Climate // *Civil Engineering Journal*. 2022. Vol. 8, No 11. P. 2353-2377. DOI: 10.28991/CEJ-2022-08-11-01
- [13] Zinova A. D. Identifier of green, brown and red algae of the southern seas of the USSR. M.-L.: Nauka, 1967. 398 p. (in Russ.).
- [14] Zinova A. D., Zaberzhinskaya E. B. New algae species for the Caspian Sea // *News of taxonomy of lower plants*. 1965. P. 97-100 (in Russ.).
- [15] Zinova A. D., Zaberzhinskaya E. B. New species of red algae from the Caspian Sea // *News of taxonomy of lower plants*. 1968. P. 28-33 (in Russ.).
- [16] Blinova E. I. Macrophyte algae and herbs of the seas of the European part of Russia. M.: 2007. 114 p. (in Russ.).

- [17] Verlaque M., Ruitton S., Mineur F., Boudouresque C.F. CIESM atlas of exotic species in the Mediterranean. Macrophytes. CIESM, Monaco, 2015. 362 p.
- [18] Komárek J., Anagnostidis K. Modern approach to the classification system of the cyanophytes 4 // Nostocales. *Algol. Stud.* 1989. No. 56. P. 247-345.
- [19] Komárek J., Anagnostidis K., Ettl H., Gärtner G., Heynig H., Mollenhauer D. Cyanoprokaryota 1. Chroococcales / Ed. Süßwasserflora von Mitteleuropa, 1998. No. 19/1. 548 p.
- [20] Komárek J., Anagnostidis K., Büdel B., Krienitz L., Gärtner G., Schagerl M. Cyanoprokaryota. 2. Oscillatoriales // Süßwasserflora von Mitteleuropa. 2005. Np. 19/2. 759 p.
- [21] Komárek J., Büdel B., Gärtner G., Krienitz L., Schagerl M. Cyanoprokaryota: 3rd Part: Heterocystous Genera // Süßwasserflora von Mitteleuropa, Bd. 19 (3), Springer Spektrum. Berlin: Heidelberg, 2013. 1130 p.
- [22] Witkowski A., Lange-Bertalot H., Metzeltin D. Diatom Flora of Marine Coasts I Iconographia Diatomologica. 2000. No. 7. 925 p.
- [23] Krammer K., Lange-Bertalot H. Bacillariophyceae 4. Teil: Achnanthaceae, Kritische Ergänzungen zu Navicula (Lineolatae), Gomphonema Gesamtliteraturverzeichnis Teil 1-4 [second revised edition]. Süßwasserflora von Mitteleuropa. Spektrum Akademischer Verlag Heidelberg, 2004. 468 p.
- [24] Spaulding S., Edlund M. Navicula. In: Diatoms of North America [Electron. resource]. 2008a. URL: <https://diatoms.org/genera/navicula> (date of circulation: 05.06.2023).
- [25] Spaulding S., Edlund M. Mastogloia. In: Diatoms of North America [Electron. resource]. 2008. URL: <https://diatoms.org/genera/mastogloia> (date of circulation: 05.06.2023).
- [26] Spaulding S., Edlund M. Navicymbula. In: Diatoms of North America [Electron. resource]. 2008. URL: <https://diatoms.org/genera/navicymbula> (date of circulation: 05.06.2023).
- [27] Spaulding S., Edlund M. Nitzschia. Diatoms of North America [Electron. resource]. 2008d. URL: <https://diatoms.org/genera/nitzschia> (date of circulation: 05.06.2023).
- [28] Spaulding S. Halamphora. Diatoms of North America. America [Electron. resource]. 2011. URL: <https://diatoms.org/genera/halamphora> (date of circulation: 05.06.2023).
- [29] Spaulding S. Amphora. Diatoms of North America [Electron. resource]. 2011b. URL: <https://diatoms.org/genera/amphora> (date of circulation: 05.06.2023).
- [30] Kulikovskiy M.S., Glushchenko A.M., Genkal S.I., Kuznetsov I.V., Dorofeyuk N.I., Papanin I.D. Identification book of diatoms from Russia. Yaroslavl: Filigran, 2016. 803 p. (in Russ.).
- [31] Guiry M.D., Guiry G.M. AlgaeBase. World-wide electronic publication, National University of Ireland, Galway [Electron. resource], 2022. URL: <https://www.algaebase.org> (date of circulation: 13.06.2024).
- [32] WoRMS Editorial Board World Register of Marine Species [Electron. resource]. 2023. URL: <https://www.marinespecies.org> <https://doi.org/10.14284/170> (date of circulation: 13.06.2024).

Ф. В. Сапожников¹, П. О. Завьялов², А. К. Курбаниязов^{*3}, Н. К. Курбаниязов⁴

¹ Б. ф. к., жетек.ғ.қ. (РФА П. П. Шыршов атындағы Океанология институты, Мәскеу, Ресей; fil_aralsky@mail.ru)

² Г. ф. д., директордың орынбасары (РФА П. П. Шыршов атындағы Океанология институты., Мәскеу, Ресей; peter@ocean.ru)

^{3*} Г. ф. к., профессор (Қожа Ахмет Ясауи атындағы Халықаралық Қазақ-Түрік университеті Халықаралық туризм және меймандостық университеті, Түркістан, Қазақстан; abylgazy.kurbanyazov@ayu.edu.kz)

⁴ Докторант (Әл-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университеті, Алматы, Қазақстан; tif.nur@mail.ru)

ШЫҒЫС КАСПИЙДІҢ ЖАҒАЛАУ АЙМАҒЫНДАҒЫ ДРЕЙФТІ ЖІП ТӘРІЗДІ БАЛДЫРЛАР ДЕРБЕС ЖОҒАРҒЫ ПЕЛАГИЯЛЫҚ ҚАУЫМДАСТЫҚ РЕТІНДЕ

Аннотация. Орта Каспийдің жағалау аймағы қазіргі уақытта теңіз деңгейінің төмендеуіне байланысты айтарлықтай өзгерістерге ұшырауда. Таяздау кезінде су ағындарының түпкі ландшафттарға әсер ету сипаты өзгереді, оның ішінде дауыл толқындарының олардың түбіндегі қауымдастықтар мекендейтін беттеріне әсерінің күшеюі. Домалау және дауыл толқындарының түбі балдырларға әсері де артып келеді. Бұрын Орта Каспий теңізінің шығыс жағалауында 10-12 м тереңдікте көптеп таралған жазық жартасты платформаларды қоса алғанда, су астындағы жыныстарда өскен түбі макрофиттік балдырлардың сеноздары бұрын тек ерекше күшті дауыл толқындарына ұшыраған. Қазір олардың мекендейтін жерлері айтарлықтай таяз тереңдікте (шамамен 7,5-9,5 м) орналасқан, бұл макрофит талломдарының жиі және жаппай бөлінуіне және олардың пелагикалық аймаққа көшуіне әкелді. Жылдың әр мезгілінде жасыл және қызыл балдырлардың тірі талломдарының су бағанының жоғарғы қабаттарына жаппай көшуі фитопелагиялық аймақтың жер бетіне жақын қабатын әртүрлі құрылымдайтын қауымдастықтың жаңа типінің қалыптасуына әкелді. Жаңа сеноздар – оларда мол өсетін микроэпифитті комплексі бар метаморфизмге ұшыраған жіп тәрізді талломдар жиынтығы, олар судың жер бетіне жақын қабатында ұзақ уақыт өмір сүреді, пелагикалық балықтарға қорек болады және

жағалаудағы ландшафттарға айтарлықтай әсер етеді. Төменгі жағында макрофиттердің жаппай дамуы және олардың пелагикалық аймақта одан әрі қарқынды дамуы, өз кезегінде, ірі елді мекендердің аудандарында жағалау аймағының эвтрофикациясының күшеюіне байланысты болуы мүмкін.

Түйін сөздер: Каспий теңізі, деңгейдің төмендеуі, фитобентос, макрофиттер, күлгін балдырлар, жасыл балдырлар, фитопелагиялық, микроэпифиттер, эвтрофикация.

F. V. Sapozhnikov¹, P. O. Zavyalov², A. K. Kurbaniyazov^{*3}, N. K. Kurbaniyazov⁴

¹ PhD, Leading Researcher (P. P. Shirshov Institute of Oceanology of the Russian Academy of Sciences, Moscow, Russian; *fil_aralsky@mail.ru*)

² Doctor of Geographical Sciences, Deputy Director (P. P. Shirshov Institute of Oceanology of the Russian Academy of Sciences, Moscow, Russian; *peter@ocean.ru*)

^{3*} PhD, Professor (International Kazakh-Turkish University named after Khoja Ahmed Yasawi, International University of Tourism and Hospitality, Turkestan, Kazakhstan; *abylgazy.kurbanyazov@ayu.edu.kz*)

⁴ Doctoral student (al-Farabi Kazakh National University, Almaty, Kazakhstan; *tif.nur@mail.ru*)

DRIFTING FILAMENTOUS ALGAE IN THE COASTAL ZONE OF THE EASTERN CASPIAN SEA AS AN INDEPENDENT UPPER PELAGIC COMMUNITY

Abstract. The coastal zone of the Middle Caspian is currently undergoing significant changes due to falling sea levels. With shallowing, the nature of the influence of water flows on bottom landscapes changes, including the intensification of the impact of storm waves on their surfaces inhabited by bottom communities. The impact of rolling and storm waves on bottom algae is also increasing. Cenoses of bottom macrophyte algae, which was previously growing on underwater rocks, including flat rock platforms, which abound along the eastern coast of the Middle Caspian, at depths of 10-12 m, were previously affected only by particularly strong storm waves. Now their habitats are at a significantly shallower depth (about 7.5-9.5 m), which led to more frequent and massive detachments of macrophyte thalli and their transfer to the pelagic zone. Mass transfer of living thalli of green and red algae to the upper layers of the water column during different seasons of the year led to the formation of communities of a new type, differently structuring the surface layer of the phytopelagic zone. New cenoses are a set of metamorphosed thalli of filamentous algae with a microepiphytic complex abundantly growing on them, live in the surface layer of water for a long time, serve as food for pelagic fish and have a significant impact on coastal landscapes. Mass development of macrophytes on the bottom, and their further intensive development in the pelagic zone, in turn, can be caused by increased eutrophication of the coastal zone in areas of large settlements.

Keywords: Caspian Sea, water level drop, phytobenthos, macrophytes, red algae, green algae, phytopelagic, microepiphytes, eutrophication.

Хроника Хроника Chronicle

Семинар «Капли будущего» на тему «Вода, продовольствие и энергия» при поддержке ОБСЕ и Швейцарии на полях 3-й Международной конференции высокого уровня Международного десятилетия действий «Вода для устойчивого развития» (3-я Душанбинская водная конференция) 6-7 июня 2024 г.

Целью семинара «Капли будущего» являлись экспертный вклад и интерактивные занятия, разработка ориентированного на будущее, объединяющего видения молодых людей по устойчивой взаимосвязи воды, продовольствия и энергии на основе дальновидных элементов, уже существующих в различных секторах; возможности сетевого взаимодействия с экспертами и молодыми специалистами из других стран; изучение применения взаимосвязи «вода – энергия – продовольствие».

Результаты семинара представлены на 3-й Душанбинской водной конференции, которая состоялась 10-13 июня 2024 года.

От АО «Институт географии и водной безопасности» в семинаре и на 3-й Душанбинской конференции приняли участие руководитель лаборатории региональных климатических изменений, PhD Наурозбаева Ж. К. и СНС лаборатории водных ресурсов Нурбаcina А. А.



Семинар «Капли будущего» 6 июня 2024 г.

6 июня была представлена информация об изменении климата в регионе Центральной Азии – Женевский водный центр; о воде в Центральной Азии – количество, сезонность, использование, управление; продовольствие и его связь с водой и энергией – ирригация, удобрения, продовольственные системы и их трансформация – ФАО; энергетика в Центральной Азии – наличие, использование, переход, управление.

**3-я Международная конференция высокого уровня
по Международному десятилетию действий «Вода
для устойчивого развития», 2018-2028 гг.
10-13 июня 2024 г.**

Душанбинский водный процесс – это инициатива Правительства Республики Таджикистан для поддержки реализации целей Международного десятилетия действий «Вода для устойчивого развития», 2018-2028 гг. посредством серии конференций, проводимых каждые два года Правительством Таджикистана в тесном сотрудничестве с Организацией Объединенных Наций. Сопредседателями конференций являются премьер-министр Республики Таджикистан и заместитель Генерального секретаря ООН, глава Департамента по экономическим и социальным вопросам ООН.

Душанбинская конференция нацелена на обмен передовым опытом и инновационными решениями, укрепление партнерства между заинтересованными сторонами, повышение роли воды в устойчивом развитии, осведомленности и мобилизации политической воли для ускорения прогресса в достижении связанных с водой целей Повестки дня на 2030 год и внесение вклада в политический форум высокого уровня по устойчивому развитию в 2024 г. и подготовительный процесс Водной конференции ООН в 2026 г.

3-я Душанбинская конференция по водному Десятилетию действий также станет механизмом, побуждающим правительства, Организацию Объединенных Наций и всех других партнеров воплощать намерения в действия и стимулировать принятие новых обязательств, которые будут зарегистрированы в Повестке дня действий по водным ресурсам.

В рамках 3-й Душанбинской конференции по водному десятилетию действий прошли пять интерактивных диалогов, которые соответствуют диалогам Водной конференции ООН 2023 года. Темы интерактивных диалогов 3-й Душанбинской конференции по водному Десятилетию действий идентичны темам интерактивных диалогов Водной конференции ООН 2023 г.

Диалоги проходили два дня, и сопредседатели интерактивных диалогов Водной конференции ООН 2023 г. из Королевства Великобритания, Доминиканской Республики, Европейского союза, Китайской Народной Республики, Японии, Египта, Швейцарии, Сенегала, Америки и Сингапура участвовали в конференции, чтобы обеспечить преемственность.



Выступление Президента Таджикистана Э. Рахмона на открытии конференции



Делегация Республики Казахстан



Сотрудник Института географии
и водной безопасности Наурузбаева Ж. К.

Интерактивные диалоги посвящены реализации целей и задач Международного водного десятилетия действий, обзору прогресса, стимулированного Водной конференцией ООН 2023 г., в частности реализации Повестки действий по водным ресурсам, выявлению вызовов и возможностей в их реализации, обмену передовым опытом и инновационными решениями и укреплению партнёрских отношений между заинтересованными сторонами для реализации целей, связанных с водой.

11 июня 2024 г. в рамках 3-й Международной конференции высокого уровня по Международному десятилетию действий «Вода для устойчивого развития», 2018-2028 гг. Республика Таджикистан совместно с Азербайджанской Республикой, Объединенными Арабскими Эмиратами, Королевством Нидерландов и SIWI провела параллельное мероприятие под названием «Наращивание импульса – от COP 28 к COP 29: продвижение водных итогов для борьбы с изменением климата».

Параллельное мероприятие было направлено на развитие импульса, достигнутого на 28-й Конференции сторон Рамочной конвенции ООН об изменении климата (COP 28), которая проходила в Дубае, ОАЭ в декабре 2023 г. и способствовало преумножению положительных результатов на COP 29, которая состоится в этом году в городе Баку Азербайджанской Республики.

12 июня 2024 г. в Академии государственного управления при президенте Республики Таджикистан, в партнерстве с Международным институтом водного хозяйства, Швейцарским агентством по развитию и сотрудничеству и Институтом водных проблем, гидроэнергетики и экологии Национальной академии наук Республики Таджикистан прошла встреча членов сети академического сообщества для представителей ведущих международных, региональных и национальных исследовательских институтов для укрепления их связей и обмена научной информацией, создания более благоприятных условий для межинституциональных и междисциплинарных исследований в будущем.

На форуме от Института географии и водной безопасности приняла участие СНС лаборатории водных ресурсов Нурбагина А. А. с докладом «Современные инновационные технологии, применяемые в водном хозяйстве РК», в котором представила основные подходы к внедрению инновационных водосберегающих технологий и применению принципов интегрированного управления водными ресурсами в Казахстане с нексус подходом.



Выступление Нурбацовой А. А. с докладом «Современные инновационные технологии, применяемые в водном хозяйстве РК»

Итоги интерактивных диалогов представлены на церемонии закрытия и отражены в итоговых документах 3-й Душанбинской конференции по водному десятилетию действий. 13 июня 2024 г. была принята и подписана декларация.

*Наурызбаева Ж.К.,
PhD, руководитель лаборатории
региональных климатических изменений;
Нурбацова А.А.,
СНС лаборатории водных ресурсов*

МАЗМҰНЫ – СОДЕРЖАНИЕ – CONTENTS

Гидрология и водное хозяйство
Гидрология және су шаруашылығы
Hydrology and water management

- Давлетгалиев С. К., Турсунова А. А., Базарбек А. Т.* Оценка и прогноз месячного стока бассейна р. Арыс методом канонического разложения..... 3
(*Davletgaliyev S. K., Tursunova A. A., Bazarbek A. T.* Assessment and forecast of the monthly runoff of the arys river basin by the canonical decomposition method)
- Медеу А. Р., Әлімқұлов С. Қ., Махмудова Л. К., Баспакова Г. Р.* Гидрологиялық бақылау жүйесінің қазіргі жағдайы..... 14
(*Medeu A. R., Alimkulov S. K., Makhmudova L. K., Baspakova G. R.* The current state of the hydrological observation system)
- Холопцев А. В., Наурызбаева Ж. К.* Связи межгодовых вариаций среднемесячных уровней Каспия, сумм атмосферных осадков в его бассейне и их изменения при современном потеплении климата..... 21
(*Kholoptsev A. V., Naurozbayeva Zh. K.* Correlations of interannual variations in average monthly levels of the Caspian sea, as well as the total precipitation in its basin, and their changes under modern climate warming)
- Жабасов А. М., Ерменбай А. М., Жакибаева А. Ж., Ливинский Ю. Н.* Использование технологий искусственного восполнения подземных вод для обводнения пастбищ Центрального Казахстана)..... 37
(*Jabassov A. M., Yermenbay A. M., Zhakibayeva A. Zh., Livinsky Yu. N.* Use of artificial groundwater recharge technologies for central Kazakhstan pastures watering)

Опасные экзогеодинамические процессы
Қауіпті экзогеодинамикалық процестер
Dangerous exogeodynamic processes

- Тарихазер С. А., Мамедов С. Г., Гамидова З. А.* Применение количественного метода в исследовании оползневой восприимчивости бассейна реки Агсучай..... 45
(*Tarikhazer S. A., Mammadov S. G., Gamidova Z. A.* Application of a quantitative method in studying landslide susceptibility of the Agsuchay River basin)

Палеогеография и геоморфология
Палеогеография және геоморфология
Paleogeography and geomorphology

- Абитбаева А. Д., Бектурсынова А. А., Шарапханова Ж. М., Егембердиева К. Б.* Оценка и картографирование степени опасности геолого-геоморфологических процессов Чарынского государственного национального природного парка..... 58
(*Abitbayeva A. D., Bektursynova A. A., Sharapkhanova Zh. M., Yegemberdiyeva K. B.* Assessment and mapping of the dangerous geological and geomorphological processes of the Charyn SNNP)

Гляциология и геокриология
Гляциология және геокриология
Glaciology and geocryology

- Татькова М. Е., Северский И. В., Усманова З. С., Капица В. П.* Тестирование возможностей методики оперативного мониторинга горно-ледниковых систем..... 68
(*Tatkova M. Ye., Severskiy I. V., Usmanova Z. S., Kapitsa V. P.* Testing the capabilities of the method of operational monitoring of mountain glacier systems)

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

- Токбергенова А. А., Басова Т. А., Скоринцева И. Б., Рыскельдиева А. М.* Оценка современной ландшафтной структуры Западно-Казахстанского региона..... 84
(*Tokbergenova A. A., Bassova T. A., Skorintseva I. B., Ryskeldiyeva A. M.* Assessment of the modern landscape structure of the Western Kazakhstan region)

- Ахметова Д. С., Рамазанова Н. Е., Егинбаева А. Е., Кенжебай Р. Н.* Түркістан облысының ландшафттарының топырақ жамылғысы антропогендік факторлардың әсері салдарынан ластануы..... 96
(*Akhmetova D. S., Ramazanova N. Ye., Yeginbayeva A. Ye., Kenzhebay R. N.* Pollution of soil cover of landscapes in Turkestan region due to the influence of anthropogenic factors)

Климатология и метеорология
Климатология және метеорология
Climatology and meteorology

- Сальников В. Г., Полякова С. Е.* Современные климатические особенности ареалов произрастания потенциально лекарственных растений..... 108
(*Salnikov V. G., Polyakova S. Ye.* Modern climatic features of the habitats of potentially medicinal plants)
Долгих С. А., Белдеубаев Е. Е., Турумова Г. Е. Ожидаемые изменения в режиме температуры в бассейне реки Амудария по данным моделей СМIP6 к середине текущего столетия..... 125
(*Dolgikh S. A., Beldeubayev Ye. Ye., Turumova G. Ye.* Expected changes in the temperature regime in the Amu Darya River basin according to СMIP6 models by the middle of the current century)
Монкаева Г. Е. Влияние современного изменения климата на испарение с водной поверхности в Иле-Балкашском бассейне..... 139
(*Monkayeva G. Ye.* The impact of modern climate change on evaporation from water surface in the Ile-Balkash Basin)

География и туризм
География және туризм
Geography and tourism

- Сапожников Ф. В., Завьялов П. О., Курбаниязов А. К., Курбаниязов Н. К.*
Дрейфующие нитчатые водоросли в прибрежной зоне Восточного Каспия как самостоятельное верхнепелагическое сообщество..... 155
(*Sapozhnikov F. V., Zavyalov P. O., Kurbaniyazov A. K., Kurbaniyazov N. K.* Drifting filamentous algae in the coastal zone of the Eastern Caspian Sea as an independent upper pelagic community)

Хроника – Хроника – Chronicle

- Семинар «Капли будущего» на тему «Вода, продовольствие и энергия» при поддержке ОБСЕ и Швейцарии на полях 3-й Международной конференции высокого уровня Международного десятилетия действий «Вода для устойчивого развития» (3-я Душанбинская водная конференция) 6-7 июня 2024 г. 164
3-я Международная конференции высокого уровня по Международному десятилетию действий «Вода для устойчивого развития», 2018-2028 гг. 165

ПРАВИЛА ДЛЯ АВТОРОВ

В журнале публикуются статьи, посвященные проблемным вопросам географической науки и геоэкологии, а также научные сообщения теоретического, методического, экспериментального и прикладного характера, тематические обзоры, критические статьи и рецензии, в том числе в виде писем в редакцию, библиографические сводки, хроника научной жизни. Тексты статей и других материалов могут предоставляться на казахском, русском или английском языках. Редакция принимает материалы в электронном виде, набранные в текстовом редакторе Microsoft Word, в сопровождении идентичной бумажной версии. Поля: верхнее и нижнее – 2,4 см, правое и левое – 2,2 см. Текст (шрифт «Times New Roman») дается в одну колонку через межстрочный интервал 1,0 и для него устанавливается автоматический перенос. Страницы нумеруются. Материал статьи (текст, включая аннотации на казахском, русском и английском языках, рисунки, таблицы, список литературы) оформляется одним файлом. Объем статьи со всеми структурными элементами не должен превышать 50 000 знаков с пробелами (до 12 стр.), других материалов – 20 000 знаков с пробелами (до 4 стр.).

Рукописи статей оформляются следующим образом: 1) УДК (выравнивание текста «левый край», кегль 10); 2) через один интервал инициалы и фамилии всех авторов через запятую (выравнивание текста «по центру», начертание «полужирный», регистр «начинать с прописных», кегль 11; если авторов несколько, после фамилии каждого указывается надстрочным индексом порядковый номер арабской цифрой); 3) через один интервал – ученое звание и степень автора, должность, в скобках – полное название организации, в которой он работает, город, страна (выравнивание текста «по центру», кегль 10; если авторов несколько, сведения даются о каждом из них отдельной строкой через одинарный интервал, а начинается каждая строка с надстрочного индекса порядкового номера после фамилии автора); 4) через один интервал – название статьи без переноса (выравнивание текста «по центру», начертание «полужирный», регистр «все прописные», кегль 14); 5) через один интервал – аннотация из 5–10 предложений, объемом до 1200 знаков с пробелами (начинать абзац следующим образом: «Аннотация. ... (каз. яз.)», «Аннотация. ... (рус. яз.)», «Abstract. ... (англ. яз.)») на том языке, на котором написан основной текст рукописи (абзац «0,75 см», выравнивание текста «по ширине», регистр «все строчные», кегль 10); 6) через один интервал 5–7 ключевых слов (начинать абзац следующим образом: «Түйін сөздер: ...», «Keywords: ...», «Ключевые слова: ...»), сортированных по алфавиту, на том языке, на котором написан основной текст рукописи (абзац «0,75 см», выравнивание текста «по ширине», регистр «все строчные», кегль 10).

Основной текст разбивается на структурные элементы: введение, постановка проблемы, методика исследований, источники данных, результаты исследований, обсуждение результатов, заключение (выводы), источник финансирования исследований (при необходимости), список литературы. Перед списком литературы может помещаться благодарность лицам и организациям, оказавшим помощь в написании статьи. Необщепринятые аббревиатуры должны расшифровываться в тексте при первом упоминании. Параметры текста: абзац «0,75 см», выравнивание «по ширине», регистр «как в предложениях», кегль 11.

Под заголовком «ЛИТЕРАТУРА» приводится список источников, на которые есть ссылки в тексте. Литература приводится сначала на языке оригинала, затем дублируется на английском языке «REFERENCES» (абзац «0,75 см», выравнивание «по ширине», регистр «как в предложениях», кегль 9). В тексте ссылки на номера списка даются в квадратных скобках. Запись каждой библиографической ссылки в списке начинается с ее порядкового номера в тексте: «[1] Петрова С.Н. Научно-исследовательская деятельность ...»). Список литературы оформляется по ГОСТ 7.1–2003 и тщательно выверяется автором. Транслитерация не допускается!

Далее следует резюме. Для статьи, предоставленной на *казахском языке*, требуются русский и английский переводы; на *русском языке* – казахский и английский переводы; на *английском языке* – казахский и русский переводы. Для авторов из зарубежья резюме на казахский язык переводится в редакции в соответствии с предоставленным на русском и английском языках. Структура двуязычных резюме: инициалы и фамилии всех авторов через запятую (после фамилии каждого указывается надстрочным индексом порядковый номер арабской цифрой); ученое звание и степень автора, должность, в скобках – полное название организации, в которой он работает, город, страна (если авторов несколько, сведения даются отдельной строкой через одинарный интервал, а начинается каждая строка с надстрочного индекса порядкового номера после фамилии автора); название статьи; аннотация, приведенная в начале статьи (начинать абзац следующим образом: «Аннотация. ... (каз. яз.)», «Аннотация. ... (рус. яз.)», «Abstract. ... (англ. яз.)»); ключевые слова, приведенные в начале статьи (начинать абзац следующим образом: «Түйін сөздер: ...», «Keywords: ...», «Ключевые слова: ...»).

Таблицы набираются в формате Microsoft Word (не Microsoft Excel), кегль 9. В статье даются ссылки на все таблицы. Располагать их следует сразу после упоминания в тексте или на следующей странице. Название таблицы должно отражать ее содержание, быть точным, кратким. Например, «Таблица 1 – Средний многолетний расход р. Жайык, м³/с». Размещать его следует над таблицей, без абзацного отступа (выравнивание текста «по центру», кегль 9). Не допускается перенос части таблицы на следующую страницу. Большие таблицы допускается размещать на всю страницу с ориентацией «альбомная». Таблицы и графы в них должны иметь заголовки, сокращения слов не допускаются. Повторяющийся в разных строках графы таблицы текст из одного слова после первого написания допустимо заменять кавычками. Если он состоит из двух и более слов, то при первом повторении его заменяют словами «то же», а далее – кавычками. Ставить кавычки вместо повторяющихся цифр, марок, знаков, математических и химических символов не допускается. Если данные в какой-либо строке таблицы не приводят, то в ней ставят прочерк.

Рисунки должны быть выполнены в хорошем качестве, а их общее количество не превышать 5. Рисунки располагают непосредственно после текста, в котором они упоминаются впервые, или на следующей странице. Все надписи на рисунках должны хорошо читаться; по возможности их следует заменять буквами или цифрами, а необходимые пояснения давать в тексте или в подрисовочных подписях. В подрисовочной подписи необходимо четко отделить (новая строка) собственно название рисунка от объяснений к нему (экспликация). Подрисовочные подписи должны соответствовать тексту (но не повторять его) и изображениям. Например, «Рисунок 1 – Карта плотности населения в бассейне р. Жайык, чел. на 1 км²» (выравнивание текста «по центру», кегль 9). Фотографии должны быть четкими, без дефектов. Все рисунки также предоставляют отдельными файлами: для растровых изображений – в формате JPEG/TIFF/PSD, для векторных – в совместимом с Corel Draw или Adobe Illustrator. Разрешение растровых изображений в оттенках серого и RGB цветах должно быть 300 dpi, чёрно-белых – 600 dpi. Рекомендуемые размеры: ширина – 85, 120–170 мм, высота – не более 230 мм. При необходимости файлы могут быть заархивированы, предпочтительно в форматах ZIP или ARJ.

Математические обозначения и формулы нужно набирать в Microsoft equation и размещать в тексте отдельных строках, нумеруя только те, на которые есть ссылки в тексте. Русские и греческие буквы в формулах и статьях, а также математические символы и химические элементы набираются прямым шрифтом, латинские буквы – курсивом.

К статье следует приложить: 1) сопроводительное письмо; 2) рецензию на 1 стр.; 3) экспертное заключение об отсутствии секретных сведений в публикации, выданное организацией, в которой выполнена работа (в особых случаях возможно составление в редакции после внутреннего рецензирования); для нерезидентов Республики Казахстан экспертное заключение не требуется; 4) краткое заключение лаборатории (кафедры, отдела и др.), где выполнена представленная к публикации работа; 5) сведения о каждом авторе: ФИО (полностью), ученые степень и звание, должность и место работы, контактные E-mail, телефоны, факс.

Сданные в редакцию материалы авторам не возвращаются. Не соответствующие требованиям статьи не рассматриваются. Если статья отклонена, редакция сохраняет за собой право не вести дискуссию по мотивам отклонения.

Все материалы проходят внутреннее и внешнее рецензирование. Редакция просит авторов отмечать все изменения, внесенные в статью после исправления или доработки текста по замечаниям рецензента (напримр, 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, 050010, г. Алматы, ул. Пушкина, 99,

АО «Институт географии и водной безопасности».

Тел.: +7(727)2918129 (приемная); факс: +7(727)2918102

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 бел-гілі 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 20.09.2024 қол қойылды.
Пішіні 60x88¹/₈. Офсеттік басылым.
Баспа – ризограф. 11,0 п.л.
Таралымы 300 дана.

Подписано в печать 20.09.2024.
Формат 60x88¹/₈. Бумага офсетная.
Печать – ризограф. 11,0 п.л.
Тираж 300.

Passed for printing on 20.09.2024.
Format 60x88¹/₈. Offset paper.
Printing – risograph. 11,0 p/p.
Number of printed copies 300.

«Нурай Принт Сервис» ЖШС
баспаханасында басылып шықты.
050026, Алматы қ.,
Муратбаев көшесі 75, оф.3.
Тел.: +7(727)234-17-02

Отпечатано в типографии
ТОО «Нурай Принт Сервис».
050026, г. Алматы,
ул. Муратбаева, 75, оф. 3.
Тел.: +7(727)234-17-02

Printed in the publishing house
of the LLP «Nurai Print Service».
050026, Almaty,
Muratbaev str., 75, off. 3.
Tel.: +7(727)234-17-02