Қазақстан Республикасының Экология және табиғи ресурстар Министрлігі «Қазгидромет» Республикалық мемлекеттік кәсіпорны

Министерство экологии и природных ресурсов Республики Казахстан Республиканское государственное предприятие «Казгидромет»

Ministry of Ecology and natural resources Republic of Kazakhstan Republican State Enterprise "Kazgidromet"

ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЯ И ЭКОЛОГИЯ

Ежеквартальный
научно-технический журнал

ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЯ ЖӘНЕ ЭКОЛОГИЯ

әр тоқсанда шығарылатын
ғылыми-техникалық журнал

HYDROMETEOROLOGY AND ECOLOGY

Quarterly
scientific and technical journal

№2

Астана, 2024
Astana, 2024

ГЛАВНЫЙ РЕДАКТОР Д.К. Алимбаева

ЗАМ. ГЛАВНОГО РЕДАКТОРА С.Б. Саиров

РЕДАКЦИЯ Н.У. Кужагельдина
М.Қ.Нүрхан
Л.Б. Базарбай
А.К. Медетова

РЕДКОЛЛЕГИЯ

Н.Н. Абаев (Астана, Казахстан)
Р.Г. Абдрахимов (Алматы, Казахстан)
А.А. Волчек (Брест, Беларусь)
А.В. Галаева (Алматы, Казахстан)
А. Гафуров (Потсдам, Германия)
Е.Ж. Муртазин (Алматы, Казахстан)
Ж.С. Мустафаев (Алматы, Казахстан)
Ж.К. Наурозбаева (Алматы, Казахстан)
К. Опп (Марбург, ФРГ)
Е.В. Островская (Астрахань, Россия)
В.Г. Сальников (Алматы, Казахстан)
Б.С. Степанов (Алматы, Казахстан)
С.Г. Сафаров (Баку, Азербайджан)
А.Г. Терехов (Алматы, Казахстан)
А.В. Чередниченко (Алматы, Казахстан)
Р.К. Яфязова (Алматы, Казахстан)

ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЯ И ЭКОЛОГИЯ
№ 2 (113)

© Журнал издается с 1995 года.
Регистрационное свидетельство
№ KZ13VPY00070023 от 15 мая 2023 г.
Адрес редакции: 010000, Астана,
пр. Мәңгілік Ел, 11/1, к. 602
Телефон: (7172) 79-83-03;
E-mail: hydromet.journal@gmail.com
http://www.kazhydromet.kz
http://journal.kazhydromet.kz

EDITOR-IN-CHIEF D. Alimbayeva

DEPUTY CHIEF EDITORS S. Sairov

EDITORIAL STAFF
N. Kuzhageldina
M.Nurkhan
L. Bazarbay
A. Medetova

EDITORAL BOARD
N. Abayev (Astana, Kazakhstan)
R. Abdralhimov (Almaty, Kazakhstan)
A.Volchek (Brest, Belerus)
A.Galayeva (Almaty, Kazakhstan)
E.Murtazin (Almaty, Kazakhstan)
Zh. Mustafayev (Almaty, Kazakhstan)
Zh. Naurozbayeva (Almaty, Kazakhstan)
C. Opp (Marburg, Germany)
E. Ostrovskaya (Astrakhan, Russia)
V. Salnikov (Almaty, Kazakhstan)
B. Stepanov (Almaty, Kazakhstan)
S. Safarov (Baku, Azerbaijan)
A.Terekhov (Almaty, Kazakhstan)
A.Cherednichenko (Almaty, Kazakhstan)
R. Yafyazova (Almaty, Kazakhstan)

HYDROMETEOROLOGY AND ECOLOGY
№ 2 (113)

© Published since 1995.
Registration certificate
№ KZ13VPY00070023 from 15 may 2023.
Address: 010000, Astana,
Mangilik El Ave., 11/1 office 602
Phone (7172) 79-83-03
E-mail: hydromet.journal@gmail.com
http://www.kazhydromet.kz
http://journal.kazhydromet.kz

СОДЕРЖАНИЕ

НАУЧНЫЕ СТАТЬИ

А.Р. Загидуллина, К.М. Кулебаев

ОЦЕНКА ВЗАИМОСВЯЗИ ПОВЕРХНОСТНЫХ И ПОДЗЕМНЫХ ВОД РЕКИ СЫРДАРИЯ (В ПРЕДЕЛАХ КАЗАХСТАНА)..... 7

Н.Н. Медеу, А.Ғ. Елтай

ИССЛЕДОВАНИЕ НАВОДНЕНИЙ И ЗАТОПЛЕНИЙ НА РЕКЕ ЕСИЛЬ У ГОРОДА ПЕТРОПАВЛОВСК..... 16

Ж.С. Мустафаев

МЕТОДЫ ОПРЕДЕЛЕНИЯ РАДИАЦИОННОГО БАЛАНСА ПОЧВЕННОГО И РАСТИТЕЛЬНОГО ПОКРОВА СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ УГОДИЙ..... 25

Х.В. Мамедова

РОЛЬ ТЕМПЕРАТУРЫ ВОЗДУХА И ТОЧКИ РОСЫ ПРИ ОПРЕДЕЛЕНИИ ПОВТОРЯЕМОСТИ ТУМАНА НА АБШЕРОНСКОМ ПОЛУОСТРОВЕ (АЗЕРБАЙДЖАН)..... 34

С.М. Романова, Е.Г. Крупа, А.С. Серикова

РАСПРЕДЕЛЕНИЕ КРЕМНИЯ, ЖЕЛЕЗА И ОКИСЛЯЕМОСТИ В ВОДНЫХ ОБЪЕКТАХ ПАВЛОДАРСКОГО ПРИЕРТИСЬЯ..... 42

Н.А. Амиргалиев, А. Мұсақұлқызы, А. С. Мадибеков, Л. Т. Исмуханова, Б. М. Султанбекова

МНОГОЛЕТНЯЯ ДИНАМИКА ТРАНСГРАНИЧНОГО ПРИТОКА БИОГЕННЫХ СОЕДИНЕНИЙ ПО РЕКЕ ИЛЕ И ЕГО ТРАНСФОРМАЦИЯ ПО ТЕЧЕНИЮ РЕКИ..... 57

К. Абрамов, Н. Р. Юничева, Я. И. Кучин, Е. Мухамедиева

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЗОН ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ЗАКИСЛЕНИЯ НА УРАНОВЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЯХ КАЗАХСТАНА С ПРИМЕНЕНИЕМ МЕТОДОВ МАШИННОГО ОБУЧЕНИЯ..... 67

Н.А. Амиргалиев, А.С. Мадибеков, Л.Т. Исмуханова, А.Ө. Жәди, Б.М. Султанбекова

ПОЛИХЛОРИРОВАННЫЕ БИФЕНИЛЫ В ВОДНОЙ ЭКОСИСТЕМЕ ЗАПОВЕДНОГО ОЗЕРА МАРКАКОЛЬ И ВПАДАЮЩИХ В НЕГО РЕК..... 81

А.Е. Егинбаева, К.Т. Сапаров, А.М. Сергеева, А.Г. Абдуллина, Н.Ж. Женсикбаева, Е.К. Кейкин

ИСТОРИЯ ИЗУЧЕНИЯ ТОПОСИСТЕМЫ САРЫАРКИ..... 95

Ж. С. Мустафаев, И. Б. Скоринцева, А. Н. Омаров, А. Б. Тулетаев

ОЦЕНКА АГРОБИОЛОГИЧЕСКИХ РЕСУРСОВ ЛАНДШАФТОВ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ТУРКЕСТАНСКОЙ ОБЛАСТИ РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН В УСЛОВИЯХ ИЗМЕНЯЮЩЕГОСЯ КЛИМАТА..... 113

ОБЗОРНЫЕ СТАТЬИ

В. Г. Сальников, С. Е. Полякова, А. А. Ульман, А.М. Кауазов, М. О. Турсумбаева, Д. К. Кисебаев, Д. И. Миськив, Е.Е. Белдеубаев, Г.Т. Мусралинова, С. О. Кожагулов

МОНИТОРИНГ КАЧЕСТВА АТМОСФЕРНОГО ВОЗДУХА ЗАПАДНО-КАЗАХСТАНСКОГО РЕГИОНА: ПРИНЦИПЫ, МЕТОДЫ, ПОДХОДЫ..... 128

Р.К. Яфязова, Б.С. Степанов, С.А. Буралхиев

ОБЗОР СЕЛЕВОЙ ОПАСНОСТИ ДОЖДЕВОГО ГЕНЕЗИСА ПО ГОРНОЙ ТЕРРИТОРИИ РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН ЗА 2023 ГОД..... 150

МАЗМҰНЫ

ҒЫЛЫМИ МАҚАЛАЛАР

А.Р. Загидуллина, К.М. Кулебаев
СЫРДАРИЯ ӨЗЕНІНІҢ (ҚАЗАҚСТАН БӨЛІГІНДЕ) ЖЕР БЕТІ ЖӘНЕ ЖЕР АСТЫ СУЛАРЫНЫҢ ӨЗАРА БАЙЛАНЫСЫН БАҒАЛАУ..... 7

Н.Н. Медеу, А.Ғ. Елтай
ПЕТРОПАВЛ ҚАЛАСЫНЫҢ МАҢЫНДАҒЫ ЕСІЛ ӨЗЕНІНДЕГІ СУ ТАСҚЫНЫ МЕН СУ БАСУЫН ЗЕРТТЕУ..... 16

Ж.С. Мустафаев
АУЫЛ ШАРУАШЫЛЫҒЫ ЖЕРЛЕРІНІҢ ТОПЫРАҚ ЖӘНЕ ӨСІМДІК ЖАМЫЛҒЫСЫНЫҢ РАДИАЦИЯЛЫҚ БАЛАНСЫН АНЫҚТАУ ӘДІСТЕРІ..... 25

Х. В. Мамедова
АБШЕРОН ТҮБЕГІНДЕГІ (ӘЗІРБАЙЖАН) ТҰМАННЫҢ ҚАЙТАЛАНУЫН АНЫҚТАУДАҒЫ АУА ТЕМПЕРАТУРАСЫ МЕН ШЫҚ НҮКТЕСІНІҢ РӨЛІ..... 34

С.М. Романова, Е.Г. Крупа, А.С. Серікова
ПАВЛОДАР ОБЛЫСЫНДАҒЫ ЕРТІС ӨЗЕНІ БАССЕЙНІНІҢ СУ ОБЪЕКТІЛЕРІНДЕГІ КРЕМНИЙ, ТЕМІРДІҢ ТАРАЛУЫ ЖӘНЕ ОРГАНИКАЛЫҚ ЗАТТАРДЫҢ ТОТЫҒУ МӨЛШЕРІ..... 42

Н.А. Амиргалиев, А. Мұсақұлқызы, А. С. Мадибеков, Л. Т. Исмуханова, Б. М. Султанбекова
ІЛЕ ӨЗЕНІ БОЙЫНША БИОГЕНДІК ҚОСЫЛЫСТАРДЫҢ ТРАНСШЕКАРАЛЫҚ АҒЫНЫНЫҢ КӨПЖЫЛДЫҚ ДИНАМИКАСЫ ЖӘНЕ ОНЫҢ ӨЗЕН АҒЫСЫ БОЙЫНША ТРАНСФОРМАЦИЯСЫ..... 57

К. Абрамов, Н.Р. Юничева, Я. И. Кучин, Е. Мухамедиева
МАШИНАЛЫҚ ОҚЫТУ ӘДІСТЕРІН ҚОЛДАНА ОТЫРЫП, ҚАЗАҚСТАННЫҢ УРАН КЕН ОРЫНДАРЫНДА ТЕХНОЛОГИЯЛЫҚ ҚЫШҚЫЛДАНУ АЙМАҚТАРЫН АЙҚЫНДАУ..... 67

Н.А. Амиргалиев, А.С. Мадибеков, Л.Т. Исмуханова, А.Ө. Жәди, Б.М. Султанбекова
МАРҚАКӨЛ КӨЛІ ЖӘНЕ ОҒАН ҚҰЙЫЛАТЫН ӨЗЕНДЕРДІҢ СУ ЭКОЖҮЙЕСІНДЕГІ ПОЛИХЛОРЛЫ БИФЕНИЛДЕР..... 81

А.Е. Егинбаева, К.Т. Сапаров, А.М Сергеева, А.Г. Абдуллина, Н.Ж. Женсикбаева, Е. К. Кейкин
САРЫАРҚА ТОПОЖҮЙЕСІН ЗЕРТТЕУ ТАРИХЫ..... 95

Ж.С. Мустафаев, И.Б. Скоринцева, А.Н. Омаров, А.Б. Тулетаев
КЛИМАТТЫҢ ӨЗГЕРУІ ЖАҒДАЙЫНДА ҚАЗАҚСТАН РЕСПУБЛИКАСЫ ТҮРКІСТАН ОБЛЫСЫНЫҢ АУЫЛ ШАРУАШЫЛЫҒЫН ПАЙДАЛАНУ ЛАНДШАФТТАРЫНЫҢ АГРОБИОЛОГИЯЛЫҚ РЕСУРСТАРЫН БАҒАЛАУ..... 113

ШОЛУ МАҚАЛАЛАРЫ

В.Г. Сальников, С.Е. Полякова, А.А. Ульман, А.М. Кауазов, М.О. Турсумбаева, Д.К. Кисебаев, Д.И. Миськив, Е.Е. Белдеубаев, Г.Т. Мусралинова,С.О. Кожагулов
БАТЫС ҚАЗАҚСТАН ӨҢІРІНІҢ АТМОСФЕРАЛЫҚ АУА САПАСЫНЫҢ МОНИТОРИНГІ: ПРИНЦИПТЕРІ, ӘДІСТЕРІ, ТӘСІЛДЕРІ..... 128

Р.К. Яфязова, Б.С. Степанов, С.А. Буралхиев
2023 ЖЫЛЫ ҚАЗАҚСТАН РЕСПУБЛИКАСЫНЫҢ ТАУЛЫ АУМАҒЫ БОЙЫНША ЖАҢБЫР ГЕНЕЗИСТІ СЕЛ ҚАУІПТІЛІГІНЕ ШОЛУ..... 150

CONTENTS

SCIENTIFIC ARTICLES

A. Zagidullina, K. Kulebayev

ASSESSMENT OF THE RELATIONSHIP BETWEEN SURFACE AND GROUNDWATER OF THE SYRDARIA RIVER (WITHIN KAZAKHSTAN)..... 7

N. Medeu, A. Yeltay

STUDY ON FLOODS AND INUNDATIONS ON THE ESIL RIVER NEAR PETROPAVLOVSK CITY..... 16

Zh. Mustafayev

METHODS FOR DETERMINING THE RADIATION BALANCE OF SOIL AND VEGETATION COVER OF AGRICULTURAL LANDS..... 25

H. Mammadova

THE ROLE OF AIR TEMPERATURE AND DEW POINT DURING FOG RECURRENCES ON THE ABSHERON PENINSULA (AZERBAIJAN)..... 34

S. Romanova, E. Krupa, A.Serikova

DISTRIBUTION OF THE SILICON, IRON AND OXIDIZABILITY IN THE WATER BODIES OF THE PAVLODAR ERTIS REGION..... 42

N. Amirgaliyev, A. Mussakulkyzy, A. Madibekov, L. Ismukhanova, B. Sultanbekova

MULTIYEAR DYNAMICS OF TRANSBOUNDARY INFLOW OF BIOGENIC COMPOUNDS ALONG THE ILE RIVER AND ITS TRANSFORMATION ALONG THE RIVER COURSE..... 57

K. Abramov, N. Yunicheva, Y. Kuchin, E. Mukhamedieva

DETERMINATION OF TECHNOLOGICAL OXIDATION ZONES AT URANIUM DEPOSITS IN KAZAKHSTAN USING MACHINE LEARNING METHODS MACHINE LEARNING..... 67

N. Amirgaliev, A. Madibekov, L. Ismukhanova, A. Zhadi, B. Sultanbekova

POLYCHLORINATED BIPHENYLS IN THE AQUATIC ECOSYSTEM OF THE PROTECTED MARKAKOL LAKE AND ITS TRIBUTARIES..... 81

A. Yeginbayeva, K. Saparov, A. Sergeyeva, A. Abdullina, N. Zhensikbayeva, Ye. Keikin

THE HISTORY OF THE STUDY OF THE SARYARKA TOPOSYSTEM..... 95

Zh. Mustafayev, I. Skorintseva, A. Omarov, A. Tuletayev

ASSESSMENT OF AGROBIOLOGICAL RESOURCES OF AGRICULTURAL LANDSCAPES IN THE TURKESTAN REGION OF THE REPUBLIC OF KAZAKHSTAN UNDER CHANGING CLIMATE CONDITIONS..... 113

REVIEW ARTICLES

V. Salnikov1, S. Polyakova, A. Ullman, A. Kauazov, M. Tursumbayeva, D. Kisebayev, D. Miskiv, E. Beldeubayev, G. Musralinova, S. Kozhagulov

AIR QUALITY MONITORING IN THE WEST KAZAKHSTAN REGION: PRINCIPLES, METHODS, APPROACHES..... 128

R. Yafyazova, B. Stepanov, S. Buralhiev

REVIEW OF DEBRIS-FLOW HAZARD CAUSED BY RAINFALL IN THE MOUNTAIN TERRITORY OF THE REPUBLIC OF KAZAKHSTAN FOR 2023..... 150

УДК 556.5; 551.1/.4 **МРНТИ 38.61.01; 38.61.91**

ОЦЕНКА ВЗАИМОСВЯЗИ ПОВЕРХНОСТНЫХ И ПОДЗЕМНЫХ ВОД РЕКИ СЫРДАРИЯ (В ПРЕДЕЛАХ КАЗАХСТАНА)

А.Р. Загидуллина[1]*, К.М. Кулебаев[2]

[1] Институт географии и водной безопасности, Алматы, Казахстан
[2] Центрально-Азиатский Региональный Гляциологический Центр категории 2 под эгидой ЮНЕСКО, Алматы, Казахстан
E-mail: zagidullina_a_88@mail.ru

В работе осуществлены анализ и оценка взаимосвязи поверхностных и подземных вод реки Сырдария в пределах Казахстана. Произведен расчет доли подземного питания реки двумя методами: при помощи генетического расчленения гидрографа общего стока и посредством расчета меженного стока. Также рассчитана разница подземного стока в реку на участках между выбранными гидропостами. Произведено сравнение полученных результатов за условно-естественный и нарушенный периоды. В естественных условиях по длине реки Сырдария преобладала инфильтрация речного стока в подземные горизонты, однако под воздействием антропогенной деятельности картина поменялась на противоположную: по длине реки Сырдария преобладает разгрузка подземных вод, в том числе выклинивание фильтрационных вод ниже плотины Шардаринской ГЭС, коллекторно-дренажных и сбросных вод с полей орошения прилегающей территории. Также, по всей видимости, срезка пиков весеннего половодья приводит к повышению уровня грунтовых вод и увеличению доли подземного питания реки. Даны рекомендации к применению использованных в работе методов.

Ключевые слова: поверхностный сток, подземный сток, подземное питание, гидравлическая связь, водообмен, гидрограф стока, меженный сток.

Поступила: 21.02.24
DOI: 10.54668/2789-6323-2024-113-2-7-15

ВВЕДЕНИЕ

Речной сток образуется за счет поступления поверхностных и подземных вод с водосборной площади. К поверхностным относятся дождевые и талые воды, к подземным лишь та их часть, которая располагается в зоне активного водообмена и включает в себя грунтовые воды и верхние горизонты артезианских вод. Поступление подземных вод в поверхностные водотоки принято называть подземным питанием рек (Морозов П.Н., 1975; Аденова Д.К., 2018). Ввиду этого, в настоящей работе подземный сток не отождествляется с ресурсами подземных вод, а рассматривается как доля питания рек за счет подземных вод, поэтому более точное его определение звучит как «подземный сток в реки».

Взаимосвязь подземных и поверхностных вод состоит в том, что в зависимости от условий залегания и типа подземных вод, влияния климатических факторов и особенностей гидрологического режима водотоков происходит питание поверхностных водотоков подземными водами, или, наоборот, возникают потери речных вод на пополнение запасов подземных вод (Морозов П.Н., 1975; Аденова Д.К., 2018; Шестаков В.М., 1979; Попов О.В., 1968; Шестаков В.М., Поздняков С.П., 2003; Sophocleous, 2002). Посредством разгрузки подземных вод в поверхностные обеспечивается минимальный меженный сток реки, действующий почти круглый год (Лешан И.Ю., Ахметов Р.М., 2014; Джамалов Р.Г. и др, 2008). Фильтрация речных вод в подземные горизонты, среди прочего, обеспечивает существование прибрежных экосистем, что весьма актуально для аридных территорий (Гюльмамедов Ч.Д., 2018; Василевский П.Ю., 2021).

В данной работе исследована взаимосвязь поверхностных и подземных вод реки Сырдария – главной водной артерии Южного Казахстана, имеющей важное значение для обеспечения водной

безопасности всего региона. Основную площадь Сырдариинского бассейна занимают песчаные пустыни Кызылкумы и Приаральские Каракумы, поэтому данный район характеризуется подземным водоносным горизонтом песчаных и галечниковых аллювиальных отложений, приуроченных к пескам и песчаным галечникам мощностью 10...30 м и более. Грунтовые воды залегают на глубине до 5 м в прирусловой полосе и до 10 м и более в значительном удалении от р. Сырдария (Ахмедсафин У.М., 1970).

Поверхностные и подземные воды рассматриваемой реки Сырдария имеют тесную гидравлическую связь, водообмен активный. Питание подземных вод происходит за счет фильтрации речных вод и инфильтрации атмосферных осадков. Разгрузка осуществляется путем оттока в реки и выклинивания в виде родников с расходами от 0,8 до 40...50 л/с (Ахмедсафин У.М., 1970).

В связи с тем, что гидравлически связанные с рекой подземные воды напрямую зависят от изменений режима речного стока, необходимо учитывать факт зарегулированности стока (Попов О.В., 1968). Сток р. Сырдария нарушен с 1956 года (Кайраккумское вдхр.), поэтому расчетный период разделен на условно-естественный с 1930-х годов до 1955 г. и зарегулированный с 1956 до 2019 года.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Оценка подземного питания р. Сырдария производилась двумя методами: при помощи генетического расчленения гидрографа общего стока и посредством расчета меженного стока.

Метод генетического расчленения гидрографа общего стока рек сводится к выделению подземной составляющей на графике изменения расходов воды во времени. Метод относится к графоаналитическим, был разработан и теоретически обоснован профессором Б. И. Куделиным (Куделин Б.И., 1949) и сочетает в себе качественные обобщения по гидрогеологическим условиям формирования подземного стока в речном бассейне с количественной оценкой этого стока путем определения величины подземного питания данной реки на гидрографе в периоды устойчивой зимней и летней межени. Анализу подлежат типичные гидрографы среднемноголетних значений стока 50 %-ной обеспеченности. Выбор схемы расчленения гидрографов рек и выделения на них подземной составляющей производится гидрологами на основании рекомендаций гидрогеологов.

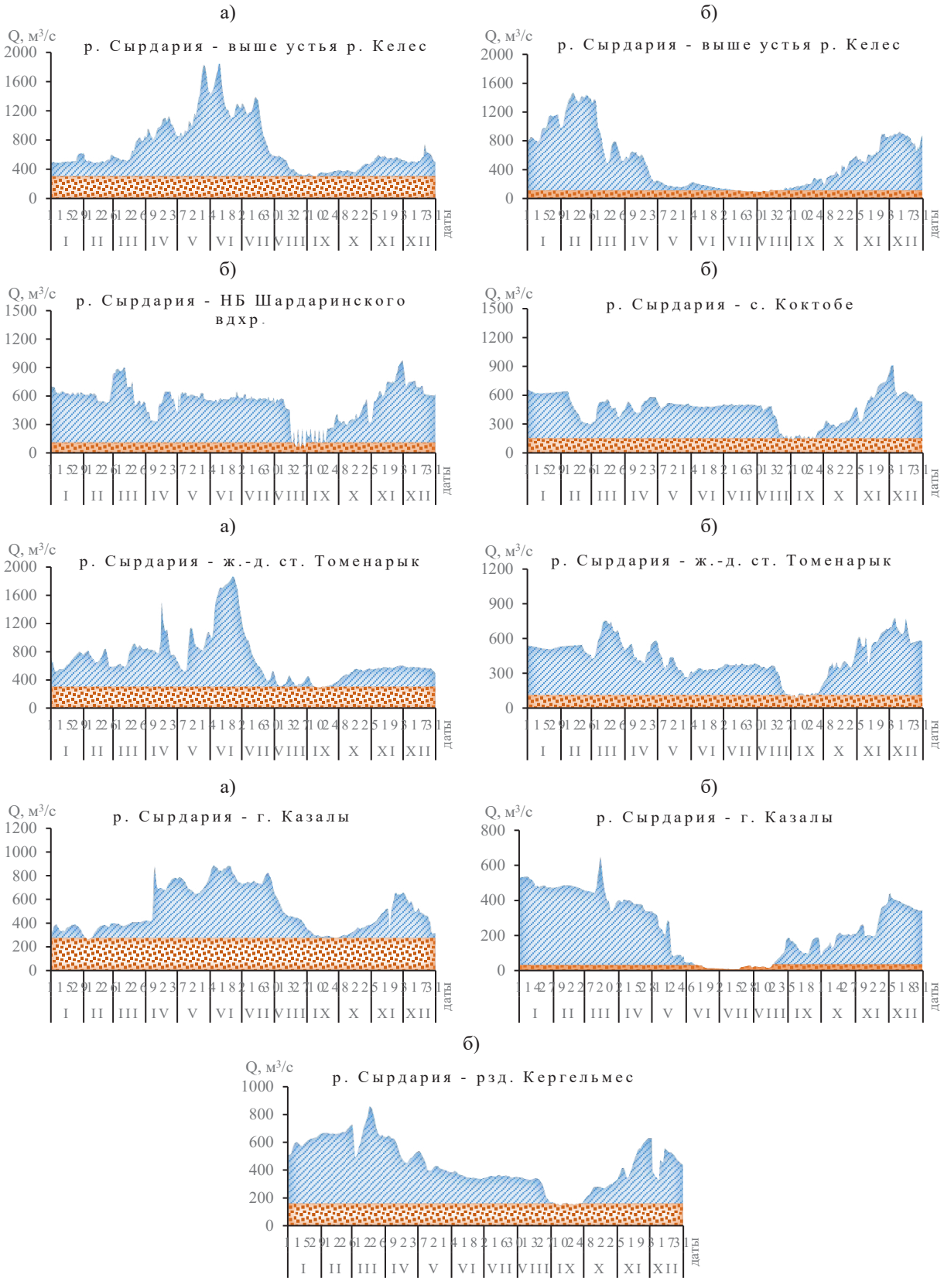
Еще одним способом определения подземного питания является расчет меженного стока рек, отождествляемого с величиной подземного стока. Считается, что меженный сток рек формируется за счет дренирования подземных вод всей водосборной площади речного бассейна и приходится на зимние месяцы, при этом другие источники питания поверхностных вод отсутствуют. В качестве показателя минимального подземного стока используются расходы 95 %-ной обеспеченности. Данный метод требует тщательного анализа условий формирования меженного стока и применим лишь в определенных случаях (Ахмедсафин У.М., 1970; Куделин Б.И., 1966), характерных для аридных территорий. Данный метод можно использовать при недостаточности данных наблюдений за стоком, когда расчленение гидрографов невозможно.

Для расчета подземного стока в реку Сырдария использованы данные наблюдений за суточными и месячными расходами воды, опубликованные в справочных изданиях «Многолетние данные о режиме поверхностных вод суши» (МДС), «Ежегодные данные о режиме поверхностных вод суши» (ЕДС), подготавливаемые и публикуемые УГМС КазССР (Том 5 – Казахская ССР, Выпуск 3 – Бассейны рек Сырдарья, Чу, Талас) до 1992 года, после – РГП «Казгидромет» (Выпуск 5 – Бассейн реки Сырдарья). Использованы данные о расходах воды на следующих гидропостах, расположенных по длине р. Сырдария: выше устья р. Келес, нижний бьеф Шардаринского вдхр., с. Коктобе, ж.-д. ст. Томенарык, рзд. Кергельмес, г. Казалы.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЯ

Согласно первому методу построены гидрографы общего стока р. Сырдария за условно-естественный и зарегулированный периоды при использовании данных о

суточных расходах воды за годы, соответствующие 50 %-ной обеспеченности стока. На графиках произведено выделение подземной и поверхностной составляющих (рисунок 1), рассчитаны их доли в процентных соотношениях и объемы в млн. м³ (таблица 1).



а) гидрографы условно-естественного стока, б) гидрографы зарегулированного стока

Рис.1. *Суточные гидрографы условно-естественного и зарегулированного стока р. Сырдария*

Таблица 1

Объемы и доли поверхностного стока и подземного питания р. Сырдария, рассчитанные по методу генетического расчленения гидрографа

Гидропост	Объем, млн. м^3			Доля в %	
	общий	поверхностного стока	подземного питания	поверхностного стока	подземного питания
за условно-естественный период					
р. Сырдария – выше устья р. Келес	22445	12984	9461	58	42
р. Сырдария – НБ Шардаринского вдхр.	действует с 1959 г.				
р. Сырдария – с. Коктобе	действует с 1974 г.				
р. Сырдария – ж.-д. ст. Томенарык	22114	12596	9519	57	43
р. Сырдария – рзд. Кергельмес	действует с 1961 г.				
р. Сырдария – г. Казалы	16190	7554	8636	47	53
за зарегулированный период					
р. Сырдария – выше устья р. Келес	16316	12873	3444	79	21
р. Сырдария – НБ Шардаринского вдхр.	16901	13552	3349	80	20
р. Сырдария – с. Коктобе	14705	9980	4725	68	32
р. Сырдария – ж.-д. ст. Томенарык	13701	10115	3586	74	26
р. Сырдария – рзд. Кергельмес	13889	8884	5005	64	36
р. Сырдария – г. Казалы	7904	6985	919	88	12

На гидрографах общего стока р. Сырдария за условно-естественный период, представленных на рисунке 1, а, хорошо прослеживаются максимальные расходы весеннего половодья и минимальные расходы осенне-зимней межени, что соответствует природному внутригодовому распределению стока равнинных рек Казахстана. Что касается подземного стока, то вниз по течению его объемы сокращаются с 9461 млн. м^3 до 8636 млн. м^3 пропорционально сокращению объемов поверхностного стока. Доля подземного питания колеблется в пределах 42...53 % (таблица 1).

Гидрографы общего стока р. Сырдария за нарушенный период представлены на рисунке 1, б. Ход суточных расходов воды на ГП выше устья р. Келес показывает, что максимальные значения приходятся на зимние месяцы, это связано с энергетическим режимом верхних водохранилищ, расположенных на территории Киргизии и Таджикистана. На нижерасположенных гидропостах картина иная, т.к. Шардаринское вдхр. с 1966 г. регулирует и перераспределяет сток на территории Казахстана согласно ирригационному режиму. Объем подземного стока варьируется от 5005 млн. м^3 до 919 млн. м^3 и в целом уменьшился в 2 и более раз по сравнению с условно-естественным периодом также, как и сократился общий сток р. Сырдария. В процентном соотношении доля подземного питания за нарушенный период колеблется в пределах 12...36 % (таблица 1).

По второму методу, согласно всем условиям и допущениям (Ахмедсафин У.М., 1970), производился расчет меженного стока за холодный (зимний) период, величина которого дает минимальное значение подземного стока, не учитывающего сезонное (весенне-летнее) питание подземных вод. Меженный сток за холодный (зимний) период определялся в основном с середины ноября до середины марта (120 суток), когда отрицательные температуры воздуха устойчивы. Считается, что в этот период другие источники питания поверхностных вод отсутствуют (Ахмедсафин У.М., 1970).

За условно-естественный период меженный сток определялся на основе анализа среднемесячных данных наблюдений за стоком. Для этого построены гидрографы месячного хода расходов воды, на них выделен подземный сток, действующий в зимний период (рисунок 2). Также, приняв допущение, что минимальный подземный сток составляет 95 %-ную величину от общего стока (Ахмедсафин У.М., 1970), были

рассчитаны его значения за зимний период. Полученные результаты отражены на гидрографах (рисунок 2), значения соответствуют подземному стоку зимней межени (таблица 2). То есть 95 %-ную величину вполне можно использовать для расчета минимального подземного питания при недостаточности или отсутствии суточных и месячных данных наблюдений.

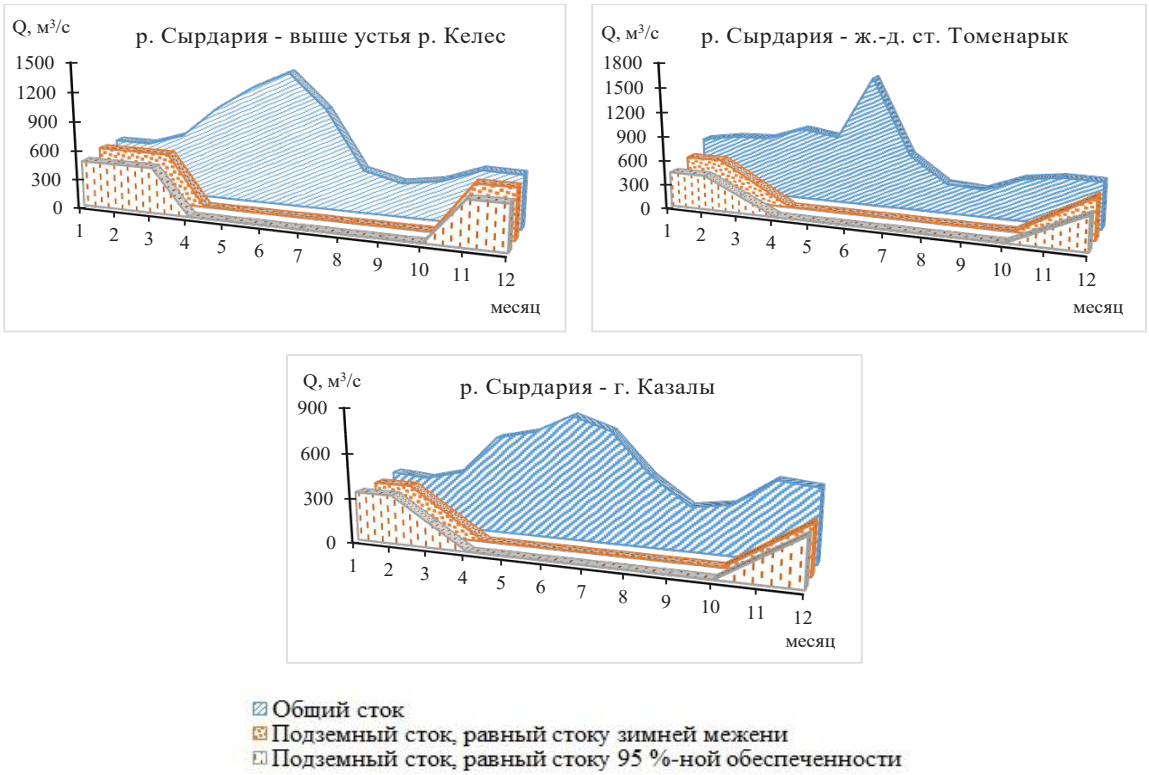


Рис.2. *Месячные гидрографы условно-естественного стока р. Сырдария*

Таблица 2

Объемы и доли поверхностного стока и подземного питания р. Сырдария, рассчитанные по методу расчета меженного стока

Река - Пост	Подземный сток		Подземный сток	
	млн. м³	%	млн. м³	%
	по расчету зимней межени		по расчету минимального 95 %-ного стока	
р. Сырдария – выше устья р. Келес	6758	30	4833	20
р. Сырдария – НБ Шардаринского вдхр.	действует с 1959 г.		5074	21
р. Сырдария – с. Коктобе	действует с 1974 г.		4921	22
р. Сырдария – ж.-д. ст. Томенарык	5319	24	4387	20
р. Сырдария – рзд. Кергельмес	действует с 1961 г.		3979	20
р. Сырдария – г. Казалы	3482	22	3376	22

Значения минимального подземного стока за условно-естественный период по двум вариантам (по зимнему меженному стоку и по минимальному стоку 95 %-ной обеспеченности) приведены в таблице 2. По ГП выше устья р. Келес минимальный подземный сток составляет 6758 и 4833 млн. м³ соответственно, на ГП ж.-д. ст. Томенарык – 5319 и 4387 млн. м³ соответственно, на ГП г. Казалы – 3482 и 3376 млн. м³. По ГП НБ Шардаринского вдхр., ГП с. Коктобе, ГП рзд. Кергельмес данные наблюдений за условно-естественный период отсутствуют (т. к. эти гидропосты

начали действовать позже 1955 года), но имеется восстановленный ряд годовых значений стока, поэтому был рассчитан минимальный подземный сток 95 %-ной обеспеченности. Он составляет 5074, 4921, 3376 млн. м^3 или 21, 22, 22 % от общего стока соответственно.

За нарушенный период меженный сток не выпадает на зимнее время (рисунок 1, б), наоборот, зимой проходят максимальные расходы воды в связи с энергетическим режимом верхних водохранилищ. Расчет меженного стока, в том числе по 95 %-ной обеспеченности, за холодный (зимний) период не представляется возможным. Летне-осенняя межень из года в год имеет разную продолжительность и зависит от сбросов воды из верхних водохранилищ.

Кроме того, была рассчитана разница подземного стока в реку на участках между выбранными гидропостами (рисунок 3). Положительный знак полученных значений говорит о преобладании на участке подземного питания реки в течении года, отрицательный знак – о преобладании фильтрации на участке в течении года.

Результаты оценки подземного стока по длине р. Сырдария различными методами за условно-естественный и нарушенный периоды представлены на рисунке 3.

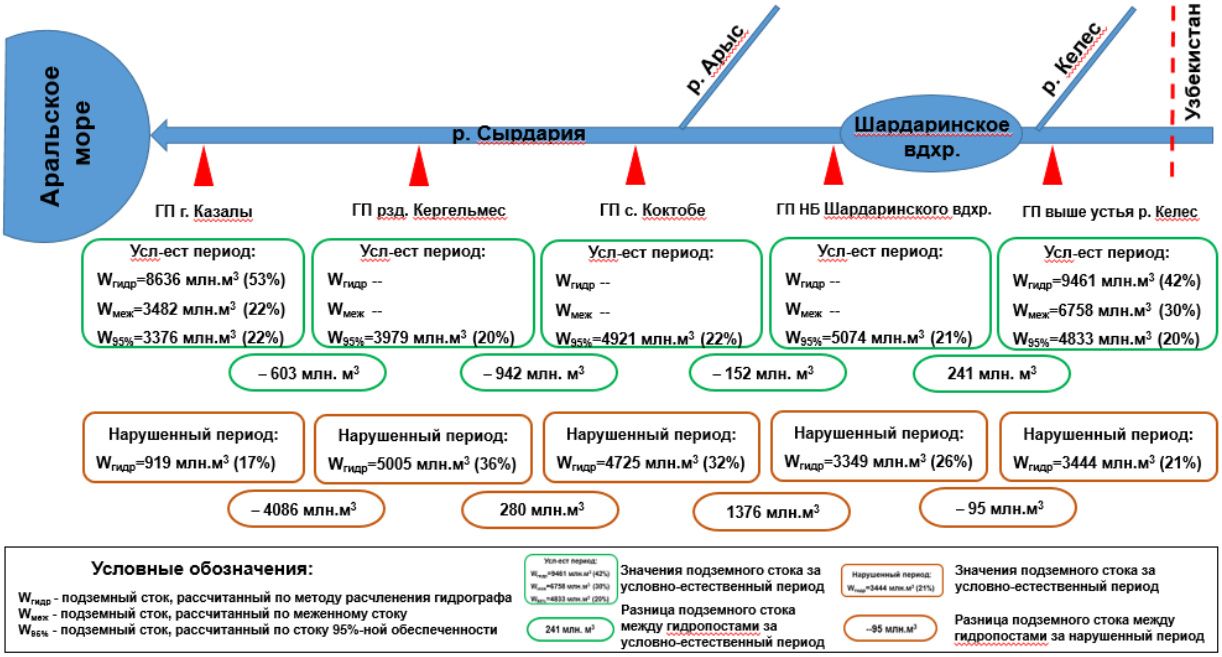


Рис.3. *Результаты оценки подземного питания по длине р. Сырдария различными методами за условно-естественный и нарушенный периоды*

За условно-естественный период только на первом участке от ГП выше устья р. Келес до ГП НБ Шардаринского вдхр. разница подземного стока положительная, т. е. на участке преобладает разгрузка подземных вод в реку, что связано с рельефом и геологическим строением прилегающей территории, а именно уклоном правобережья, наличием конуса выноса и естественного выхода подземных вод на дневную поверхность. На остальных участках вниз по течению, от ГП НБ Шардаринского вдхр. до ГП г. Казалы, разница подземного стока отрицательная, т. к. происходит активная инфильтрация речных вод и в суммарном отношении в течение года река питает подземные горизонты.

За нарушенный период наблюдается противоположная картина: на первом участке преобладает инфильтрация речного стока в дно и берега русла, а именно в дно и берега Шардаринского водохранилища. Далее вниз по течению, от ГП НБ Шардаринского вдхр. до ГП рзд. Кергельмес преобладает разгрузка подземных вод, т. к. происходит выклинивание фильтрационных вод ниже плотины Шардаринской ГЭС, а также коллекторно-дренажных и сбросных вод с полей орошения прилегающей территории. Также, по всей

видимости, срезка пиков весеннего половодья приводит к повышению уровня грунтовых вод и увеличению доли подземного питания реки. На последнем приустьевом участке от ГП рзд. Кергельмес до ГП г. Казалы разница подземного стока отрицательная, причем объем ее намного превышает аналогичную за условно-естественный период. Предположительно, высыхание водно-болотных угодий устьевой зоны привело к повышенной разгрузке вод из русла реки. Однако при существующих точностях гидрологических наблюдений сложно делать однозначные выводы.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, рассчитав подземный сток различными способами, авторы рекомендуют для условно-естественного периода использовать метод расчета меженного стока, для нарушенного периода – расчленение гидрографа. Такой подход обусловлен теоретическими представлениями о процессе взаимосвязи подземных и поверхностных вод аридных территорий. При расчленении гидрографа естественных расходов воды выделенная подземная составляющая (подземное питание) действует в течении года, а ее доля занимает 40...50 % от общего стока, что вступает в конфликт с теорией о подземном питании реки в меженный период. Наоборот, при расчленении гидрографа нарушенного хода расходов воды, когда на реке действует энергетический режим стока, выделение подземной составляющей в течении года вполне оправданно.

Авторы понимают субъективность применения тех или иных методов и допущений, но, имея лишь гидрологические данные наблюдений за речным стоком и материалы о подстилающей поверхности рассматриваемых участков, выбрали данный путь количественной оценки взаимосвязи подземных и поверхностных вод ввиду его доступности и, как нам представляется, понятного описания физической сущности процессов взаимосвязи поверхностных и подземных вод.

В целом, формирование подземного стока в условиях аридного и полуаридного климата, в районах развития конусов выноса, на предгорных равнинах и в межгорных впадинах весьма своеобразно, достаточно сложно и еще недостаточно изучено.

Исследование выполнено в рамках проекта программно-целевого финансирования Комитета науки МНВО РК «Ледниковые системы трансграничных бассейнов Центральной Азии: состояние, современные и прогнозные изменения, роль в обеспечении водной безопасности стран региона» (ИРН BR18574176).

Авторы выражают свою признательность за консультации и ценные рекомендации при проведении научных исследований канд. геол. – мин. наук Муртазину Е.Ж.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Морозов П.Н. Подземный сток и методы его определения (учебное пособие). – Л: Изд-во ЛГМИ, 1975. – 61 с.
2. Аденова Д.К. Экосистемный подход к оценкам и использованию ресурсов подземных вод Казахстана в условиях климатически и антропогенно обусловленных изменений окружающей среды: дис. ... докт. философии (PhD): 6D075500. – Алматы, 2018. – 145 с.
3. Шестаков В.М. Динамика подземных вод. – М.: Изд-во МГУ, 1979. – 368 с.
4. Попов О.В. Подземное питание рек. – Л.: Гидрометеоиздат, 1968. – 291 с.
5. Шестаков В.М., Поздняков С.П. Геогидрология. – М.: ИКЦ Академкнига, 2003. – 176 с.
6. Sophocleous M. Interactions between groundwater and surface water // Hydrogeology Journal – 2002. – №10. – P. 52-67. (https://doi.org/10.1007/s10040-001-0170-8)
7. Лешан И.Ю., Ахметов Р.М. О связи поверхностного и подземного стоков р. База. // Science Time. – 2014. – С. 158-163.
8. Джамалов Р.Г., Зекцер И.С., Кричевец Г.Н., Сафронова Т.И., Сотникова Л.Ф., Громова Ю.В. Изменение подземного стока под влиянием климата и антропогенных воздействий // Водные ресурсы и режим водных объектов. – 2008. – Т.35, № 1.– С.17-24.
9. Гюльмамедов Ч.Д. Взаимосвязи поверхностных и подземных вод Ширванской степи Азербайджана // Наука и мир. – 2018. – №10-2 (62). – С.14-20.
10. Василевский П.Ю. Взаимосвязь подземных и поверхностных вод в аридных условиях при антропогенном изменении поверхностного стока (на примере нижнего течения реки Хэйхэ): дис. ... канд. геол.-мин. наук: 25.00.07. – Москва, 2021. – 166 с.
11. Ахмедсафин У.М. Формирование подземного стока на территории Казахстана. – Алма-Ата: Изд-во Наука, 1970. – 135 с.
12. Куделин Б.И. Гидрогеологический анализ и методы определения подземного питания рек // ТрудыЛабор. гидрогеол. проблем им. Ф. П. Саваренского АН СССР. – 1949. – Т. V. – 180 с.
13. Куделин Б.И. Подземный сток на территории СССР. – Изд-во Московского ун-та, 1966. – 303 с.

REFERENCES

1. Morozov P.N. Podzemnyi stok i metody ego opredeleniya (uchebnoe posobie). – L: Izd-vo LGMI, 1975. – 61 p.
2. Adenova D.K. Ekosistemnyi podkhod k otsenkam i ispol'zovaniyu resursov podzemnykh vod Kazakhstana v usloviyakh klimaticheski i antropogenno obuslovlennykh izmenenii okruzhayushchei sredy: dis. ... dokt. filosofii (PhD): 6D075500. – Almaty, 2018. – 145 p.
3. Shestakov V.M. Dinamika podzemnykh vod. – M.: Izd-vo MGU, 1979. – 368 p.
4. Popov O.V. Podzemnoe pitanie rek. – L.: Gidrometeoizdat, 1968. – 291 p.
5. Shestakov V.M., Pozdnyakov S.P. Geogidrologiya. – M.: IKTs Akademkniga, 2003. – 176 s.
6. Sophocleous M. Interactions between groundwater and surface water // Hydrogeology Journal – 2002. – №10. – P. 52-67. (https://doi.org/10.1007/s10040-001-0170-8)
7. Leshan I.Yu., Akhmetov R.M. O svyazi poverkhnostnogo i podzemnogo stokov r. Baza. // Science Time. – 2014. – P. 158-163.
8. Dzhamalov R.G., Zektser I.S., Krichevets G.N., Safronova T.I., Sotnikova L.F., Gromova Yu.V. Izmenenie podzemnogo stoka pod vliyaniem klimata i antropogennykh vozdeistvii // Vodnye resursy i rezhim vodnykh ob"ektov. – 2008. – T.35, № 1.– P.17-24.
9. Gyul'mamedov Ch.D. Vzaimosvyazi poverkhnostnykh i podzemnykh vod Shirvanskoi stepi Azerbaidzhana // Nauka i mir. – 2018. – №10-2 (62). – P.14-20.
10. Vasilevskii P.Yu. Vzaimosvyaz' podzemnykh i poverkhnostnykh vod v aridnykh usloviyakh pri antropogennom izmenenii poverkhnostnogo stoka (na primere nizhnego techeniya reki Kheikhe): dis. ... kand. geol.-min. nauk: 25.00.07. – Moskva, 2021. – 166 p.
11. Akhmedsafin U.M. Formirovanie podzemnogo stoka na territorii Kazakhstana. – Alma-Ata: Izd-vo Nauka, 1970. – 135 p.
12. Kudelin B.I. Gidrogeologicheskii analiz i metody opredeleniya podzemnogo pitaniya rek // Trudy Labor. gidrogeol. problem im. F. P. Savarenskogo AN SSSR. – 1949. – T. V. – 180 p.
13. Kudelin B.I. Podzemnyi stok na territorii SSSR. – Izd-vo Moskovskogo un-ta, 1966. – 303 p.

СЫРДАРИЯ ӨЗЕНІНІҢ (ҚАЗАҚСТАН БӨЛІГІНДЕ) ЖЕР БЕТІ ЖӘНЕ ЖЕР АСТЫ СУЛАРЫНЫҢ ӨЗАРА БАЙЛАНЫСЫН БАҒАЛАУ

А.Р. Загидуллина[1]*, К.М. Кулебаев[2]

[1] География және су қауіпсіздігі институты, Алматы, Қазақстан
[2] ЮНЕСКО аясындағы 2-санатты Орта Азия Өңірлік Гляциологиялық Орталығы, Алматы, Қазақстан
E-mail: zagidullina_a_88@mail.ru

Бұл жұмыста Сырдария өзенінің жер беті және жер асты суларының өзара байланысына талдау және бағалау жасалды. Өзеннің жер асты суларымен қоректенуінің үлесін екі әдіспен есептеу қарастырылды: жалпы ағынды гидрографын генетикалық бөлшектеу және сабалық ағындыны есептеу. Таңдалған гидробекеттер арасындағы учаскелер бойынша өзенге келетін жер асты ағындысының айырмашылығы есептелді. Алынған нәтижелер негізінде шартты-табиғи және бұзылған кезеңдер бойынша салыстыру жүргізілді. Шартты-табиғи жағдайда Сырдария өзенінің бойында жер асты горизонттарына өзен ағындысының инфильтрациясы басым болды, алайда антропогендік әрекеттердің әсерінен жағдай керісінше өзгерді: Сырдария өзенінің ұзындығы бойынша жер асты суларының ағуы, оның ішінде Шардара СЭС (су электр станциясы) бөгеті астындағы фильтрацияланған суларының, іргелес аумақтағы суармалы алқаптардың коллекторлық-дренаждық және сарқынды суларының ағуы басым. Сондай-ақ, көктемгі су тасудың шыңдарының төмендеуі жер асты суларының деңгейін және өзендерге түсетін жер асты суларының үлесін арттырады. Жұмыста пайданылған әдістерді қолдануға ұсыныстар берілді.

Түйін сөздер: жер беті ағындысы, жер асты ағындысы, жер асты қоректенуі, гидравликалық байланыс, су алмасуы, ағынды гидрографы, сабалық ағынды.

ASSESSMENT OF THE RELATIONSHIP BETWEEN SURFACE AND GROUNDWATER OF THE SYRDARIA RIVER (WITHIN KAZAKHSTAN)

A. Zagidullina[1]*, K. Kulebayev[2]

[1] Institute of Geography and Water Security, Almaty, Kazakhstan
[2] Central Asian Regional Glaciological Centre (category 2) under the auspices of UNESCO, Almaty, Kazakhstan
E-mail: zagidullina_a_88@mail.ru

This study analyzes and evaluates the relationship of surface and groundwater of the Syrdarya River within Kazakhstan. The share of groundwater recharge of the river was calculated by two methods: by genetically partitioning the total runoff hydrograph and by calculating low flow. The difference of groundwater flow into the river between the selected hydrostations is also calculated. A comparison of the obtained results for the quasi-natural and disturbed periods is made. In natural conditions, the infiltration of river runoff into underground horizons prevailed along the length of the Syrdarya River, however, under the influence of anthropogenic activity, the picture changed to the opposite: the discharge of groundwater prevails along the length of the Syrdarya River, including the emergence of filtration waters below the dam of the Shardara HPP, collector-drainage and discharge waters from irrigation fields of the adjacent territory. Also, apparently, the truncation of spring flood peaks leads to an increase in the groundwater level and an increase in the share of underground river supply. Recommendations for the application of the methods used in the work are given.

Keywords: surface runoff, ground runoff, groundwater recharge, hydraulic connection, water exchange, runoff hydrograph, low flow.

Сведения об авторах/Авторлар туралы мәліметтер/Information about authors:

Загидуллина Альфия Радифовна – Научный сотрудник, Институт географии и водной безопасности, г. Алматы, ул. Пушкина, 99, *zagidullina_a_88@mail.ru*

Кулебаев Кайрат Муратович – Научный сотрудник, Центрально-Азиатский Региональный Гляциологический Центр категории 2 под эгидой ЮНЕСКО, г. Алматы, ул. Пушкина, 99, *kairat.kulebayev@mail.ru*

Альфия Радифовна Загидуллина – Ғылыми қызметкер, География және су қауіпсіздігі институты, Алматы қ., Пушкин к., 99, *zagidullina_a_88@mail.ru*

Кайрат Муратович Кулебаев – Ғылыми қызметкер, ЮНЕСКО аясындағы 2-санатты Орта Азия Өңірлік Гляциологиялық Орталығы, Алматы қ., Пушкин к., 99, *kairat.kulebayev@mail.ru*

Alfiya Zagidullina – Researcher, Institute of Geography and Water Security, Almaty, Pushkin str., 99, *zagidullina_a_88@mail.ru*

Кайрат Муратович Кулебаев – Researcher, Central Asian Regional Glaciological Centre (category 2) under the auspices of UNESCO, Almaty, Pushkin str., 99, *kairat.kulebayev@mail.ru*

Вклад авторов/ Авторлардың қосқан үлесі/ Authors' contribution

А. Р. Загидуллина, К. М. Кулебаев – разработка концепции и методологии, проведение статистического анализа, проведение исследования, подготовка и редактирование текста, визуализация

А. Р. Загидуллина, К. М. Кулебаев– тұжырымдаманы, әдістемені әзірлеу, статистикалық талдау, зерттеу жүргізу, мәтінді дайындау және өңдеу, көрнекілік

A. R. Zagidullina, **K. M. Kulebayev**– concept development, methodology development, conducting statistical analysis, conducting a research, preparing and editing the text, visualization

УДК 556.5, 556.18 **МРНТИ 37.27.02, 37.27.51**

ИССЛЕДОВАНИЕ НАВОДНЕНИЙ И ЗАТОПЛЕНИЙ НА РЕКЕ ЕСИЛЬ У ГОРОДА ПЕТРОПАВЛОВСК

Н.Н. Медеу[1]*, А.Ғ. Елтай[2] *PhD*

[1]Казахский национальный университет им. аль-Фараби, Алматы, Казахстан
[2]РГП «Казгидромет», Астана, Казахстан
E-mail: nadira.medeu@mail.ru

В данной статье рассматриваются проблема, причины и факторы наводнений и затоплений на реке Есиль у города Петропавловск с 1941 по 2020 гг. Выделяются и описываются характеристики наводнений и их последствия в Северо-Казахстанской области. Представлен многолетний ход уровня воды на реке Есиль у г. Петропавловск, а также климатограмма метеостанции Петропавловск за 1941...2020 гг. Значения максимального расхода воды имеют тенденцию на снижение, что в первую очередь может быть связана с началом периода интенсивного антропогенного воздействия на реку Есиль. Так, средние из максимальных расходов воды и их средние квадратические отклонения с конца 60-х—начала 70-х гг. в связи с созданием водохранилища снизились в 1,6...2 раза. Предложены меры по предотвращению наводнений и минимизированию их последствий.

Ключевые слова: ЭГЯ, наводнения, половодье, затопления, максимальный расход, максимальный уровень, осадки, температура.

Поступила: 03.05.24
DOI: 10.54668/2789-6323-2024-113-2-16-24

ВВЕДЕНИЕ

За последние десятилетия в мире наблюдается увеличение частоты и интенсивности наводнений и затоплений, в частности, из-за изменения климата и урбанизации. Это отражается в росте числа отчетов о катастрофах и статистике по ущербу. Порядка 75% территории Казахстана подвержено стихийным бедствиям, связанным с природными процессами (Устойчивость к бедствиям, 2024), среднегодовая численность пострадавших от наводнений составляет 150 тыс., среднегодовые потери от наводнений составляют примерно 400 млн. долларов (Профиль страновых рисков, 2024).

Подверженность территории Казахстана наводнениям приводит к необходимости прогнозирования половодья на реках, а также анализа причин возникновения и последствий, вызванных повышением уровня воды на реках. Основные факторы и причины формирования наводнений и затоплений на реке Есиль подробно описаны в работе (Плеханов и др., 2020).

Исторически наводнения на реке Есиль у города Петропавловск в Казахстане происходили из-за различных причин, включая обильные дожди, таяние снега, неэффективную систему водоотвода и другие факторы. Петропавловск, как и многие другие населенные пункты, расположенные на реках, подвержен риску наводнений. Весеннее половодье в районе Петропавловска более продолжительное, чем в его верховьях, и наблюдается в апреле...июне. В этот период проходит около 80...90 % годового стока. Причем чем более многоводный год, тем больше доля стока в период половодья.

Для регулирования стока рек и борьбы с наводнениями в бассейне реки Есиль функционируют 44 водохранилищ. Наиболее крупными являются Астанинское и Сергеевское для многолетнего регулирования стока, Ишимское и Петропавловское для сезонного регулирования воды (Кипшакбаев, 2007).

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Бассейн реки Есиль расположен в центральной и северной частях Казахстана в Карагандинской (истоки), Акмолинской и Северо-Казахстанской областях (верхнее и среднее течение), а также на территории России (бассейн реки Ишим) в Омской и

Тюменской областях (нижнее течение).

Площадь бассейна реки Есиль в Казахстане составляет 147,04 тыс., а длина реки – от истоков до границы с Россией – около 1800 км, в том числе по Карагандинской области – около 90 км, Акмолинской – около 1030 км и Северо-Казахстанской – около 680 км км^2 (Твердовский, 2007).

Водный режим реки характеризуется ярко выраженным весенним паводком и длительной меженью (Борьба с опасными гидрологическими..., 2020). Весенний подъём уровня начинается обычно в середине апреля, достигая максимума в конце апреля - начале мая. В редких случаях начало весеннего пика уровней наблюдалось в конце марта или в конце апреля. Пик иногда проходил в самом начале апреля (1944, 1961 гг.), а в позднюю весну он бывал только в первых числах мая. Заканчивалось половодье и в конце апреля (1961 г.), и в конце июня (1949 г.) (Шибутов, 2004).

Наводнения в период весеннего половодья на р. Есиль и ее притоках в пределах Северного Казахстана зависят от особенностей водосбора. Строение гидрографической сети в значительной мере обусловлено характером рельефа поверхности бассейна р. Есиль: равнинность бассейна на севере с повышением отметок высот в центре определила основное направление стока (Мезенцева, Ломакина, 2018).

По бассейну р. Есиль в результате обзора различных литературных источников информация об экстремальных гидрологических явлениях имеется с 1940 года. Однако начиная с середины 1960-х годов усилиями Казахского управления гидрометеорологической службы была начата работа по фиксированию ЭГЯ, в т. ч. наводнений по бассейну р. Есиль. С 1992 г. факты об опасных гидрологических явлениях стали фиксироваться территориальными подразделениями системы Государственного комитета по ЧС в их ведомственной базе данных (Борьба с опасными гидрологическими..., 2018).

В бассейне реки Есиль наблюдения за гидрологическим режимом ведутся на 40 гидрологических постах РГП «Казгидромет» (Ежегодные данные..., 2020). В данной работе для анализа характеристик наводнения выбран створ у г. Петропавловск, так как данный гидрологический пост имеет наиболее длительный ряд данных.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЯ

Многолетний ход максимальных расходов воды на р. Есиль – г. Петропавловск (рисунок 1) имеет тренд на снижение. За период 1941...2020 гг. на рассматриваемом пункте наблюдения максимальный расход в 3760 м^3/с наблюдался в 1941 г. В многолетней динамике значения максимального расхода воды имеют тенеденцию на снижение, что в первую очередь может быть связана с началом периода интенсивного хозяйственного влияния на реку Есиль. Однако в последние годы также наблюдаются достаточно высокие расходы воды в периоды половодья, что вероятно связано с поступлением большого количества осенних и зимних осадков в бассейн реки, дружность весны и другие факторы.

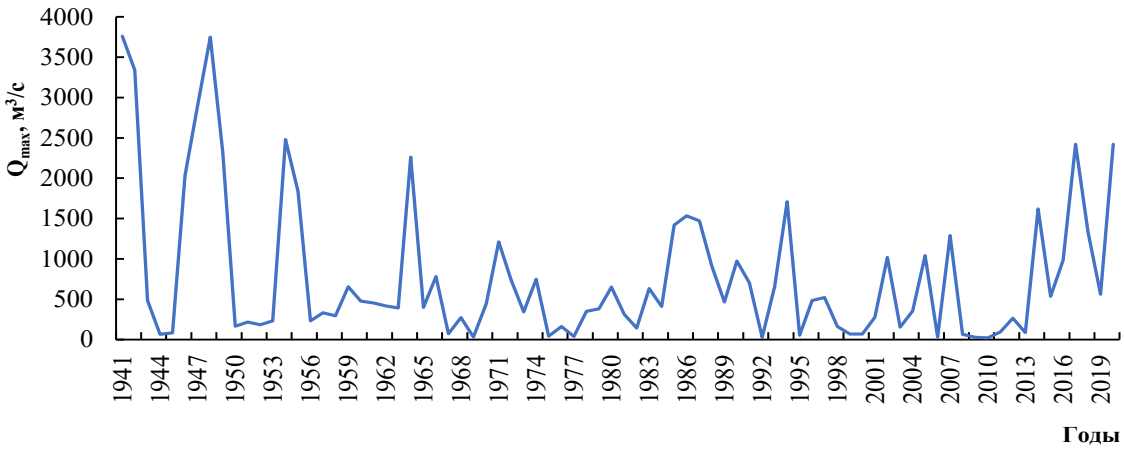


Рис.1. Ход максимальных расходов воды р. Есиль – г. Петропавловск с 1941...2020 гг.

Ход максимальных уровней реки за 1941...2020 гг. (рисунок 2) показал, что существенного тренда изменения уровня за многолетний период не имеется.

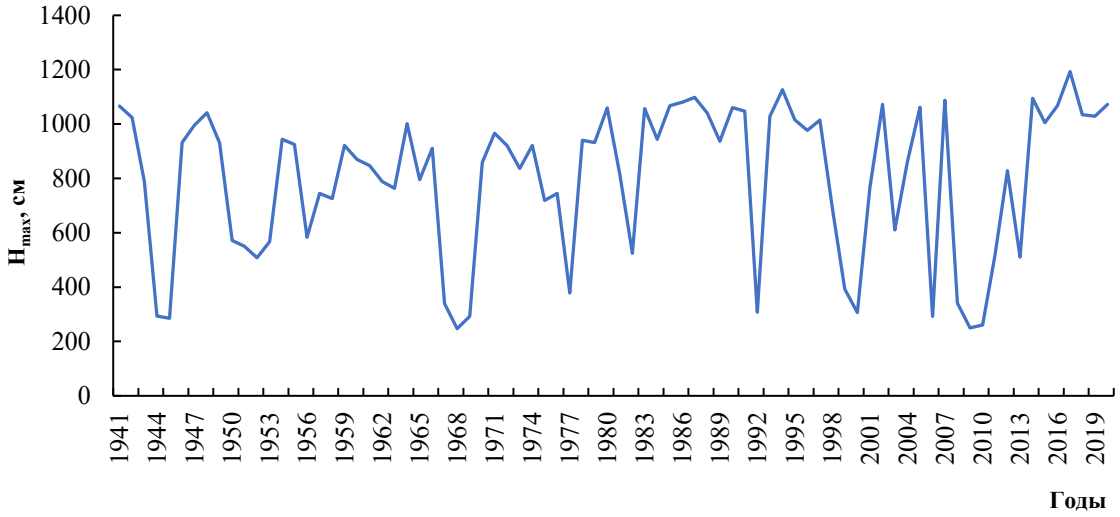


Рис.2. Ход максимальных уровней воды р. Есиль – г. Петропавловск с 1941...2020 гг.

На р. Есиль следует назвать два водохранилища многолетнего регулирования стока — Вячеславское (Астанинское) и Сергеевское общим объемом 411 млн м^3 и 693 млн м^3 (полезный объем 375 и 635 млн м3), а также два водохранилища сезонного регулирования стока — Ишимское и Петропавловское общим объемом 9,2 и 19,2 млн м^3. Вячеславское водохранилище находится в 84 км выше г. Астаны, оно наполнялось с 1967 по 1970 г. Сергеевское водохранилище введено в строй в 1969 г.

В таблице 2 сравнены статистические характеристики Qmax за два периода по створу г. Петропавловск. Здесь нужно отметить антропогенное влияние на перераспределение стока, а также на уменьшение максимальных расходов воды.

Таблица 1

Статистические характеристики максимальных расходов воды до и после создания водохранилища

Река-пункт	I период			II период			Изменение, %	
	Годы	$Q_{ср}$, м^3/с	s, м^3/с	Годы	$Q_{ср}$, м^3/с	s, м^3/с	$Q_{ср}$	s
Есиль – г. Петропавловск	1936...1966	1001	1184	1967...2020	608	595	39,3	49,7

Очевидно уменьшение максимальных расходов воды после создания водохранилищ. Средние из максимальных расходов воды и их средние квадратические отклонения (s) с конца 60-х — начала 70-х гг. в связи с созданием водохранилища снизились примерно в 1,6...2 раза.

Согласно работе Плеханова П. «Возникновение катастрофических паводков, является следствием реализации сложной цепи причинно-следственных связей. Для их характеристик важными являются такие показатели как интервал времени между датой начала снеготаяния (или переходом температуры воздуха через 00 С) и датой начала половодья, периоды продолжительностей повышения и спада волны половодья, пространственные различия сроков наступления фаз половодья в пределах единого бассейна и др.» (Plekhanov, 2019).

В случаях, когда в холодный период года наблюдается тенденция понижения температуры воздуха, это приводит к длительному состоянию мерзлой толщи почвы, что приводит к снижению фильтрационной способности почв весной, увеличению коэффициента стока и в некоторой степени объема весенних паводков. Температура воздуха в этот период определяет характеристики таяния снега – интенсивность и продолжительность, а также испарение со снежного покрова (Борьба с опасными гидрологическими..., 2020).

Образование устойчивого снежного покрова в среднем приходится на середину ноября, а даты разрушения на конец марта – начало апреля.

Для нижнего течения реки (г/п г. Петропавловск): октябрь...ноябрь - период осеннего увлажнения (осенняя межень); декабрь...март - период зимнего снегонакопления (зимняя межень); апрель... июнь - период половодья (весеннее снеготаяние); июль...сентябрь - период летне-осенней межени (Борьба с опасными гидрологическими..., 2018).

Анализ метеорологических характеристик МС Петропавловск за период 1941...2020 гг. показал, что существует тенденция увеличения и осадков, и средних температур. Данная тенденция наряду с влиянием изменения климата в бассейне реки Есиль может привести к увеличению количества экстремальных гидрологических явлений.

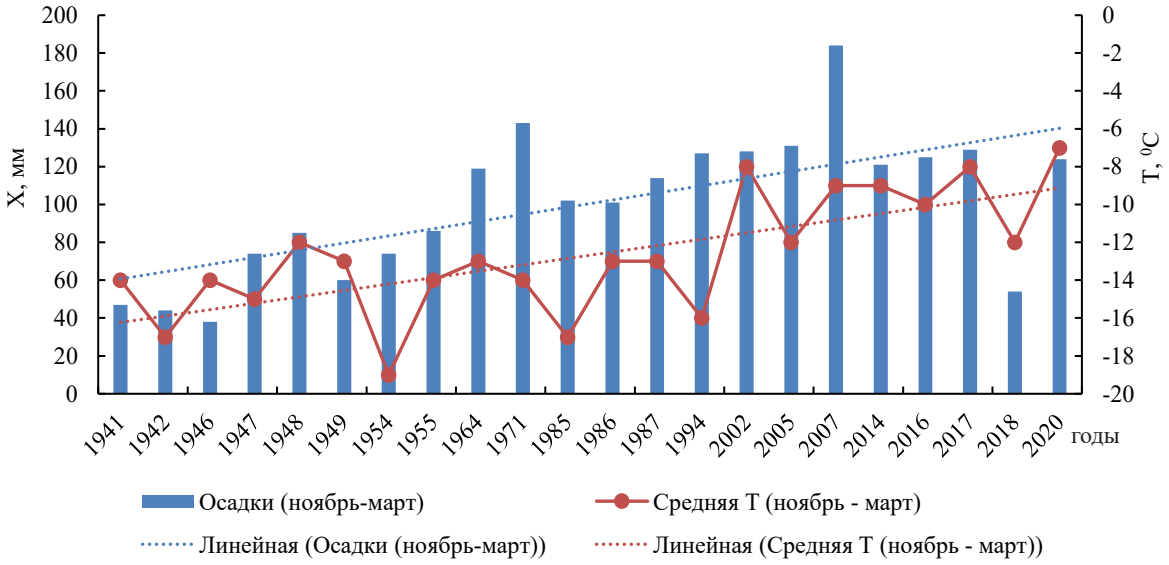


Рис.3. Климатограмма метеостанции (МС) Петропавловск за 1941...2020 гг.

К настоящему времени по реке Есиль у города Петропавловск за период 1941...2020 гг. собрана информация о 21 случаях ЭГЯ (таблица 2).

Таблица 2

Характеристика наводнений на р. Есиль у г. Петропавловск за 1941...2020 гг.

Годы	H_{max}, см	Q_{max}, $м^3/с$	Осадки, мм (ноябрь-март)	$T_{ср}$,^{0}C (ноябрь-март)	Последствия
1941	1066	3760	47	-14	В 1941 пик Q_{max} равен 3760 $м^3/с$ - вблизи г. Петропавловска произошло слияние паводковых вод реки Ишим (Есиль) и озера Пестрое. По данным топографической съёмки 1940-х годов, площадь поверхности озера составляет 1,14 км². Наибольшая длина озера — 1,4 км, наибольшая ширина — 1 км. Длина береговой линии составляет 4,3 км, развитие береговой линии — 1,12. Озеро расположено на высоте 96 м над уровнем моря (Филонец, Омаров, 1974).
1942	1024	3340	44	-17	Это наводнение было вызвано сильными дождями и таянием снега весной, что привело к резкому повышению уровня воды в реке. Наводнение на реке Ишим в 1942 году привело к затоплению сельскохозяйственных угодий, населенных пунктов и инфраструктуры вдоль берегов реки. Дороги были разрушены, мосты унесло водой, дома и постройки были затоплены. Это привело к значительным потерям как в сельском хозяйстве, так и в экономике региона.
1946	932	2030	38	-14	Масштабное наводнение, которое нанесло значительный ущерб окрестным территориям и жителям. Это наводнение было вызвано сильными дождями, таянием снега и увеличением расхода воды из-за таяния в горах. Наводнение на реке Ишим в 1946 году привело к широкому затоплению сельскохозяйственных угодий, населенных пунктов и инфраструктуры вдоль берегов реки. Многие дома были разрушены, дороги и мосты унесло водой. Затопленные поля и сельскохозяйственные угодья привели к серьезным потерям в сельском хозяйстве.
1947	995	2890	74	-15	Сильное наводнение. Весенние разливы реки. В описаниях тех лет пишут, что вода шла валом, то есть река наполнялась моментально.
1948	1042	3750	85	-12	Весенние разливы реки.
1949	931	2320	60	-13	Весеннее половодье, которое закончилось в конце июня.
1964	1001	2260	119	-13	Значительное наводнение, которое оказало серьезное воздействие на жизнь местного населения и инфраструктуру. В начале мая того года, после долгого периода интенсивных дождей и таяния снега, уровень воды в реке значительно возрос, превысив критические отметки. Наводнение привело к затоплению прибрежных районов,нанесению значительных материальных убытков и потерь людских жизней.
1980	1059	650	68	-14	Высокие уровни воды при весеннем половодье Окраины г. Петропавловска подтапливались в течение 24 дней.

Годы	Hmax, см	Qmax, $м^3/с$	Осадки, мм (ноябрь -март)	Tср,^{0}C (ноябрь-март)	Последствия
1983	1057	634	103	-8	Весеннее половодье, в районе г. Петропавловска были затоплены до 80% дачных участков.
1985	1067	1418	102	-17	Перелив через гребень плотины составил 270 см.
1986	1080	1533	101	-13	Высокие уровни воды при весеннем половодье.
1987	1098	1470	114	-13	Перелив через гребень Сергеевской плотины составлял 280 сантиметров, и соответственно воды в Петропавловске было очень много (Какими были, 2024).
1994	1126	1710	127	-16	Значительное наводнение было вызвано сильными дождями и таянием снега весной, что привело к резкому повышению уровня воды в реке.
2002	1072	1020	128	-8	Перелив через гребень плотины превышал 2 метра. В результате повышения уровня воды реки Есиль вышла из берегов, затопив значительные территории вокруг города Петропавловска. Затопленные районы включали в себя жилые дома, предприятия, дороги и сельскохозяйственные угодья.
2005	1062	1040	131	-12	Перелив через гребень плотины превышал 2 метра.
2007	1088	1290	184	-9	Весеннее половодье. На Есиле в районе г. Петропавловска в период 29 апреля – 17 мая уровни воды превышали критические значения, отмечались разливы и подтопления пониженных участков местности.
2014	1094	1620	121	-9	Паводок на территории Северо-Казахстанской области наблюдался выше нормы, что связано с поступлением в реку Есиль из притоков большого объема воды, расположенных на территории Карагандинской и Акмолинской областей, в связи с чем в регионе наблюдался выход реки Есиль в пойму. Максимальный перелив через гребень плотины Сергеевского водохранилища зарегистрирован 23 апреля на отметке 198 см (В СКО, 2024).
2016	1067	980	125	-10	В районе г. Петропавловск уровни воды превышали опасные отметки, подтапливались дачные участки, автодорога международного значения Челябинск – Новосибирск.
2017	1193	2420	129	-8	За период прохождения половодья на р. Есиль превышены экстремальные отметки уровня воды. В районе г. Петропавловск исторический максимум уровней воды был превышен на 0.7 м, до этого наибольший уровень воды в р. Есиль наблюдался весной 1994 года. Сильнейшее весеннее половодье в СКО отмечалось в 2017 году, тогда же был зафиксирован и самый большой перелив — 338 см. Это единственный случай за всю историю Сергеевского водохранилища, когда перелив превысил 3 метра (История самых..., 2024).
2018	1034	1330	54	-12	Произошло значительное наводнение, которое привело к серьезным последствиям для местного населения и инфраструктуры. Наводнение было вызвано интенсивными дождями и таянием снега весной.
2020	1072	2420	124	-7	Перелив достигал 196 сантиметров, тогда в Петропавловске было подтоплено более 2 тысяч дачных участков, расположенных в пойме реки.

ВЫВОДЫ

В бассейне р. Есиль причинами возникновения экстремальных гидрологических явлений являются талые воды, которые образуются при интенсивном весеннем снеготаянии. Также причиной наводнений и паводков может быть поступление в водосбор объемов воды в результате прорывов дамб, ГТС и др. (Борьба с опасными гидрологическими..., 2018).

Проведенный анализ гидрологических характеристик на р. Есиль – г. Петропавловсе за период 1941...2020 гг. показал, что максимальные расходы воды в многолетнем разрезе имеют тренд на снижение, в связи с регулированием- стока реки гидротехническими сооружениями. Но в свою очередь, наблюденные максимальные уровни воды в многолетнем разрезе не изменяются.

Антропогенное влияние на сток р.Есиль у г. Петропавловск привело к уменьшению максимальных расходов воды примерно на 39 %.

Проведенный обзор прошедших наводнений на р.Есиль – г. Петропавловск за многолетний период показал, что данный регион подвержен образованию различного характера паводкам и наводнениям. За 1941...2020 гг. собрана и проанализирована информация о 21 случаях экстремальных гидрологических явлений. Данный обзор может быть применен для превентивных мер.

Затопления территорий происходит, как правило, на квазипостоянных участках местности, в т.н. потенциальных зонах затопления. По экспертным оценкам и данным опросов местных жителей территориальными органами КЧС МВД РК выявлено, что в СКО таких 26 зон. Закономерности возникновения и функционирования этих зон изучены слабо.

Для борьбы с наводнениями авторами предлагается следующее: укрепление инфраструктуры, создание системы раннего предупреждения и ликвидация рисков затопления, возобновление лиманного орошения, запрет на строительство домов в зонах наводнений и затоплений, а также обеспечение бесперебойной работы инженерных защитных сооружений.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Устойчивость к бедствиям. ЮНИСЕФ. Казахстан. [Электрон. Ресурс].– URL: https://www.unicef.org/kazakhstan/ (дата обращения 30.04.2024).
2. Профиль страновых рисков: Казахстан. [Электрон. Ресурс]. – URL: https://www.carecprogram.org/uploads/Country_Risk_Profiles_Kazakhstan_RU.pdf (дата обращения 30.04.2024).
3. Плеханов П.А., Попов Н.В., Медеу Н.Н., Никифорова Л.Н. Формирование затоплений и наводнений в бассейне реки Есиль и возможности их предупреждения // Вопросы географии и геоэкологии. – Алматы, 2020, №1. С. 51-60.
4. Кипшакбаев Н.К. Приоритетные проблемы бассейна реки Есиль. Современные проблемы Ишимского бассейна // Проект ПРООН «Разработка национального плана по ИУВР и водосбережению в Казахстане» компонент: создание Бассейновых советов. – Астана, 2007. – С. 11-13.
5. Твердовский А.И. Комплексное использование водных ресурсов бассейна реки Есиль. Проект ПРООН «Разработка национального плана по ИУВР и водосбережению в Казахстане». Компонент: создание бассейновых советов. – Астана, 2007. – С. 14-24.
6. Проект МОН РК Инв. № 0020РК00856 «Борьба с опасными гидрологическими явлениями (наводнениями) в бассейне реки Есиль (Акмолинская и Северо-Казахстанская области) в условиях меняющегося климата» под рук. Попова Н.В. (заключительный отчет). – Алматы. 2020. – С. 102.
7. Шибутов М.М. Проект водоохранных зон и полос реки Ишим (краткий итоговый отчет). – Алматы, 2004. С. 6–7.
8. Мезенцева О.В., Ломакина С.С. Геоэкологический мониторинг водосборного бассейна реки Ишим на территории республики Казахстан в условиях весеннего половодья за период 2002-2017 гг. // Успехи современного естествознания. – 2018. – № 12-2. – С. 368-373.
9. Проект МОН РК Инв. № 0218РК00493 «Борьба с опасными гидрологическими явлениями (наводнениями) в бассейне реки Есиль (Акмолинская и Северо-Казахстанская области) в условиях меняющегося климата» под рук. Плеханова П.А. (промежуточыйн отчет). – Алматы. 2018. – С. 105.
10. Ежегодные данные о режиме и ресурсах поверхностных вод суши. 2020 г. Выпуск 2. Бассейн реки Есиль. Нур-султан, 2022. - 256 с.
11. Plekhanov P, Medeu N. Extreme Hydrological Phenomena in the Esil River Basin:Genesis, General Patterns of Manifestation// Journal of Ecological Engineering Volume 20, Issue 7, July 2019, pages 187–195.
12. Озера Северного, Западного и Восточного Казахстана: (справочник) / П. П. Филонец, Т. Р. Омаров; ГУГМС при СМ СССР, КазНИГМИ, СГ АН КазССР. — Ленинград: Гидрометеоиздат, 1974. — С. 24.

13. [Электрон. Ресурс]. – URL: https://pkzsk.info/retro-petropavlovsk-kakimi-byli-navodneniya-vo-vremena-nashikh-predkov/ (дата обращения 30.04.2024).
14. [Электрон. Ресурс]. – URL: https://www.caravan.kz/news/v-sko-potratili-okolo-71-mln-tenge-na-podgotovku-i-provedenie-protivopavodkovykh-meropriyatijj-332995/ (дата обращения 13.05.2024).
15. [Электрон. Ресурс]. – URL: https://pkzsk.info/istoriya-samykh-silnykh-pavodkov-na-severe-kazakhstana/ (дата обращения 30.04.2024).

REFERENCES

1. Ustojchivost' k bedstviyam. YUNISEF. Kazahstan. [Elektron. Resurs]. – URL: https://www.unicef.org/kazakhstan/ (data obrashcheniya 30.04.2024).
2. Profil' stranovyh riskov: Kazahstan. [Elektron. Resurs].– URL: https://www.carecprogram.org/uploads/Country_Risk_Profiles_Kazakhstan_RU.pdf(data obrashcheniya 30.04.2024).
3. Plekhanov P.A., Popov N.V., Medeu N.N., Nikiforova L.N. Formirovanie zatoplenij i navodnenij v bassejne reki Esil' i vozmozhnosti ih preduprezhdeniya // Voprosy geografii i geoekologii. – Almaty, 2020, №1. P. 51-60.
4. Kipshakbaev N.K. Prioritetnye problemy bassejna reki Esil'. Sovremennye problemy Ishimskogo bassejna // Proekt PROON «Razrabotka nacional'nogo plana po IUVR i vodosberezheniyu v Kazahstane» komponent: sozdanie Bassejnovyh sovetov. – Astana, 2007. – P. 11-13.
5. Tverdovskij A.I. Kompleksnoe ispol'zovanie vodnyh resursov bassejna reki Esil'. Proekt PROON «Razrabotka nacional'nogo plana po IUVR i vodosberezheniyu v Kazahstane». Komponent: sozdanie bassejnovyh sovetov. – Astana, 2007. – P. 14-24.
5. Tverdovskij A.I. Kompleksnoe ispol'zovanie vodnyh resursov bassejna reki Esil'. Proekt PROON «Razrabotka nacional'nogo plana po IUVR i vodosberezheniyu v Kazahstane». Komponent: sozdanie bassejnovyh sovetov. – Astana, 2007. – P. 14-24.
6. Proekt MON RK Inv. № 0020RK00856 «Bor'ba s opasnymi gidrologicheskimi yavleniyami (navodneniyami) v bassejne reki Esil' (Akmolinskaya i Severo-Kazahstanskaya oblasti) v usloviyah menyayushchegosya klimata» pod ruk. Popova N.V. (zaklyuchitel'nyj otchet). – Almaty. 2020. – P. 102.
7. Shibutov M.M. Proekt vodoohrannyh zon i polos reki Ishim (kratkij itogovyj otchet). – Almaty, 2004. P. 6–7.
8. Mezenceva O.V., Lomakina S.S. Geoekologicheskij monitoring vodosbornogo bassejna reki Ishim na territorii respubliki Kazahstan v usloviyah vesennego polovod'ya za period 2002-2017 gg. // Uspekhi sovremennogo estestvoznaniya. – 2018. – № 12-2. – P. 368-373.
9. Proekt MON RK Inv. № 0218RK00493 «Bor'ba s opasnymi gidrologicheskimi yavleniyami (navodneniyami) v bassejne reki Esil' (Akmolinskaya i Severo-Kazahstanskaya oblasti) v usloviyah menyayushchegosya klimata» pod ruk. Plekhanova P.A. (promezhutochyjn otchet). – Almaty. 2018. – P. 105.
10. Ezhegodnye dannye o rezhime i resursah poverhnostnyh vod sushi. 2020 g. Vypusk 2. Bassejn reki Esil'. Nur-sultan, 2022. - 256 p.
11. Plekhanov P, Medeu N. Extreme Hydrological Phenomena in the Esil River Basin:Genesis, General Patterns of Manifestation// Journal of Ecological Engineering Volume 20, Issue 7, July 2019, p. 187–195.
12. Ozera Severnogo, Zapadnogo i Vostochnogo Kazahstana: (spravochnik) / P. P. Filonec, T. R. Omarov; GUGMS pri SM SSSR, KazNIGMI, SG AN KazSSR. — Leningrad: Gidrometeoizdat, 1974. — P. 24.
13. [Elektron. Resurs]. – URL: https://pkzsk.info/retro-petropavlovsk-kakimi-byli-navodneniya-vo-vremena-nashikh-predkov/ (data obrashcheniya 30.04.2024).
14. [Elektron. Resurs]. – URL: https://pkzsk.info/istoriya-samykh-silnykh-pavodkov-na-severe-kazakhstana/ (data obrashcheniya 30.04.2024).
15. [Elektron. Resurs]. – URL: https://www.caravan.kz/news/v-sko-potratili-okolo-71-mln-tenge-na-podgotovku-i-provedenie-protivopavodkovykh-meropriyatijj-332995/ (дата обращения 30.04.2024).

ПЕТРОПАВЛ ҚАЛАСЫНЫҢ МАҢЫНДАҒЫ ЕСІЛ ӨЗЕНІНДЕГІ СУ ТАСҚЫНЫ МЕН СУ БАСУЫН ЗЕРТТЕУ

Н.Н. Медеу[1]*, А.Ғ. Елтай[2] *PhD*

[1]әл-Фараби атындағы Қазақ Ұлттық университеті, Алматы, Қазақстан
[2] «Қазгидромет» РМК, Астана, Қазақстан
E-mail: nadira.medeu@mail.ru

Бұл мақалада 1941...2020 жылдар аралығында Есіл өзені Петропавл қаласының маңындағы су тасқыны мен су басуы проблемасы, себептері мен факторлары қарастырылады. Су тасқынының сипаттамалары және олардың Солтүстік Қазақстан облысындағы салдары айқындалады және сипатталады. Есіл өзені - Петропавл қ. су деңгейінің, су шығынының, көп жылдық жүрісі, сондай-ақ Петропавл метеостанциясының 1941...2020 жж. климатограммасы ұсынылған. Судың максималды ағынының мәні төмендейді, бұл ең алдымен Есіл өзеніне қарқынды антропогендік әсер ету кезеңінің басталуымен байланысты болуы мүмкін.

Осылайша, судың максималды шығындарының орташа мәні және олардың орташа квадраттық ауытқулары 60-шы жылдардың аяғы мен 70–ші жылдардың басынан бастап су қоймасының құрылуына байланысты 1,6...2-ке рет төмендеді. Су тасқынының алдын алу және оның салдарын азайту бойынша шаралар ұсынылды.

Түйін сөздер: ЭГҚ, су тасқыны, су басуы, су жайылуы, ең жоғарғы шығын, ең жоғарғы деңгей, жауын-шашын, температура.

STUDY ON FLOODS AND INUNDATIONS ON THE ESIL RIVER NEAR PETROPAVLOVSK CITY

N. Medeu[1]*, A. Yeltay[2] *PhD*

[1]Kazakh National University named after al-Farabi, Almaty, Kazakhstan
[2]RSE «Kazhydromet», Astana, Kazakhstan
E-mail: nadira.medeu@mail.ru

This article examines the problem, causes, and factors of floods and inundations on the Esil River near the city of Petropavlovsk from 1941 to 2020. The characteristics of floods and their consequences in the North Kazakhstan region are highlighted and described.The long- term course of discharge and water level on the Esil River – Petropavlovsk city is presented, as well as a climatogram of the Petropavlovsk weather station for 1941...2020. The values of the maximum water flow tend to decrease, which may primarily be associated with the beginning of a period of intense anthropogenic impact on the Yesil River. Thus, the average of the maximum water consumption and their average square deviations have decreased by 1.6...2 times since the late 60s-early 70s in connection with the creation of the reservoir. Measures to prevent floods and minimize their consequences are proposed.

Keywords: extreme hydrological phenomena, floods, high water, inundations, maximum discharge, maximum level, precipitation, temperature.

Сведения об авторах/Авторлар туралы мәліметтер/Information about authors:

Медеу Нәдира Нүсүпқызы- PhD докторант кафедры метеорологии и гидрологии, Казахский национальный университет им. аль-Фараби, Алматы, аль-Фараби, 71, *nadira.medeu@mail.ru*

Елтай Айзат Ғалиқызы – PhD, начальник управления гидрометеорологичеких исследований Каспийского моря Научно-исследовательского центра РГП «Казгидромет», Астана, Мәңгілік Ел, 11/1, *yeltay.aiz@gmail.com*

Медеу Нәдира Нүсүпқызы - әл-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университетінің метеорология және гидрология кафедрасының PhD докторанты, Алматы, әл-Фараби, 71, *nadira.medeu@mail.ru*

Елтай Айзат Ғалиқызы - PhD, «Қазгидромет» РМК Ғылыми-зерттеу орталығының Каспий теңізінің гидрометеорологиялық зерттеулер басқарма бастығы, Астана, Мәңгілік Ел, 11/1, *yeltay.aiz@gmail.com*

Medeu Nadira Nusupkyzy - PhD doctoral student of the Department of Meteorology and Hydrology, Kazakh National University named after al-Farabi, Almaty, al-Farabi, 71, *nadira.medeu@mail.ru*

Yeltay Aizat Galikyzy - PhD, Head of Hydrometeorological Research Department of the Caspian Sea Research Center of the RSE «Kazhydromet», Astana, Mangilik El, 11/1, *yeltay.aiz@gmail.com*

Вклад авторов/Авторлардың қосқан үлесі/Authors contribution:

Медеу Нәдира Нүсүпқызы- общее руководство, разработка концепции, разработка методологии, проведение анализа, проведение исследования, подготовка и редакцирование текста

Елтай Айзат Ғалиқызы – подготовка и редакцирование текста

Медеу Нәдира Нүсүпқызы - жалпы басқару, тұжырымдаманы әзірлеу, әдістемені әзірлеу, талдау жүргізу, зерттеу жүргізу, мәтінді дайындау және өңдеу

Елтай Айзат Ғалиқызы - мәтінді дайындау және өңдеу

Medeu Nadira Nusupkyzy – supervision, concept development, methodology development, conducting analysis, conducting research, preparing and editing the text

Yeltay Aizat Galikyzy - preparing and editing the text

УДК 551.521.1: 631.4 **МРНТИ 44.37.01**

МЕТОДЫ ОПРЕДЕЛЕНИЯ РАДИАЦИОННОГО БАЛАНСА ПОЧВЕННОГО И РАСТИТЕЛЬНОГО ПОКРОВА СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ УГОДИЙ

Ж.С. Мустафаев *д.т.н., профессор*

АО «Институт географии и водной безопасности», Алматы, Казахстан
E-mail: z-mustafa@rambler.ru

В данной статье проведен анализ расчетных методов определения радиационного баланса и фотосинтетически активной радиации почвенного и растительного покрова сельскохозяйственных угодий. Недостаток постоянных актинометрических наблюдений солнечной радиации и радиационного баланса на метеорологических станциях стран Евразийского региона приводит к широкому использованию эмпирических и полуэмпирических моделей, основанных на климатических и географических показателях. Математические модели, базирующиеся на климатических показателях, изменяющихся в пространственных и временных аспектах и формирующиеся на основе принципа природных аналогий, обеспечивают получение данных высокой достоверности и надежности. Однако расчетные методы, использующие географические показатели, не имеют физического и математического смысла, что приводит к значительным погрешностям в данных. Цель исследования – проанализировать косвенные методы для выявления их физической и математической обоснованности. Подчеркивается необходимость разработки количественных методов оценки эффективного использования фотосинтетически активной радиации для улучшения прогнозирования и управления сельскохозяйственными угодьями.

Ключевые слова: радиационный баланс, фотосинтетически активная радиация, сельскохозяйственные угодья, эмпирические модели, полуэмпирические модели, климатические показатели, географические показатели, математическое моделирование, природные аналогии.

Поступила: 27.12.23
DOI: 10.54668/2789-6323-2024-113-2-25-33

ВВЕДЕНИЕ

Радиационный баланс или фотосинтетически активная радиация почвенного и растительного покрова сельскохозяйственных угодий, харак-теризующие приток тепла в виде лучистой энергии, являются важнейшей составной частью процесса теплообмена. Под влиянием радиационного баланса изменяются энергетические ресурсы атмосферы и земной поверхности, выполняющие средообразующие или экологические функции, что является научной основой для производства сельскохозяйственной продукции. Эти процессы напрямую влияют на рост и развитие сельскохозяйственных культур, что делает их важными для агрономии и управления сельским хозяйством.

Однако в настоящее время в странах Евразийского региона актинометрическая сеть, которая проводит постоянное наблюдение за солнечной радиацией и радиационным балансом, невелика. В связи с этим недостаток многолетних информационно-аналитических данных приводит к необходимости использования косвенных методов расчета радиационного баланса или фотосинтетически активной радиации почвенного и растительного покрова сельскохозяйственных угодий.

В результате анализа исследований расчетных методов определения радиационного баланса или фотосинтетически активной радиации почвенного и растительного покрова сельскохозяйственных угодий установлено, что для разработки математических моделей в основном используется сумма температур воздуха выше 10°C, изменяющихся в пространственном

и временном аспектах. Также существуют методы, построенные на географических показателях, которые практически пригодны только для тех условий, для которых они разработаны. Это требует необходимости оценить их физическую обоснованность с точки зрения принципов природных аналогий, обеспечивающих воспроизведение естественных процессов функционирования компонентов природы.

Цель исследования – проанализировать косвенные методы определения радиационного баланса или фотосинтетически активной радиации почвенного и растительного покрова сельскохозяйственных угодий для выявления их физического и математического смысла, что обеспечивает обоснованность, достоверность и надежность этих методов.

Объекты исследования – эмпирические и полуэмпирические математические модели, используемые для определения радиационного баланса или фотосинтетически активной радиации почвенного и растительного покрова сельскохозяйственных угодий.

Методы исследования включают анализ и сравнение существующих математических моделей, эмпирических данных и климатических показателей. Ожидается, что результаты исследования помогут улучшить точность и надежность оценок радиационного баланса, что в свою очередь, будет способствовать более эффективному управлению сельскохозяйственными ресурсами и повышению урожайности.

Таким образом, исследование внесет значимый вклад в развитие методов оценки радиационного баланса и их применение в сельскохозяйственной практике, обеспечивая научную базу для принятия обоснованных решений в агрономии и мелиорации.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Одним из фундаментальных направлений по оценке радиационного баланса или фотосинтетически активной радиации почвенного и растительного покрова сельскохозяйственных угодий является направление, развиваемое в работах В.С. Мезенцева, И.В. Карнацевича, Г.В. Беленко, Ю.Н. Плотникова, С.Д. Полисадова, Ю.Н. Никольского и В.В. Шабанова. В этих работах для оценки радиационного баланса используются климатические показатели, изменяющиеся в пространственных и временных аспектах.

Существует большое количество исследований, среди которых можно выделить работы Б.М. Братченко, В.М. Левшунова, Ю.Г. Безбородова, Н.Н. Хожанова, Ж.С. Ауганбаева, К.К. Мусабекова, А.С. Сейтказиева, К.А. Естаева, П.И. Есенгельдиевой, Г.Н. Хожановой, Н.К. Дудкова, Х.И. Турсунбаева и. В этих работах проводится оценка радиационного баланса или фотосинтетически активной радиации почвенного и растительного покрова сельскохозяйственных угодий с использованием географических показателей местности.

Методологической основой исследования является системный подход, базирующийся на материалистической теории познания, согласно которой фундаментом познания и критерием истины признаются законы природы и принципы природопользования.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Для оценки влаго- и теплообеспеченности и природно-климатического районирования территорий природной системы в странах Евразийского региона используются коэффициент естественного увлажнения и «индекс сухости», характеризующие обмен веществ и энергии в окружающей среде.

– коэффициент естественного увлажнения ($K_{уі}$) Н. Н. Иванова (1978):

$$K_{уі}=O_{сі}/E_{осі}, \quad (1)$$

где Осі – атмосферный осадок, мм; $E_{осі}=\sum_{i=1}E_{мі}$ – суммарная испаряемость с водной поверхности, мм; n - количество месяцев в период температур воздуха выше 10 °С; $E_{мі}$ – месячная испаряемость с водной поверхности (мм), которая определяется по формуле:

$$E_{мі}=0,0018\times(t_i+25)^2\times(100-\alpha_i), \quad (2)$$

здесь t_i – среднемесячная температура воздуха, °С; α_i – среднемесячная относительная влажность воздуха, %;

– «индекс сухости» или гидротермический коэффициент ($\overline{R}_i$) М. И. Будыко (1956):

$$\overline{R}_i = R_i / L \times O_{ci}, \quad (3)$$

где R_i – радиационный баланс, определяющий приток солнечной энергии и количество фотосинтетически активной радиации, ккал/см^2 или кДж/см^2 в год; L – скрытая теплота парообразования, равно 0,6 ккал или 2,5 кДж.

Коэффициент естественного увлажнения (K_{yi}) и «индекс сухости» ($\overline{R}_i$) не только характеризуют естественную влагообеспеченность и теплообеспеченность, но и являются одними из основных средообразующих факторов, определяющих связь климатических условий практически со всеми природными элементами и подчиняющихся законам географической и широтной зональности от экватора к полюсам, имеющихся физический и математический смысл (Ж.С. Мустафаев, 2022; 2023).

Математическое выражение «индекса сухости» ($\overline{R}_i$) М.И. Будыко и коэффициента естественного увлажнения (K_{yi}) Н.Н. Иванова имеют одинаковый смысл, так как «индекс сухости» является обратной величиной коэффициента естественного увлажнения:

$$K_{yi} = 1/\overline{R}_i \rightarrow O_{ci}/E_{oci} = L \times O_{ci}/R_i \rightarrow O_{ci}/E_{oci} = O_{ci}/E_i, \quad (4)$$

где $E_i = R_i/L$ – суммарное испарение с почвенного и растительного покрова сельскохозяйственных угодий, мм.

По Н.В. Данильченко (1999) суммарное водопотребление или суммарный расход воды на транспирацию растений и испарение с поверхности почвы, являющихся основным элементом водного баланса орошаемых земель, принимается равным испаряемости, скорректированной с учетом биологической особенности сельскохозяйственных культур и изменением термического состояния территории под влиянием орошения, которое определяется по формуле:

$$E_{vi} = K_{oi} \times K_v \times E_{oi}, \quad (5)$$

где E_{vi} – суммарное водопотребление сельскохозяйственных культур, мм; K_{oi} – микроклиматический коэффициент, характеризующий уменьшение влагопоглощающей способности приземного слоя атмосферы над сельскохозяйственным полем под влиянием орошения; K_{vi} – биологический коэффициент, учитывающий биологические свойства сельскохозяйственных культур и ее влияние на режим потребления воды.

Используя зависимость между испаряемостью с водной поверхности (E_{oi}) и суммарное водопотребление сельскохозяйственных культур (E_{vi}), можно получит математическую модель для определения суммарного водопотребления сельскохозяйственных угодий (E_{ali}), базирующихся на испаряемости с водной поверхности (E_{oi}), которые не меняют структуры математического выражения:

$$E_{ali} = K_{hpi} \times E_{oi}, \quad (6)$$

где K_{hpi}– гидрофизический коэффициент, учитывающий испаряющую способность сельскохозяйственных угодий.

Параметр уравнения K_{hpi} отражает общность между суммарным водопотреблением сельскохозяйственных угодий (E_{ali}) и испарением с водной поверхности (E_{oi}), что характеризует взаимосвязанность и взаимообусловленность коэффициента естественного увлажнения и «индекса сухости»:

$$K_{hpi} \times (O_{ci}/E_{oci}) = O_{ci}/E_i. \quad (7)$$

В связи с отсутствием постоянных актинометрических исследований и наблюдений по солнечной радиации и радиационному балансу во всех метеорологических станциях по причине их сложности и, для их определения используется метод косвенного расчета радиационного баланса с использованием полуэмпирических и эмпирических связей радиационного баланса с его факторами (В.С. Мезенцев, 1974).

Эмпирическая связь радиационного баланса (R_i, ккал/см^2) с суммой температур воздуха ($\sum t_{ci} > 10\ ^oC$) выше 10 ^{o}C:

– для районов избыточного увлажнения:

$$R_i = 0{,}01042 \times (\sum t_{ci} > 10\ ^oC + 8{,}52); \quad (8)$$

– для Урала:

$$R_i=0,011\times(\sum t_{ci}>10\,^oC+7,0); \quad (9)$$

– для Беларусии:

$$R_i=0,0093\times(\sum t_{ci}>10\,^oC+10,80); \quad (10)$$

– для юго-востока Западной Сибири:

$$R_i=2,25\times(\sum t_{ci}>10^oC/1000)^2+0,60\times \times(\sum t_{ci}>10^oC/1000)+20,4. \quad (11)$$

– для аридной зоны России и Центральной Азии (Ю.Н. Никольский, В.В. Шабанов,1986):

$$R_i=0,0079\times(\sum t_{ci}>10\,^oC+13,39); \quad (12)$$

Полуэмпирические связи радиационного баланса (R_i) с широтой (φ_i) и высотной-местности (H_i) (В.С. Мезенцев, 1974):

– для станций СНГ (Б.М. Барченко, 1967):

$$R_i=88,3-1,06\times\varphi_i-0,0324\times H_i0,8+0,15\times\alpha_i, \quad (13)$$

где α – продолжительность солнечного сияния за май...август в процентах от возможного;

– для Средней Сибири (В.М. Левшунов, 1971):

$$R_i=92,16-1,122\times\varphi_i-0,0367\times H_i. \quad (14)$$

Для определения радиационного баланса на территориях Центральной Азии, Ю.Г. Безбородов, Н.Н. Хожанов, Ж.С. Ауганбаев (2020), рекомендуют линейно-корреляционную модель в зависимости от высота местности (H_i), и имеют следующий вид:

$$R_i=0,190\times H_i+113,6,\ кДж/см^2. \quad (15)$$

Полуэмпирические уравнения построенные на основе линейно-корреляционной модели для определения радиационного баланса (R_i) с широтой (φ_i) и высотной местности (H_i) Б.М. Братченко (1967), В.М. Левшунова (1971), Ю.Г. Безбородова, Н.Н. Хожанова, Ж.С. Ауганбаева (2020) не имеют физический и математический смысл, так как они построены на постоянных географических показателях, которые не относиться к физическим факторам, обладающих изменчивостью во временных аспектах.

Н.Н. Хожановым и др. (2017), для углубленного изучения формирования радиационного баланса почвенного и растительного покрова сельскохозяйственных угодий с учетом географии местности, получены корреляционные зависимости отметки местности (H_i) с индексом сухости ($\overline{R}_i$):

– для Туркестанской (Южно-Казахстанской) области:

$$H_i=1000-250\times\overline{R}_i\rightarrow\overline{R}_i=4-(H_i/250); \quad (16)$$

– для Северо-Казахстанской области:

$$H_i=1270-794\times\overline{R}_i\rightarrow\overline{R}_i=1,6-(H_i/794); \quad (17)$$

– для Западно-Казахстанской области:

$$H_i=250-113,6\times\overline{R}_i\rightarrow\overline{R}_i=2,2-(H_i/113,6). \quad (18)$$

Далее, с использованием линейно-корреляционной модели «индекса сухости» в зависимости от отметки местности в виде $\overline{R}_i=b-(H_i/\alpha)$ и приравнивая их показатели к индексу сухости $\overline{R}_i=R_i/L\times O_{ci}$, Н. Н. Хожанов и др. (2017) доказывают возможность установить фактические показатели радиационного баланса (R_i) конкретной территории с большей достоверностью:

– для Туркестанской (Южно-Казахстанской) области:

$$R_i/L\times O_{ci}=4-(H_i/250)\rightarrow R_i=[L\times O_{ci}\times \times(1000-H_i)]/250; \quad (19)$$

– для Северо-Казахстанской области:

$$R_i/L\times O_{ci}=1,6-(H_i/794)\rightarrow R_i=[L\times O_{ci}\times \times(1270-H_i)]/794; \quad (20)$$

– для Западно-Казахстанской области:

$$R_i/L\times O_{ci}=2,2-(H_i/113,6)\rightarrow R_i=[L\times O_{ci}\times \times(250-H_i)]/113,6. \quad (21)$$

Таким образом, сравнительный анализ формальных признаков модели и физического содержания параметров модели для определения

радиационного баланса почвенного и растительного покрова сельскохозяйственных угодий показывает наличие их значимой корреляционной связи с атмосферными осадками и отметками местности, которые использованы для определения радиационного баланса различных областей Республики Казахстан, где их количественное значение в пространственных аспектах колеблется на территории Туркестанской области – 305,3…636,1 кДж/см^2, Северо-Казахстанской области – 270,8…307,7 кДж/см^2 и Западно-Казахстанской области – 269,9…473,7 кДж/см^2 (Н.Н. Хожанов; 2017).

Отсюда следует, что суммарное водопотребление сельскохозяйственных угодий, которое определяется по формуле М.И. Будыко (1956) имеет следующей вид – $E_i=R_i/L$, и тогда при скрытой теплоте парообразования (L), равной 2,5 кДж/см^2 их количественное значение на территории Туркестанской области – 1221,2…2544,4 мм, Северо-Казахстанской области – 1083,2…1230,8 мм и Западно-Казахстанской области – 1079,6…1894,8 мм, что не реально и не подтверждается логическими выводами вытекающие из познавательного, а не действительного отношения, и претендующие на объективную и абсолютную истину.

На основе полученной линейно-корреляционной модели для определения радиационного баланса (R_i), Ю.Г. Безбородовым, Н.Н. Хожановым, Ж.С. Ауганбаевым (2020), выведен радиационный индекс абсолютной высоты местности, имеющий следующей вид:

$$\overline{R}_{Hi}=R_i/H_i. \qquad (22)$$

Развивая идею построения «универсальной» модели для оценки воздействия энергетических ресурсов на рост и развитие сельскохозяйственных культур, Ю.Г. Безбородовым, Н.Н. Хожановым, Н.К. Дудковым (2023) выявлена связь коэффициента естественного увлажнения (K_{yi}) с радиационным индексом абсолютной отметки местности ($\overline{R}_{Hi}$):

$$K_{yi}=\alpha\times\overline{R}_{Hi}+b=0{,}281\times\overline{R}_{Hi}+0.098, \qquad (23)$$

где α – коэффициент регрессии; b – свободный член, отражающий минимальное значение временного ряда.

Подставляя в уравнение (23) математическое значение $K_{yi}=O_{ci}/E_{oci}$ и $\overline{R}_{Hi}=R_i/H_i$, а также после некоторых преобразований получим коэффициент солнечной радиации, характеризующий ослабление солнечной энергии (Ю.Г. Безбородов, Н.Н. Хожанов, Н.К. Дудков, 2023):

$$KR_i=R_i\times E_{ci}/O_{ci}\times H_i. \qquad (24)$$

Итак, на наш взгляд уравнение (24) невозможно получить путем математического преобразования уравнения (23), так как после вставления уравнения (23) математических значений $K_{yi}=O_{ci}/E_{oci}$ и $\overline{R}_{Hi}=R_i/H_i$, получаем следующее выражение:

$$O_{ci}/E_{oci}=0{,}281\times R_i/H_i+0{,}098. \qquad (25)$$

На основе уравнения (25) после некоторых математических преобразований можно получить уравнение, не имеющий физический и математический смысл:

$$O_{ci}/E_{oci}=0{,}281\times R_i/H_i+0{,}098\rightarrow R_i\times \\ \times E_{oci}/O_{ci}\times H_i=[3{,}559-0{,}3488\times(E_{oci}/O_{ci})]. \qquad (26)$$

Как видно из уравнения (26), его правая часть не имеет физического смысла и не может характеризовать в явном виде коэффициент солнечной энергии.

Для многофакторного анализа широко используется квалиметрическая модель, базирующаяся на методах качественного анализа, которая дает понимание упорядоченного количества множеств статистических показателей, посредством количественных мер, определяющих состояние компонентов природной системы, и позволяющий формально получить коэффициент солнечной энергии:

$$K_{Ri}=K_{yi}\times\overline{R}H_i=(O_{ci}/E_{oci})\times(R_i/H_i)=R_i\times \\ \times E_{oci}/O_{ci}\times H_i. \qquad (27)$$

Для природно-сельскохозяйственного районирования земельного фонда в странах Евразийского региона используется энергетический коэффициент (K_{ti}) Д.И. Шашко (1967):

$$K_{ti}=\sum t_{ci}>10\ ^oC/1000, \qquad (28)$$

где $\sum t_{ci}>10$ °C – сумма температур выше +10 °C, отражающая поступление солнечной энергии и теплообеспеченность сельскохозяйственных культур; 1000 °C – число, равное сумме температур на современной границе поливного земледелия.

На основе энергетического коэффициента K_{ti}) Д.И. Шашко (1967), Ю.Г. Безбородова, Н.Н. Хожанова, Н.К. Дудкова (2023) получен коэффициент теплообеспеченности сельскохозяйственных культур:

$$k_i= \sum t_{ci}>10\ ^oC/\sum t_{cai}>10\ ^oC, \qquad (29)$$

где $\sum t_{cai}>10$ °C – сумма биологически активных температур воздуха за вегетационный период сельскохозяйственных культур.

На основе уравнений (28) и (29) можно определить коэффициент использования сумма температур выше +10 °C за вегетационный период сельскохозяйственных культур, который будет иметь следующий вид:

$$k_{ti}= \sum t_{ca\,i}>10\ ^oC/\sum t_{ci}>10\ ^oC. \qquad (30)$$

Основным механизмом формирования урожайности сельскохозяйственных культур является процесс транспирации, движущей силой которого служит радиационный баланс и фотосинтетически активная радиация (PAR_i) (А.А. Ничипорович и др., 1961).

Основываясь на методах программирования продуктивности культур М.К. Каюмова (1989), потенциальный урожай сельскохозяйственных куль-тур, обеспеченный приходом PAR_i, можно определить по формуле:

$$PPB_i=R_i\times k_{ti}\times K_{PAR}\times 10^4/q_i, \qquad (31)$$

где PPB_i – потенциальная урожайность сухой биомассы растения, ц/га; R_i– радиационный баланс или приход фотосинтетически активной радиации (PAR_i) за период сумма температур выше +10 °C, кДж/см^2; K_{PAR} – коэффициент использования ФАР посевами, %; q_i – калорийность урожая (целого растения), кДж/кг. Растительные покровы рассматриваются как приемники радиации, которые имеют различную геометрическую структуру и среду, при этом листовая поверхность в посеве играет основной роль для использования фотосинтетически активной радиации (PAR_i) за период вегетации сельскохозяйственных культур (Х.Г. Тооминг, 1984). Следовательно, коэффициент использования фотосинтетически активной радиации (PAR_i) в реальных посевах во многом зависит от ориентации листьев сельскохозяйственных культур, то есть в сравнения с горизонтальной ориентацией листьев, в вертикальной поглощается больше фотосинтетически активной радиации (PAR_i), обеспечивающих высокую продуктивность сельскохозяйственных культур. В связи с этим, следует отметить, что определение прихода фотосинтетически активной радиации (PAR_i) за период вегетации сельскохозяйственных культур по формуле Безбородова, Н.Н. Хожанова, Н.К. Дудкова (2023), в зависимости от коэффициента солнечной радиации (K_{Ri}) и высоты растений (h_{pi}), имеет следующий вид: $R_i=K_{Ri}\times h_{pi}$ (где h_{pi} – высота растений, м), что не реально, так как использование фотосинтетически активной радиации (PAR_i) Солнца сельскохозяйственными культурами в основном зависит от площади поверхности листьев растений. Используя формулу (31) для расчета теоретически возможной биологической урожайности, можно определить коэффициент использования фотосинтетически активнойя радиации (K_{PAR}) посевами, характеризующий эффективность использования энергетических ресурсов сельскохозяйственными культурами:

$$K_{PAR}=ABY_i\times q_i/R_i\ \times k_{ti}\times 10^4, \qquad (32)$$

где ABY_i – фактически полученная в опыте биологическая урожайность сельскохозяйственных культур (общая сухая биомасса), ц/га; $R_i\cdot k_{ti}$ – приход ФАР за период вегетации сельскохозяйственных культур, кДж/см^2; q_i – калорийность урожая целого растения, кДж/кг.

Анализ показал, что расчетные формулы для оценки радиационного баланса почвенного и растительного покрова и эффективности использования энергетических ресурсов сельскохозяйственных угодий, как это принято разработчиками во всех случаях носит узкий и предметный характер, не включает познающую и преобразующую деятельность.

С этой точки зрения главной ценностью, на которую должна быть ориентирована разработка количественных методов оценки эффективного использования почвенным и растительным покровам фотосинтетически активной радиации (PAR_i) Солнца, является математическое моделирование реальных природных процессов, учитывающих изменения в пространственных и временных аспектах.

Таким образом, при разработке физически достоверных и математически надежных моделей для прогнозирования радиационного баланса почвенного и растительного покрова сельскохозяйственных угодий во временных и пространственных аспектах, необходимо обеспечить соблюдение принципа природных аналогий и их синхронности между оцениваемыми и используемыми факторами, которые по возможности воспроизводят естественные процессы функционирования компонентов природы.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Азгальдов Г.Г., Райхман Э.П. О квалиметрии.-М.: Издательство стандартов, 1973.-172 с.
2. Безбородов Ю.Г., Хожанов Н.Н., Ауганбаев Ж.С. Оценка продуктивности мелиоративных агроландшафтов Жамбылской области // Природообустройство, 2020.- №4.- С. 22-27.
3. Безбородов Ю.Г., Хожанов Н.Н., Дуданов Н.К. Расчет фотосинтетической активной радиации // Природообустройство, 2023.- №3.- С. 66-71.
4. Будыко М.И. Тепловой баланс земной поверхности.– .: Гидрометеоиздат, 1956. – 256 с.
5. Данильченко Н.В. Биоклиматическое обоснование суммарного водопотребления и оросительных норм // Мелиорация и водное хозяйство, 1999.- №4.- С.25-29.
6. Иванов Н.Н. 1941. Зоны увлажнения земного шара // Известия АН СССР. Серия география и геофизика. – 1978. – № 3. – С. 261–288.
7. Каюмов М.К. Программирование продуктивности полевых культур. – М.: Агропромиздат, 1989. – 186 с.
8. Мезенцев В.С., Карнацевич И.В., Беленко Г.В., Братченко Б.М., Плотников Ю.Н., Полисадов С.Д. Режимы влагообеспеченности и условия гидромелиораций степного края. М.: Колос, 1974.- 240 с.
9. Мустафаев Ж.С. Экологический профиль мелиорации сельскохозяйственных земель //Природообустройство, 2022.-№2.- С. 13-22.
10. Мустафаев Ж.С. О генетической (гносеологической) теории мелиорации сельскохозяйственных земель//Природообустройство, 2023.-№2.- С. 23-27.
11. Ничипорович А.А., Строганова Л.Е., Чмора С.Н., Власова Н.П. Фотосинтетическая деятельность растения в посевах. – М., изд. АН СССР, 1961. – 160 с.
12. Никольский Ю.Н., Шабанов В.В. Расчет проектной урожайности в зависимости от водного режима мелиорируемых земель // Гидротехника и мелиорация. – 1986. – № 9. – С. 52–56.
13. Тооминг Х.Г. Экологические принципы максимальной продуктивности посевов. – Л.: Гидрометеоиздат, 1984. – 264 с.
14. Шашко Д.И. Агроклиматические районирование СССР. - М.: Колос, 1967.- 312 с.
15. Хожанов Н.Н., Мусабеков К.К., Сейтказиев А.С., Есенгельдиева П.Н., Естаев К.А., Хожанова Г.Н., Турсунбаев Х.И. Комплексная мелиорация- основа зеленной экономики в земледелии // International Scientific Review № 5(36) / International Scientific Review of the Problems and Prospects of Modern Science and Education: XXXIV International Scientific and Practical Conference. - Chicago, USA - 25 MAY, 2017. -С. 50-55.
16. Хожанов Н.Н., Сейтказиев А.С., Турсунбаев Х.И., Мусабеков К.К., Естаев К.А., Масатбаев М. Энергетические основы интенсивной системы земледелия // Вестник науки и образования, 2017.- №12 (36). - том 1.- С. 34-40.

REFERENCE

1. Azgaldov G.G., Raikhman E.P. About qualimetry. - M.: Standards Publishing House, 1973. - 172 p.
2. Bezborodov Yu.G., Khozhanov N.N., Auganbaev Zh.S. Assessment of the productivity of reclamation agrolandscapes in the Zhambyl region // Nature Management, 2020.- No. 4.- p. 22-27.
3. Bezborodov Yu.G., Khozhanov N.N., Dudanov N.K. Calculation of photosynthetic active radiation // Nature Management, 2023.- No. 3.- P. 66-71.
4. Budyko M.I. Thermal balance of the earth's surface. – L.: Gidrometeoizdat, 1956. – 256 p.
5. Danilchenko N.V. Bioclimatic justification of total water consumption and irrigation standards // Melioration and water management, 1999.- No. 4.- P.25-29.
6. Ivanov N.N. 1941. Moisture zones of the globe // Proceedings of the USSR Academy of Sciences. Geography and geophysics series. – 1978. – No. 3. – P. 261–288.
7. Kayumov M.K. Programming the productivity of field crops. – M.: Agropromizdat, 1989. – 186 p.
8. Mezentsev V.S., Karnatsevich I.V., Belenko G.V., Bratchenko B.M., Plotnikov Yu.N., Polisadov S.D. Moisture supply regimes and conditions for hydromelioration of the steppe region. M.: Kolos, 1974. - 240 p.
9. Mustafaev Zh.S. Ecological profile of agricultural land reclamation // Nature Management, 2022.-No. 2.- P. 13-22.
10. Mustafaev Zh.S. On the genetic (epistemological) theory of agricultural land reclamation // Nature Management, 2023.-No. 2.- P. 23-27.
11. Nichiporovich A.A., Stroganova L.E., Chmora S.N., Vlasova N.P. Photosynthetic activity of plants in crops. – M., ed. USSR Academy of Sciences, 1961. – 160 p.
12. Nikolsky Yu.N., Shabanov V.V. Calculation of design yield depending on the water regime of reclaimed lands // Hydrotechnics and land reclamation. – 1986. – No. 9. – P. 52–56.
13. Tooming H.G. Ecological principles of maximum crop productivity. – L.: Gidrometeoizdat, 1984. – 264 p.
14. Shashko D.I. Agroclimatic zoning SSSO.- M.: Kolos, 1967.- 312 p.

15. Khozhanov N.N., Musabekov K.K., Seitkaziev A.S., Yesengeldieva P.N., Estaev K.A., Khozhanova G.N., Tursunbaev Kh.I. Integrated land reclamation is the basis of the green economy in agriculture // International Scientific Review No. 5(36) / International Scientific Review of the Problems and Prospects of Modern Science and Education: XXXIV International Scientific and Practical Conference. - Chicago, USA - MAY 25, 2017. -WITH. 50-55.
16. Khozhanov N.N., Seitkaziev A.S., Tursunbaev Kh.I., Musabekov K.K., Yestaev K.A., Masatbaev M. Energy foundations of an intensive farming system // Bulletin of Science and Education, 2017.- No. 12 (36). - volume 1. - p. 34-40.

АУЫЛ ШАРУАШЫЛЫҒЫ ЖЕРЛЕРІНІҢ ТОПЫРАҚ ЖӘНЕ ӨСІМДІК ЖАМЫЛҒЫСЫНЫҢ РАДИАЦИЯЛЫҚ БАЛАНСЫН АНЫҚТАУ ӘДІСТЕРІ

Ж.С. Мустафаев *т.ғ.д., профессор*

«География және су қауіпсіздігі институты» АҚ, Алматы, Қазақстан
E-mail: z-mustafa@rambler.ru

Бұл мақалада ауылшаруашылық жерлерінің топырақ және өсімдік жамылғысының радиациялық балансын және фотосинтетикалық белсенді радиациясын анықтаудың есептік әдістеріне талдау жасалды. Еуразия аймағы елдерінің метеорологиялық станцияларында күн радиациясы мен радиациялық тепе-теңдікті тұрақты актинометриялық бақылаулардың болмауы климаттық және географиялық көрсеткіштерге негізделген эмпирикалық және жартылай эмпирикалық модельдерді кеңінен қолдануға әкеледі. Кеңістіктік және уақыттық аспектілерде өзгеретін және табиғи ұқсастықтар принципі негізінде қалыптасатын Климаттық көрсеткіштерге негізделген математикалық модельдер жоғары сенімділік пен сенімділік деректерін алуды қамтамасыз етеді. Алайда, географиялық көрсеткіштерді қолданатын есептеу әдістері физикалық және математикалық мағынаға ие емес, бұл деректерде елеулі қателіктерге әкеледі. Зерттеудің мақсаты-олардың физикалық және математикалық негізділігін анықтаудың жанама әдістерін талдау. Ауылшаруашылық жерлерін болжау мен басқаруды жақсарту үшін фотосинтетикалық белсенді сәулеленуді тиімді пайдалануды бағалаудың сандық әдістерін әзірлеу қажеттілігі атап өтілді.

Түйін сөздері: радиациялық баланс, фотосинтетикалық белсенді радиация, ауыл шаруашылығы жерлері, эмпирикалық модельдер, жартылай эмпирикалық модельдер, климаттық көрсеткіштер, географиялық көрсеткіштер, математикалық модельдеу, табиғи ұқсастықтар.

METHODS FOR DETERMINING THE RADIATION BALANCE OF SOIL AND VEGETATION COVER OF AGRICULTURAL LANDS

Zh.S. Mustafayev *Doctor of Technical Sciences, Professor*

JSC «Institute of Geography and Water Security», Almaty, Kazakhstan
E-mail: z-mustafa@rambler.ru

In this article, an analysis of calculation methods for determining the radiation balance and photosynthetically active radiation of soil and vegetation cover of agricultural land is conducted. The lack of continuous actinometric observations of solar radiation and radiation balance at meteorological stations in the Eurasian region leads to the widespread use of empirical and semi-empirical models based on climatic and geographical indicators. Mathematical models based on climatic indicators, which vary in spatial and temporal aspects and are formed on the basis of the principle of natural analogies, provide reliable and accurate data. However, calculation methods that use geographical indicators do not have physical and mathematical meaning, resulting in significant errors in the data. The aim of the research is to analyze indirect methods to identify their physical and mathematical justification.

The need for the development of quantitative methods for assessing the effective use of photosynthetically active radiation to improve forecasting and management of agricultural land is emphasized.

Keywords: radiation balance, photosynthetically active radiation, agricultural land, empirical models, semi-empirical models, climatic indicators, geographical indicators, mathematical modeling, natural analogies.

Сведения об авторе /Автор туралы мәліметтер/Information about author:

Мустафаев Жумахан Сулейменович– профессор, доктор технических наук, главный научный сотрудник лаборатории ландшафтоведения и проблем природопользования АО «Институт географии и водной безопасности», Алматы, ул. Пушкина, 99, *z-mustafa@rambler.ru*

Мустафаев Жумахан Сулейменович– профессор, техникалық ғылымдарының докторы, «География және су қауіпсіздігі институты» АҚ ландшафттану және табиғатты пайдалану мәселелері зертханасының бас ғылыми қызметкері қауіпсіздігі институты» АҚ ландшафттану және табиғатты пайдалану мәселелері зертханасының бас ғылыми қызметкері, Алматы, Пушкин к-і, 99, *z-mustafa@rambler.ru*

Mustafayev Zhumakhan - Doctor of Technical Sciences, Professor , Chief Researcher, Laboratory of Landscape Science and Environmental Management Problems of JSC «Institute of Geography and Water Security», Almaty, 99, Pushkin str, *z-mustafa@rambler.ru*

UDC 551.5 IRSTI 37.21

THE ROLE OF AIR TEMPERATURE AND DEW POINT DURING FOG RECURRENCES ON THE ABSHERON PENINSULA (AZERBAIJAN)

H.V. Mammadova

National Aviation Academy AZ1044, Baku, Azerbaijan
E-mail: hajar.mammadova@azans.az

The article focuses on the characteristics of air temperature and dew point changes observed during repeated fog events in the Absheron Peninsula in 2000...2022. For this purpose, continuous observation data of Heydar Aliyev International Airport was used. Here is an analysis of all types of fog by month of occurrence. The limits of total fog, Meteorological Optical Range ≤ 500 m. and 501...1000 m. are considered in the analysis. Repeating such criteria, attention was paid to the recorded air temperature and dew point indicators for I...III, IV...VI and X...XII months of the year. The analyzes show that the fogs observed in the peninsula are mostly recorded at a temperature of 6...8 ^{0}C. The most commonly observed dew point temperature ranges of 0,0...0,3 ^{0}C and 1,0...1,2 ^{0}C at all ranges of MOR in fog repeats. The results of the research are of particular importance for the planning of the work of all transport areas and the forecast of fogs.

Keywords: fog, meteorological optical range (MOR), air temperature, dew point temperature, automatic weather station, physical-meteorological analysis.

Accepted:16.05.24
DOI: 10.54668/2789-6323-2024-113-2-34-41

INTRODUCTION

Recurrence of fog events is observed with decreasing Meteorological Optical Range (MOR) (Huseynov N.Sh.,2011, Guliyev H.I. et al, 2004). This atmospheric phenomenon poses a threat to agriculture and transport. Reduced visibility creates difficulties in driving a vehicle, and as a result, accidents are inevitable (Tanriverdiyev X.K. et al, 2015, Mehdiyev A.S. et al, 2008). The area of transport where fog events pose a greater threat is air transport. Loss of horizontal visibility paralyzes the operation of air transport. This violates the minimum visibility of aircrafts, does not allow them to take off and land on the runway, free movement and approach to the stop (Tanriverdiyev X.K. et al, 2015, Huseynov N.Sh., 2011, Mehdiyev A.S. et al, 2008). On 27.03.1977, which went down in history as the «Tenerife airport tragedy», the failure to track the movement of two aircrafts on the runway resulted in the tragic loss of 583 passengers on both aircrafts. There are many such facts in the history of air transport (Mammadova G.A., 2017). For this reason, the constant repetition and study of fog events is important for the safety of transport.

The phenomenon of fog is characterized by the loss of meteorological visibility due to the accumulation of sublimation and condensation products in the atmospheric layer near the surface of the earth in calm weather conditions, at certain temperature and dew point limits. The warning received by the Civil Aviation Authority due to the reduction of the horizontal visibility distance (SPECİ) is issued when the limits of 1000, 850, 550, 300, 150, 75 m are exceeded. At this time, the control body and the staff controlling the aircraft, according to the accepted criteria, make an important decision for the flight with the help of the equipment.

In order to study the occurrence of fog, its physical properties are studied. The dependence of fog on other meteorological parameters, the change of its appearance and other meteorological elements in its different extremes are constantly attracting attention.

A. M. Shikhlinski, A. J. Eyyubov, H. I. Guliyev, N. Sh. Huseynov, R. N. Mahmudov and other scientists played a great role in the investigation of various features of fog phenomena across the country. In such studies, attention was paid to the theoretical basis of fog, microphysics,

theoretical basis of fog, microphysics, distribution of foggy days throughout the year in space and time.

The extensive study of the effects of fog on air transport in the country belongs to N. Sh. Huseynov. N. Sh. Huseynov extensively studied the physical and geographical features of the recurrence of fog events at the airports of Azerbaijan, and focused on the role of other meteorological factors in their formation. However, the conducted research should be constantly updated and modernized. The increase in the number of observations, the development of scientific and technological tools for the statistical registration of fogs makes it necessary to take such steps (AAR-ANS-008 Meteorological service to air traffic, Mammadov R.M., 2013).

MATERIALS AND METHODS

The fog monitoring data of the H. Aliyev International Airport (-7 m) operating on the Absheron Peninsula covering the years 2000...2022 were used in the research. The research was conducted on the basis of mathematical and physical-statistical methods. The observational data used in the study are based on the regular fog registration of the most modern transmissometers installed in the automatic meteorological stations. During the analysis, the occurrences of fog recurrence at different thresholds of air temperature and dew point recorded in the observations of all types of fog were investigated. They are grouped by I...VI and X...XII months according to the recurrence characteristics of fog events (Tanriverdiyev X.K. et al, 2015, Mammadov R.M., 2013).

The purpose of the study

Determining the recurrence characteristics of fog events at different extremes of air temperature and dew point throughout the year. For this purpose, the characteristics of their recurrences in several gradations of air temperature and dew point recorded during fogs recurring in multi-year seasons in 2000...2022 are investigated.

DISCUSSION AND RESULTS OF THE STUDY

The Absheron Peninsula is the most important region in terms of aviation operations in the country. In addition to small aviation, in order to increase the activity of international and local air flights, the safety of flights must be ensured first.

The Absheron water area has a complex physical-geographical position (Andersen H. et al, 2020, AAR-ANS-008 Meteorological service to air traffic). Cold, dry, humid air masses coming to the area from the north, south and east throughout the year and the Caspian Sea determine the synoptic conditions of this area (Tanriverdiyev X.K. et al, 2015, Kanchan, L. et al, 2022). Also, during the transitional periods of the year, fog formation occurs in this region in clear weather conditions and with the intervention of southern air masses in the region. Depending on the type of fog that occurs on the Absheron Peninsula, depending on the conditions of its formation, it sometimes lasts for several days and slows down the traffic (AAR-ANS-008 Meteorological service to air traffic, Hydrometeorological Atlas of the Caspian Sea...2014).

Fogs are divided into advective, radiative and mixed types according to the conditions of formation (Tanriverdiyev X.K. et al, 2015, Huseynov N.Sh., 2011). The formation of fogs on the Absheron Peninsula coincides with the cold period of the year. The main factors that play a role in the formation of fogs are air temperature and dew point (Tanriverdiyev X.K. et al, 2015, Ayyubov A.C. et al, 1984). That is why, the role of air temperature and dew point in their repetition was investigated in the research work on the months of the year.

During fog events, the repetitions of air temperature and dew point in different gradations are distributed differently. Thus, during the years 2000...2022, in repeated fog events in January, February and March, 28 % of the cases where the meteorological optical range was ≤ 500 m were 6...8 ^{0}C, 24 % were 4...6 ^{0}C, 14 % were 0...2 ^{0}C, 12 % occurred in air temperature conditions of 2...4 ^{0}C. At this MOR threshold, 1 % each occurred in the intervals -4...-2 ^{0}C (3 %), -2...0 ^{0}C (5 %), 10...12 ^{0}C and 14...16 ^{0}C, and 3 % at 22...24 ^{0}C. Summarizing the result, the main part (97 %) of repeated fogs was recorded in the range of 0...12 ^{0}C, especially 2...10 ^{0}C (85 %), and a small part (13 %) was recorded in the air temperature range of -4...0 ^{0}C, 10...12 ^{0}C, 22...24 ^{0}C.

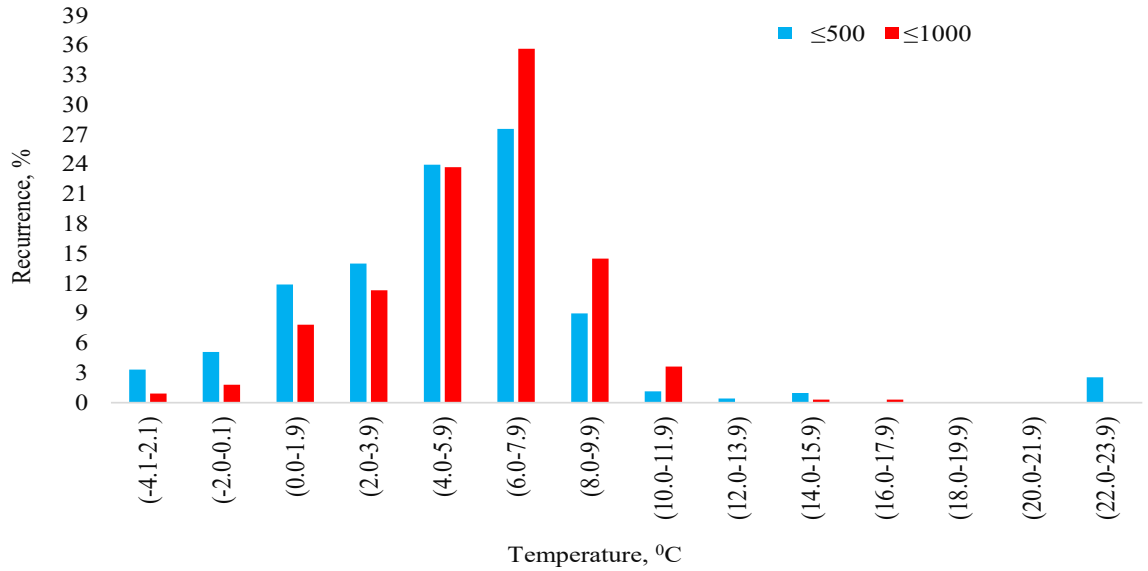


Fig. 1. *Air temperature changes during fog events in months I...III*

36 % of fog recurrences in the range of 501...1000 m of MOR are 6...8 ⁰C, 24 % are 4...6 ⁰C, 15 % are 8...10 ⁰C, 11 % are 2...4 ⁰C, 8 % -i occurred in the range of 0...2 ⁰C. At this visibility limit, 7 % of the total fogs were repeated in the range of air temperature -4 ... -2 ⁰C (1 %), -2...0 ⁰C (2 %), 10...12 ⁰C (2 %). It appears that regardless of the MOR threshold, recurring fog events in January, February, and March were mostly recorded in the 6...8 ⁰C air temperature range. In addition, 94 % of the total reproduction occurred in the air temperature conditions of 0...10 ⁰C. In the study, different thresholds of the dew point observed during the fogs that occurred in the I...III months were calculated. Analyzes show that 51 % of fogs in cases where MOR is ≤ 501m are formed under 0 ⁰C, 27 % at 0,1...0,3 ⁰C, 14 % at 1...1,2 ⁰C, and 5% at 0,4...0,6 ⁰C dew point deficiency. In the range of 501...1000 m of MOR, 42 % of fogs occur when there is a dew point deficit of 0 ⁰C, 25 % of 0,1...0,3 ⁰C, 18 % of 1...1,2 ⁰C, and 7 % of 0,4...0,6 ⁰C. At each of the other dew point deficiency thresholds, fog repeats are no higher than 2 % for both appearance criteria (Table 1).

Table 1

Variation of MOR in fogs in months I...III depending on dew point

MOR	0	0,1…0,3	0,4…0,6	0,7…0,9	1,0…1,2	1,9…2,1	2,8…3,0	4,0…4,2	Cases
≤ 500	51	27	5	1	14	0	1	0	1647
≤ 1000	42	25	7	1	18	2	2	1	662

If we focus on the different air temperature thresholds recorded during fog recurrences in April, May and June, in the phase when MOR is below 500 m, 24 % of total recurrences are 8...10 ⁰C, 21 % are 10...12 ⁰C, 20 % 6...8 ⁰C, 11 % 12...14 ⁰C, 8 % 16...18 ⁰C, 7 % 4...6 ⁰C. At other extremes of air temperature, fog recurrences are not higher than 3%, and this accounts for 9 % of the total cases. However, at MGM ≤ 501 m, 91 % of the total fog events in the 4...14 ⁰C range were repeated (Figure 2).

In April, May, and June, 24 % of repeated fog events within ≤1000 m of MOR were observed at temperature limits in the range of 8...10 and 10...12 ⁰C, 23 % were 6...8 ⁰C, 12 % were 12...14 ⁰C, 6 % were 14...16 ⁰C. In the range of 2...6 ⁰C (5 %) and 16...22 ⁰C (6 %), fog recurrences accounted for 11 % of all cases. However, 89 % of the total replication occurred in the 6...16 ⁰C range.

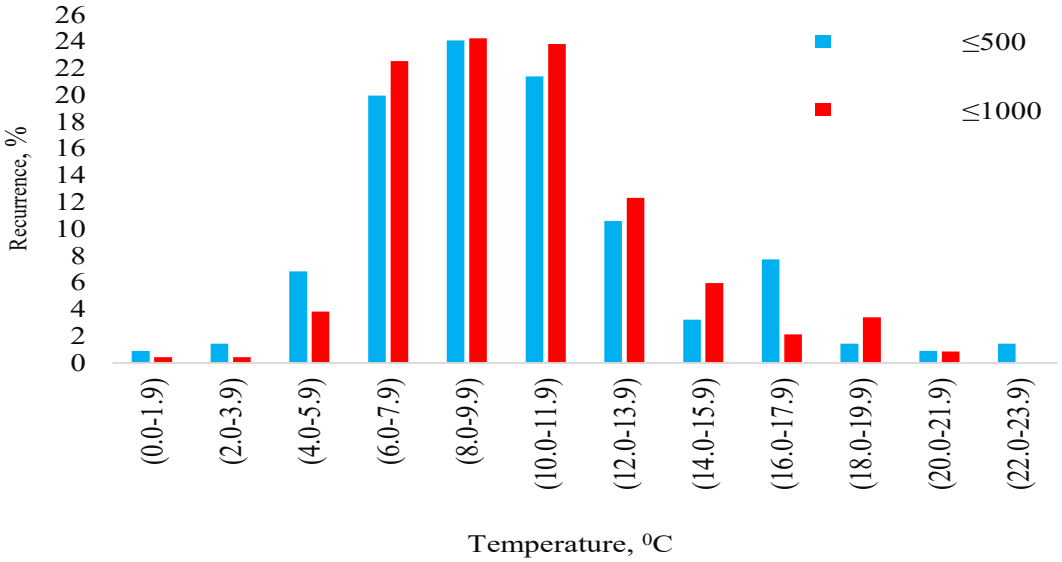


Fig. 2. *Dependence of air temperature on dew point during fog events in IV...VI months*

For both MOR thresholds, the highest fog recurrences occur in the temperature range of 6...12 ⁰C. The analysis of dew point thresholds observed during fogs during these months is also of interest. The analysis shows that more fog cases (57 %) were recorded at 0.0 ⁰C or closer to the MOR visibility limits below 500 m. During fog, the visibility distance of less than 500 m was repeated in 25 % of cases in the range of 0,1...0,3 ⁰C, and in 9 % of cases in the range of 1...1,2 ⁰C. Fog recurrences at other dew point thresholds did not exceed 3 %. 91 % of the total repeatability was recorded in the range of 0...0,3 ⁰C and 1,0...1,2 ⁰C, and 9 % in other dew point ranges.

Table 2

Variation of MOR in fogs in IV...VI months depending on dew point

MOR	0	0,1…0,3	0,4…0,6	0,7…0,9	1,0…1,2	1,9…2,1	2,8…3,0	4,0…4,2	5,0…5,2	5,9…6,1	Cases
≤ 500	57	25	3	0	9	1	2	1	1	1	556
≤ 1000	53	27	11	2	5	0	0	1	0	1	235

53 % of this visibility threshold is observed at 0 ⁰C, 27 % at 0,1...0,3 ⁰C, 11 % at 0,4...0,6 ⁰C, and 5 % at 1,0...1,2 ⁰C dew point thresholds during the MOR threshold in the range of 500...1000 m. Only 4 % of the occurrence of the total ≤1000 m MOR limit occurred in the dew point ranges of 0,7...0,9 ⁰C, 4...4,2 ⁰C, and 5,9...6,1 ⁰C. 96 % of cases where MOR is below 500 m are recorded in dew point cases of 0...0,6 and 1...1,2 ⁰C.

During fog in October, November and December, 15 % of cases of MOR below 500 m have air temperatures of 6...8 ⁰C, 13 % of 12...14 ⁰C, 12 % of 2...4 ⁰C, 8...10 ⁰C and 10...12 ⁰C, 9 % were recorded in the range of 4...6 ⁰C, 7 % in the range of 0...2 ⁰C and 14...16 ⁰C, and 6% in the range of 16...18 ⁰C. In the range of -2...0 ⁰C, 18...20 ⁰C and 20...22 ⁰C, 7 % of the total cases of MOR below 500 m are repeated. The general repeatability shows that 93 % of cases where MOR is ≤ 500 m during fog occur in the air temperature range of 0...16 ⁰C, especially in the range of 6...12 ⁰C (52 %).

In these months, 18 % of the cases of MOR observed at ≤1000 m during fog were 6...8 ⁰C, 16 % 2...4 ⁰C, 14 % 8...10 ⁰C, 12 % 12...14 ⁰C, 9 % 4...6 ⁰C, 9 % 12...14 ⁰C, 9 % 14...16 ⁰C, 6 % 0...2 ⁰C, 5 % 18...20 ⁰C. In the temperature range of -2...0 ⁰C, 16...18 ⁰C and 20...22 ⁰C, this indicator is only 5 % of the total repeatability. However, 95 % of the repetition of this appearance threshold was found to occur in the range 0...16 ⁰C, especially in the range 6...12 ⁰C (44 %).

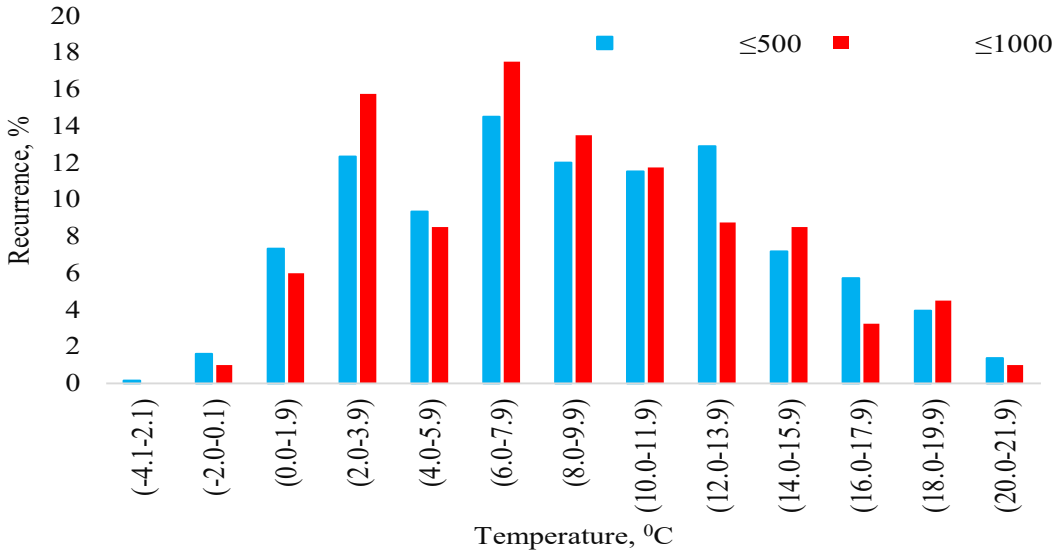


Fig. 3. *Dependence of air temperature on dew point during fog events in X...XII months*

In recurring fogs in October, November, and December, 58 % of cases where MOR was ≤500 m had a dew point of 0 ⁰C, 21 % 0,1...0,3 ⁰C, 13 % 1...1,2 ⁰C, 7 % 0,4...0,6 ⁰C recorded in the interval. Only 1 % of the total cases where this appearance threshold was repeated occurred in other dewpoint cases, 99 % in the 0...0,6 ⁰C and 1,0...1,2 ⁰C dewpoint range, especially in the 0,0...0,3 ⁰C (79 %) dewpoint range. During these months, 48 % of 501...1000 m MOR thresholds recorded during fogs were repeated at 0,0 ⁰C, 20 % at 0,1...0,3 ⁰C, 14 % at 0,4...0,6 ⁰C, and 12 % at 1,0...1,2 ⁰C dew point thresholds. During these months, 48 % of 501...1000 m MOR thresholds recorded during fogs were repeated at 0,0 ⁰C, 20 % at 0,1...0,3 ⁰C, 14 % at 0,4...0,6 ⁰C, and 12% at 1,0...1,2 ⁰C dew point thresholds. 8 % of the total repeatability was found in the dew point ranges of 0,7...0,9 ⁰C, 1,3...3,0 ⁰C and 5,0...5,2 ⁰C. However, 82 % of cases where MOR was ≤ 1000 m recorded dew point thresholds in the range 0...0,6 ⁰C (Table 3).

Table 3

Variation of MOR in fogs in X...XII months depending on dew point

MOR	0	0,1…0,3	0,4…0,6	0,7…0,9	1,0…1,2	1,3…1,5	1,9…2,1	2,8…3,0	5,0…5,2
≤ 500	58	21	7	1	13	0	0	0	0
≤ 1000	48	20	14	4	12	1	1	1	1

In the study, phase I of maximum cases of MOR below 500 m in annual repeated fog events from 2000 to 2022 is located in the range of air temperature 0...10 ⁰C and dew point 0,0 ⁰C (Table 4).

0,1...0,3 ⁰C dew point and 0...10 ⁰C range of air temperature is maximum phase II when MOR ≤500 m is observed during fog. The dew point range of 1,0...1,2 ⁰C and the temperature range of 0...10 ⁰C is phase III where the maximum of MOR is observed below 500 m. A total multiyear MOR of less than 500 m was observed in 3,668 cases.

During the multi-year period of fog, the first phase in which the cases of MOR recorded at the range of ≤ 1000 m were repeated more often occurred in the conditions of air temperature 0...14 ⁰C and dew point 0,0 ⁰C (Table 5).

The second phase, where this appearance threshold is more repeated, is the temperature range of 2...12 ⁰C and the dew point range of 0,1...0,3 ⁰C. The third maximum phase, in which the limit of MOR ≤1000 m is repeated, coincides with the approximate range of dew point 1,0...1,2 ⁰C and temperature 2...12 ⁰C.

Table 4

Variation of MOR below 500 m as a function of air temperature and dew point in annual replicated fog from 2000 to 2022

MOR	T_d, ^{0}C / T°, C	0	0,1…0,3	0,4…0,6	0,7…0,9	1,0…1,2	Summary
≤ 500 m	-4,1…2,1	1	0	0,2	0,0	0,1	2
	-2,0…0,1	2	1	0,3	0,0	0,3	3
	0,0…1,9	5	2	0,5	0,1	1,4	9
	2,0…3,9	9	3	0,9	0,2	2,7	16
	4,0…5,9	8	4	0,9	0,1	1,9	15
	6,0…7,9	13	5	0,6	0,1	1,4	20
	8,0…9,9	5	3	0,3	0,0	2,8	12
	10,0…11,9	4	2	0,2	0,1	0,9	8
	12,0…13,9	3	2	0,5	0,1	0,2	6
	14,0…15,9	2	1	0,3	0,1	0,1	3
	16,0…17,9	2	0	0,0	0,1	0,4	3
	18,0…19,9	1	0	0,1	0,0	0,3	2
	20,0…21,9	0	0	0,0	0,0	0,1	1
	22,0…23,9	1	0	0,1	0,0	0,0	1
	Summary	56	23	5	1	13	3668

Table 5

Variation of the 501…1000 m threshold of MOR as a function of air temperature and dew point in repeated annual fogs from 2000 to 2022

MOR	T_d, ^{0}C / T, ^{0}C	0,0	0,1…0,3	0,4…0,6	0,7…0,9	1,0…1,2	1,9…2,1	2,8…3,0	4,0…4,2	Sum
≤ 000 m	-4,1…2,1	0	0	0	0	0	0,0	0,0	0,0	0
	-2,0…0,1	0	0	0	0	0	0,0	0,0	0,0	1
	0,0…1,9	3	1	1	0	1	0,2	0,0	0,0	6
	2,0…3,9	6	2	1	0	3	0,5	0,2	0,1	13
	4,0…5,9	7	4	1	0	2	0,2	0,5	0,3	15
	6,0…7,9	13	8	2	0	3	0,2	0,0	0,3	27
	8,0…9,9	7	4	1	1	2	0,0	0,2	0,0	16
	10,0…11,9	4	2	1	0	1	0,2	0,3	0,1	10
	12,0…13,9	2	1	1	0	0	0,0	0,0	0,0	5
	14,0…15,9	3	1	0	0	0	0,0	0,0	0,0	4
	16,0…17,9	0	0	0	0	0	0,0	0,0	0,0	2
	18,0…19,9	1	0	0	0	0	0,1	0,1	0,2	2
	20,0…21,9	0	0	0	0	0	0,0	0,0	0,0	0
	22,0…23,9	0	0	0	0	0	0,0	0,0	0,0	0
	Sum	47	23	10	2	13	1	1	1	1333

A total of 501...1000 m MOR occurred in 1333 cases in the multiyear period. Given the small numbers of repeated occurrences during fog in the tables, it can be said that the main fog occurrences occurred at temperatures of 6...8 ^{0}C and dew points of 0,0 ^{0}C at both analyzed MOR thresholds.

CONCLUSION

The following results were obtained during the study of the dependence of MOR on air temperature and dew point thresholds during repeated fogs in Absheron Peninsula in 2000...2022:

1. In January, February, March, 75 % of cases of MOR below 500 m have an air temperature of 2...10 ^{0}C, in April, May, June, 76 % of cases are 6...14 ^{0}C, and in October, November, December, 60 % It happened in the range of 4...14 ^{0}C.

2. In January, February, March, 85 % of cases of MOR below 501...1000 m air temperature is 2...10 ^{0}C, in April, May, June 83 % is 6...14 ^{0}C, and 67 % in October, November, December It happened in the range of 2...12 ^{0}C.

3. All MOR thresholds for year-round recurring fog occur in the dew point ranges of 0.0 ^{0}C, 0,1...0,3 ^{0}C and 1,0...1,2 ^{0}C.

4. During fog, the maximum repetition of both MOR thresholds occurs at 0,0 ^{0}C dew point conditions with temperatures of 6...8 ^{0}C.

The analyzes of the fogs occurring in the Absheron water area are used for future forecasting, air transportation planning, charting, etc. can be used in the assessment of the logistics interests of the state and in the planned organization of the work of transport types.

In the conditions of modern climate changes, the process of increasing the temperature of the air and decreasing the amount of precipitation continues on the Absheron peninsula. In such conditions, air humidity is also decreasing. Our analysis shows that global warming will weaken the recurrence of fog events on the Absheron Peninsula, leading to internal shifts in its timing. Therefore, it is recommended to give priority to the use of regional forecast models in which the local relief factor is taken into account in fog forecasting.

REFERENCES

1. Andersen H, Cermak J, Fuchs J, Knippertz P, Gaetani M, Quinting J et al (2020) Synoptic-scale controls of fog and low-cloud variability in the Namib Desert. Atmos Chem Phys 20(6):3415–3438. – URL: https://doi.org/10.5194/acp-20-3415-2020

2. AAR-ANS-008 Meteorological service to air traffic. Guidance document.

3. National Atlas of the Republic of Azerbaijan [Atlas] / – Baku: State Land and Mapping Committee, – 2014. – 444 p.

4. Geography of the Republic of Azerbaijan. Physical Geography [Volume I] / X.K. Tanriverdiyev, H.A. Khalilov, M.Y. Khalilov [and others]. - Baku: Europe, – 2015. –530 p.

5. Ayyubov, A.C. Climatic resources of the Azerbaijan SSR / A.C. Ayyubov, G.A. Hajiyev - Baku: Science, – 1984. – 136 p.

6. Huseynov, N.Sh. Synoptic meteorology / N.Sh. Huseynov. - Baku: Sada, –2011. –316 p.

7. Hydrometeorological Atlas of the Caspian Sea [Map] / – Baku: Nafta-Press, –2014. –300 p.

8. Guliyev H.I. Course of short lectures on «Aviation meteorology» / H.I. Guliyev, N.Sh. Huseynov. - Baku: MAA, – 2004. – 79 p.

9. Mahmudov, R.N. Analysis of hydrometeorological conditions in Azerbaijan / R.N. Mahmudov. - Baku: Ziya, – 2015. – 106 p.

10. Kanchan, L., Kirti, A. A review on factors infuencing fog formation, classifcation, forecasting, detection and impacts // –Ranchi: Rendiconti Lincei. Scienze Fisiche e Naturali, –2022. v. 33, –p. 319–353.

11. Mehdiyev, A.S. Basics of meteorology and climatology / A.S. Mehdiyev, A.S. Ahmadov - Baku: Science, – 2008. – 340 p.

12. Mammadov, R.M. Hydrometerology of the Caspian Sea / R.M. Mammadov. -Baku: Europe, – 2013. – 176 p.

13. Mammadova, G.A. Climate of Azerbaijan. Textbook / G.A. Mammadova. -Baku: National Aviation Academy, –2017. –194 p.

14. Safarov, S.H. Economic hydrometeorology (teaching material) / S.H. Safarov. - Baku: MAA, – 2019. – 134 p.

15. State Committee of the USSR on Hydrometeorology, Azerbaijan Republican Committee on Hydrometeorology. Climatic regime and meteorological conditions of fog at Baku airport, –1988. –52 p.

16. Website Encyclopaedia Britannica Online– URL:htts://www.britannica.com/event/Tenerife-airline-disaster [Electron. resource](Date of

АБШЕРОН ТҮБЕГІНДЕГІ (ӘЗІРБАЙЖАН) ТҰМАННЫҢ ҚАЙТАЛАНУЫН АНЫҚТАУДАҒЫ АУА ТЕМПЕРАТУРАСЫ МЕН ШЫҚ НҮКТЕСІНІҢ РӨЛІ

Х. В. Мамедова

Ұлттық авиация академиясы AZ1044, Баку, Әзірбайжан
E-mail: hajar.mammadova@azans.az

Мақалада 2000...2022 жж. Абашерон түбегінде қайталанған тұман кезінде байқалған ауа температурасы мен шық нүктесінің өзгеру ерекшеліктері қарастырылған. Бұл үшін Гейдар Әлиев халықаралық әуежайының тұрақты мониторингі деректері пайдаланылды. Талдауда жалпы тұманның шегі, метеорологиялық көріну қашықтығы ≤ 500 м. және 501...1000 м. ескеріледі. Мұндай критерийлердің қайталануы кезіндегі ауа температурасы мен шық нүктесінің I...III, IV...VI және X...XII айларында тіркелген көрсеткіштеріне назар аударылды. Талдаулар түбекте байқалған тұман негізінен 6...8 ºС температурада тіркелетінін көрсетеді. Тұманның қайталануындағы метеорологиялық көріну қашықтығының барлық диапазонында жиі байқалатын шық нүктесінің температурасы 0,0...0,3 ºС және 1,0...1,2 ºС аралығында болады. Зерттеу нәтижелері барлық көлік бағыттарының жұмысын жоспарлау және тұманды болжау үшін ерекше маңызға ие.

Түйін сөздер: тұман, метеорологиялық көріну қашықтығы, ауа температурасы, шық нүктесінің температурасы, автоматты метеостанция, физика-метеорологиялық талдау.

РОЛЬ ТЕМПЕРАТУРЫ ВОЗДУХА И ТОЧКИ РОСЫ ПРИ ОПРЕДЕЛЕНИИ ПОВТОРЯЕМОСТИ ТУМАНА НА АБШЕРОНСКОМ ПОЛУОСТРОВЕ (АЗЕРБАЙДЖАН)

Х. В. Мамедова

Национальная авиационная академия AZ1044, Баку, Азербайджан
E-mail: hajar.mammadova@azans.az

В статье рассмотрены особенности изменения температуры воздуха и точки росы, наблюдавшиеся во время повторных туманов на полуострове Абашерон в 2000...2022 гг. Для этого были использованы данные постоянного мониторинга Международного аэропорта им. Гейдара Алиева. В анализе учитываются пределы общего тумана, дальность метеорологической видимости (ДМВ) ≤ 500 м. и 501...1000 м. При повторении таких критериев обращали внимание на регистрируемые показатели температуры воздуха и точки росы для I...III, IV...VI и X...XII месяцев года. Анализы показывают, что наблюдаемые на полуострове туманы в основном фиксируются при температуре 6...8 ^{0}C. Наиболее часто наблюдаемые температуры точки росы во всех диапазонах ДМВ в повторах тумана находятся в пределах 0,0...0,3 ^{0}C и 1,0...1,2 ^{0}C. Результаты исследования имеют особое значение для планирования работы всех транспортных направлений и прогнозирования туманов.

Ключевые слова: туман, дальность метеорологической видимости (ДМВ), температура воздуха, температура точки росы, автоматическая метеостанция, физико-метеорологический анализ.

Сведения об авторе/Автор туралы мәліметтер/Information about author:

Мамедова Хаджар Видади кызы - инженер по качеству, «Азербайджан Хава Йоллары» Закрытое Акционерное Общество «Азераеронавигация» Управление Воздушным Движением Международный аэропорт им. Гейдара Алиева, *sofiyarom@mail.ru*

Мамедова Хаджар Видадикызы – сапа инженері, «Әзірбайжан Хава Йоллары» Жабық Акционерлік Қоғамы, «Әзіреронавигация» Гейдар Әлиев атындағы Халықаралық Әуе Қозғалысын Басқару әуежайы, *sofiyarom@mail.ru*

Mammadova Hajar Vidadi - quality engineer, «Azerbaijan Hava Yolları» CJSC «Azeraeronavigation» Air Traffic Department Haydar Aliyev International Airport, *sofiyarom@mail.ru*

УДК 556.531 **МРНТИ 70.27.17**

РАСПРЕДЕЛЕНИЕ КРЕМНИЯ, ЖЕЛЕЗА И ОКИСЛЯЕМОСТИ В ВОДНЫХ ОБЪЕКТАХ ПАВЛОДАРСКОГО ПРИЕРТИСЬЯ

С.М. Романова[1]* *д.г.н.,* **Е.Г. Крупа[1,2]** *д.б.н.,* **А.С. Серикова[1]**

[1]РГП на ПХВ «Институт зоологии» КН МНВО РК, Алматы, Казахстан
[2]Казахстанское Агентство Прикладной экологии, Алматы, Казахстан
E-mail: sofiyarom@mail.ru

Приведены материалы собственных исследований по изучению распределения кремния, железа и величины перманганатной окисляемости (ПО) в бассейне реки Ертис в летний период 2023 г. Установлено, что содержание указанных компонентов и их соотношения неодинаковы в воде рек и озер. Значения перманганатной окисляемости для воды реки Ертис в большинстве случаев не выходили за пределы средних значений для природных вод аридных зон (5…10 мгО/дм³), а также предельно допустимых концентраций для вод рыбохозяйственного назначения. Вода пойменных озер и озера-накопителя более обогащена легкоокисляющимися органическими веществами (8,62…31,51 мгО/дм³). Максимальные концентрации кремния не всегда соответствовали минимальным значениям общей минерализации. Распределение растворенного общего железа неравномерно и варьируется в пределах 0,072…1,740 мг/дм³, с максимальной концентрацией в оз. Курколь и озере – накопителе Балкылдак. От верхних к нижним участкам Ертиса происходило небольшое увеличение концентрации железа и кремния, как следствие влияния антропогенного фактора. Проведена оценка качества водных объектов Павлодарского Приертисья на основе Единой системы классификации качества воды. Выявлена взаимосвязь средней силы между содержанием кремния, железа и величиной ПО. Данные по распределению указанных компонентов можно использовать для более полной оценки качества воды Ертисского бассейна.

Ключевые слова: кремний, железо, окисляемость, природные воды, гидрохимия, предельно-допустимая концентрация, загрязнение, экология.

Поступила: 10.01.24
DOI: 10.54668/2789-6323-2024-113-2-42-56

ВВЕДЕНИЕ

Кроме минеральных компонентов и растворенных газов, вода источников бассейна реки Ертис содержит органические и биогенные вещества, которые обеспечивают жизнь водным растениям и организмам, а также их взаимоотношение со средой обитания. Достаточно хорошо изучены вопросы формирования и режима органических и биогенных элементов, в основном для минеральных соединений азота, характерных для отдельных водотоков или водоемов. Однако мало сведений о распределении и взаимосвязи органических веществ, железа и кремния в водных объектах целого речного бассейна, что обусловливает актуальность проведенных нами исследований.

Органические вещества (ОВ) в водоемах и водотоках образуются в основном за счет различных внутриодоемных процессов, таких как прижизненные выделения здоровых клеток, отмирание и распад отдельных популяций, биохимические взаимодействия, ферментативное разложение и др. Определенное количество веществ поступает в водоем извне: с водосборной площади, с атмосферными осадками, с сбросами сточных вод. Вода, содержащая большое количество фитопланктона, вызывает неблагоприятные последствия, такие как биологические помехи в работе гидротехнических сооружений, усиление накипеобразующих свойств и ухудшение качества воды. На содержание органических веществ в природных водах,

включая водоемы Павлодарского Приертисья, влияют многие факторы, такие как гидрологический режим, количество и качество взвешенных веществ, значения pH, температура воды, донные отложения и продукты разложения растительности. Значительная часть органических веществ поверхностных вод представлена гуминовыми кислотами и фульвокислотами. Все изменения ОВ в основном связаны с жизнедеятельностью бактерий, микроорганизмов, населяющих воду, которые превращают сложные по составу органические вещества в более простые.

В гидрохимической практике содержание легкоокисляемого органического вещества определяется по величине перманганатной окисляемости. В большинстве случаев чистые горные реки и озера характеризуются окисляемостью 2,0…3,0, реки равнинные – 5,0…12,0 мгО/дм^3 (Никаноров А.М., 2008). В индустриально развитых районах и густонаселенных районах окисляемость может достигать значительных величин. Составленные М.П. Смирновым карты среднемноголетних годовых значений ПО речным водам территории стран СНГ показали, что широтным зонам лесостепи, полупустыни и пустыни соответствуют гидрохимические зоны со средним значением ПО (5…10 мгО/дм^3) (Смирнов М.П., 2015). В результате многолетних исследований рядом авторов было установлено, что в южных аридных областях в составе природных вод основное значение имеют не органические, а минеральные компоненты. Так, показатель ПО/$\Sigma_и$ (где $\Sigma_и$ общая минерализация воды) в таких водах колеблется в пределах 1,1…5,2 % (Мальцева А.В. и др.,1987; Амиргалиев Н.А. и др., 1984; Ибрагимов А.И., 1973; Снегирева Н.Е., 1970; Пильгук В.Я., 1975).

Кремний занимает второе место после кислорода по распространённости на Земле, на его долю приходится 27,2 %, на долю кислорода – 45,5 % массы твёрдой земной коры (Гринвуд Н., Эрншо А., 2021). В природе кремний образует множество кислородных соединений – кремнезёмов, силикатов, алюмосиликатов, присутствуя почти во всех минералах Земли, горных породах, песках, глинах и других минералах (Гринвуд Н. и др., 2021; Вапиров В.В. и др., 2017). В результате процессов химического выветривания кремнистых минералов и растворения менее устойчивых пород (диатомит, трепел, спонгин и др.) кремний поступает в природные воды (Куликова А.Х., 2013). Источником Si могут быть подземные воды и атмосферные осадки. Кремний является постоянным компонентом состава природных вод и принимает участие в различных процессах экосистемы «вода-гидробионты- донные отложения- почвы-растения» (Гришина Е.Н., 2009). Биогенные элементы, в том числе кремний, присутствуют в природной воде в виде минеральных и органических соединений (Никаноров А.М., 2015).

Из минеральных соединений кремний находится главным образом в растворенном состоянии в виде мета – и ортокремниевой кислоты и производных от этих кислот ионов. Кроме того, в речных водах кремний может находиться и в виде поликремниевых кислот различного состава и структуры в зависимости от экологических условий водной среды (Dietzel M., 2000). Содержание различных форм кремниевых кислот зависит от значения pH, температуры и солевого состава воды (Каменецкая Д.Б., 2022). Так, при значении pH 7,0 кремний содержится в форме [H_4SiO_4] в количестве 99,9%, при значении pH 8,0...98,6%, а при значении pH 9,0...87,7% (Ершов Ю.А. и др., 2007; Никаноров А.М., 2015).

Многолетними детальными исследованиями поверхностных вод Украины установлено, что в водоемах и водотоках 93...99% растворенный в воде кремний находится в нейтральной форме и он представлен там на 90...99% мономерно - димерной формой кремниевой кислоты. А доля растворенного кремния в анионном виде (преимущественно [H_3SiO_4]), составляла лишь 1...6 % (Линник П. Н., Дикая Т.П., 2014). По данным исследований М.Г. Камбалиной с соавторами в природных водах Томской области монокремниевые кислоты составляли 53…75 % и 25…47 % – поликремниевые кислоты (Камбалина М.Г. и др., 2014).

В пресных водах концентрация кремния обычно колеблется в пределах от 1 до 20 мг/дм^3. Рассчитанное из экспериментальных данных содержание кремния в реках мира в среднем

составляет 4,85 мг/дм³ (Meybeck M., 1982).; Гордеев В.В., 2018).

Железо постоянно присутствует в природных водах из-за широкого его распространения в земной коре – по распространенности в ней железо занимает четвертое место (5,65 % по массе). Кларк железа в гранитном слое земной коры составляет 3,6 % (Добровольский В.В., 1998). В большинстве случаев железо относят к типоморфным химическим элементам, поскольку его нахождение в двух или трехвалентной форме обусловливает характерные и существенные особенности почв, а также формирует облик ландшафта (Никаноров А.М., 2008). Железо, хотя и является металлом по своим химическим свойствам, его относят и к биогенным элементам, так как оно принимает активное участие в биохимических (развитие гидробионтов) и гидрохимических (чаще окислительно-восстановительных) процессах. Железо по своим биохимическим свойствам, по вхождению в ряд окислительных ферментов относится к биогенным микроэлементам – биофилам. В процессе взаимодействия с содержащимися в природных водах минеральными и органическими веществами железо также способно образовывать сложный комплекс соединений, находящихся в воде в растворенном, коллоидном и взвешенном состояниях.

Содержание железа в водах рек связано с региональными, климатическими, ландшафтными и гидрологическими особенностями водосборов. Соединения железа поступают в реки с поверхностным стоком, где высвобождаются, например, при деструкции органического вещества и находятся в устойчивой форме подвижных ионов – Fe^{2+}, Fe^{3+} (Савенко В.С., 2004; Даценко Ю.С., 2018). Среднее содержание железа в реках мира (0,066 мг/дм³) (Gaillardet J. et al., 2004) сопоставимо с его Кларком в речных водах (0,067 мг/дм³) (Чертко Н.К., Чертко Е.Н., 2008). Концентрация железа в речных водах мира колеблется в широких пределах и составляет по разным оценкам в среднем в России 0,010…5,99 мг/дм³ (Никаноров А.М., 2008; Добровольский В.В., 1998; Бондарева Д.Г. и др., 2009), Башкортостана 0,038…62,7 мг/дм³ (Минигазимов Н.С., Батанов Б.Н.,2019), Киргизии 0,4…3,92 мг/дм³ (Абдувалиев А.М., 2012). J. Gaillardet et al. приводят предельные значения содержания железа в речных водах Африки 0,031…0,614, Европы 0,302…0,666, Америке 0,010…0,739, Азии 0,014…0,036 мг/дм³ (Gaillardet J. et al., 2014).

Известно, что содержание общего железа в воде 1…2 мг/дм³ значительно ухудшает органолептические свойства, придавая ей неприятный вяжущий вкус и делая воду малопригодной для использования в технических нуждах (Егорова Н.А. и др., 2017). Дополнительным источником поступления железа в водоемы и водотоки являются подземные воды. Ш.Ш. Хамзина отмечала повышенное содержание железа во всех 10 разведанных и эксплуатируемых для хозяйственно-питьевого водоснабжения месторождений подземных вод Павлодарского Приертисья (Хамзина Ш.Ш. и др., 2013).

Река Ертис с притоками, являясь трансграничной, интенсивно используется в Китае, России и Казахстане для различных нужд, в том числе хозяйственного и питьевого водоснабжения. Поступающие промышленные, сельскохозяйственные и коммунальные сточные воды в реке Ертис и его притоки, а также выбросы в атмосферу от стационарных источников за 2017…2022 гг. тысячи тонн загрязняющих веществ оказывают заметное влияние на состав речных вод. Так, выбросы загрязняющих веществ в атмосферу на территорию Павлодарской области в этот период составляли 610…736 тыс. т. (Национальный доклад, 2023). Основное техногенное воздействие на геологическую среду, в том числе поверхностные и подземные воды, оказывает Павлодар-Экибастузский территориально-промышленный комплекс, а именно: угледобывающие разрезы, крупнейшие в Казахстане ГРЭС на базе местных углей, ТЭЦ, предприятия химической, горнодобывающей, нефтеперерабатывающей, металлургической, машиностроительной промышленности, поля фильтрации и отстойники населенных пунктов, промпредприятий, животноводческие комплексы и птицефабрики (Хамзина Ш.Ш. и др., 2013).

биогенных элементов железа и кремния авторами настоящего сообщения в летний период 2023 г. были проведены комплексные гидрохимические исследования водных объектов казахстанской части бассейна реки Ертис. Полученные данные можно использовать для оценки качества воды при использовании в различных целях, а также в общий уровень загрязнения речной экосистемы.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Отбор проб воды, их хранение, транспортировка и подготовка к анализу проводилась в соответствии с рекомендациями Гидрохимического института и утвержденными ГОСТ РК 51593-2003 (Семенов А.Д., 1977; ГОСТ РК 51593 – 2003). В казахстанской части бассейна р. Ертис из поверхностного слоя на химический анализ были отобраны 44 пробы воды в реке Ертис от верховья (10 км ниже границы с КНР) до п. Урлютюб, притоках Кендирлик, Жарлы, Калжыр, Куршим, пойменных озерах (Орловское, Курколь, Ески Ертис) и накопителе сточных вод Балкылдак (рисунки 1…2).

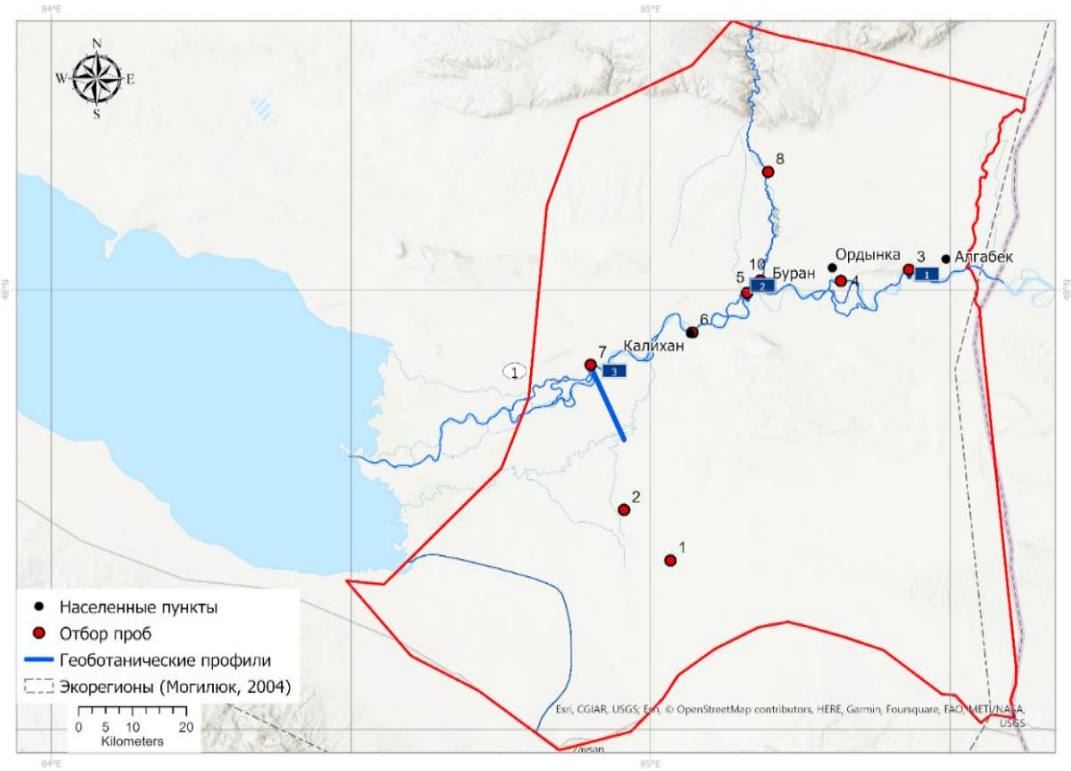


Рис.1. *Карта бассейна р. Кара Ертис с пунктами отбора проб воды*

Пробы воды в водоемах отбирались с борта моторной лодки при постановке на якорь по намеченной сетке станций. Координатная привязка станций выполнялась с помощью GPS-навигатора GarmineTrex. Пробы воды отобраны в пределах восточных долгот 47.620…51.825 и северных широт 84.936…77.185.

Химический анализ легкоокисляющихся органических веществ, кремния и железа в пробах воды проводился после консервирования соответствующими реагентами по общепринятым в гидрохимической практике методам согласно межгосударственным стандартам, указанным в ГОСТ РК 51232-98 (СТ РК ГОСТ Р 51232 – 2003; Семенов А.Д., 1977). Окисляемость воды выражают числом мг атомарного кислорода, потраченных на окисление органических веществ в 1 дм^3 воды. Пробы воды на окисляемость были законсервированы раствором серной кислоты (1:3) в расчете 5 мл на 0,2 дм^3 воды, на кремний – хлороформом из расчета 2...4 мл на 1 дм^3 воды, на железо – концентрированной азотной кислотой (марки осч) из расчета 3 мл на 1 дм^3 воды. Определение перманганатной окисляемости воды проведено в кислой среде по методу Кубеля, так как содержание хлоридных

ионов в воде исследуемых источников меньше 100 мг/дм³. Окисление проводили раствором перманганата калия точной концентрации в сернокислой среде при кипячении (чувствительность метода Кубеля 0,5 мгО/дм³, погрешность определения ±4…5%). Фотоколориметрический метод определения общего железа основан на реакции сульфосалициловой кислоты с солями железа в щелочной среде образовывать специфический желтый комплекс железа. Этим способом можно определить 0,05…10 мг⁄дм³ железа (чувствительность метода 0,05 мг⁄дм³, погрешность ±2%). В основе фотоколориметрического метода определения минерального кремния лежит способность соединений кремния образовывать с молибдатами в присутствии минеральных кислот окрашенные в желтый цвет комплексные соединения – гетерополикислоты кремния (чувствительность метода 0,02 мг⁄дм³, погрешность ±8%). Величина pH измерялась с помощью цифрового pH-метра AMTAST с точностью 0,01 ед. pH.

В ходе анализа процент ошибок не превышал допустимых значений их погрешности. Все пробы воды анализировались в трехкратной повторности. Для получения достоверных результатов применялась математическая обработка (Чарыков А.К., 1984). Статистическую обработку результатов проводили с использованием Microsoft Excel 2010.

Оценка качества воды по нормируемым гидрохимическим показателям (железо, кремний) произведена на основе Единой системы классификации качества воды в водных объектах (Единая система…, 2016).

Основными критериями качества вод по содержанию легкоокисляющихся органических веществ (по величине перманганатной окисляемости) являются значения предельно допустимых концентраций для водоемов рыбохозяйственного водопользования (ПДКрх) (Фомин Г.С., 1995; Никаноров А.М., 2008).

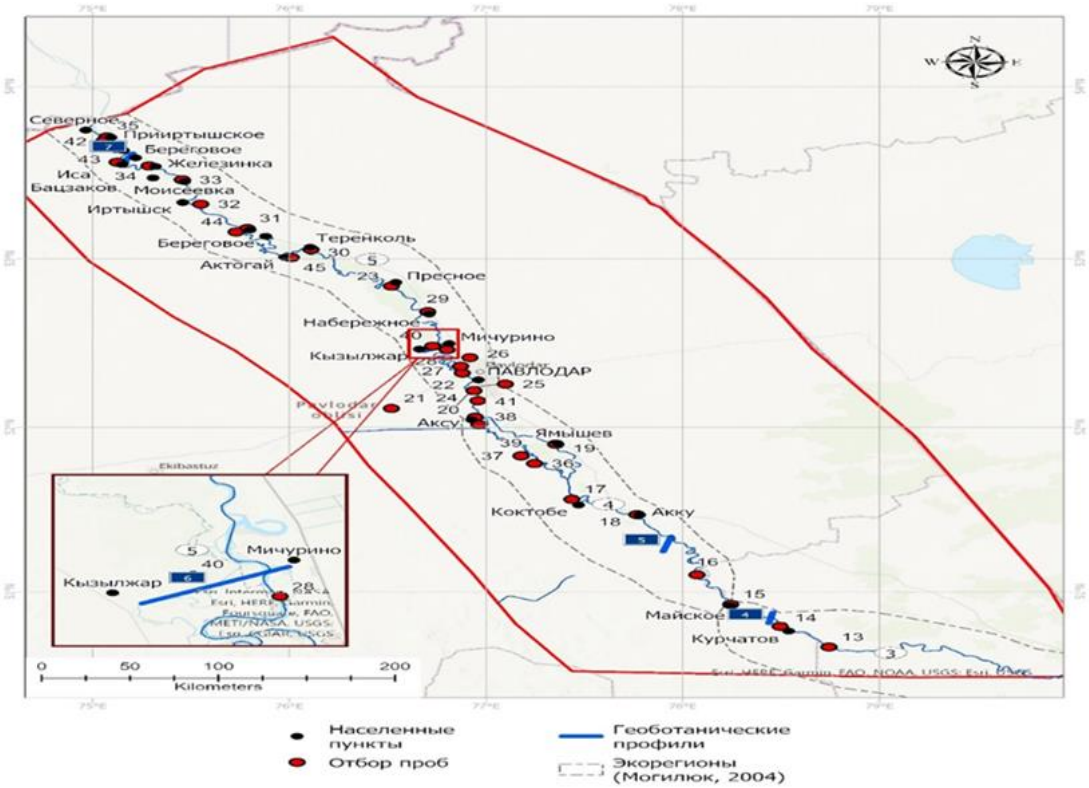


Рис.2. *Карта бассейна р. Ертис в пределах Павлодарской области*

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

В июле 2023 г. содержание легкоокисляющихся органических веществ в воде притоков р. Ертис колеблется в пределах 3,14…7,11 мгО/дм³ (таблица 1).

Таблица 1

Величина перманганатной окисляемости, среднее значение со стандартной ошибкой в Ертисском бассейне, июль 2023 г.

Объект	Количество проб	Величина ПО, мгО/дм^3		
		минимальная	средняя	максимальная
р. Кендирлик	1	3,74	3,74	3,74
р. Жарлы	1	5,72	5,72	5,72
р. Калжыр	3	3,14	4,93±1,16	7,11
р. Куршим	2	3,34	4,44±1,10	5,53
р. Черный Ертис	5	3,74	5,21±0,75	8,11
р. Ертис(выше г. Павлодар)	7	4,04	5,59±0,84	10,50
р. Ертис(г.Павлодар)	5	3,63	4,04±0,18	4,44
р. Ертис(ниже г. Павлодар)	10	3,63	3,92±0,12	4,84
оз.Ески Ертис	3	7,27	8,62±0,82	10,10
оз. Орловское	3	12,92	13,33±0,23	13,73
оз. Курколь	3	17,77	18,58±0,40	18,98
отстойник Балкылдак	1	31,51	31,51	31,51

Из левобережных притоков вода реки Жарлы имела большее значение ПО, 5,72 мгО/дм³, а из правобережных – реки Калжыр, 7,11 мгО/дм³. Значения перманганатной окисляемости для воды реки Ертис в большинстве случаев не выходили за пределы средних значений для природных вод аридных зон (5...10 мгО/л) (Никаноров А.М., 2015), а также предельно допустимых концентраций для вод рыбохозяйственного назначения (ПДКр.х. 10,0 мгО/дм³). Лишь в районе подпуска значение ПО в Ертисской воде достигло 10,5 мгО/дм³. Выявлено постепенное небольшое уменьшение средней величины ПО от верхнего участка реки Ертис (5,59 мгО/дм³) к нижнему (3,92 мгО/дм³) (рисунок 3). Данный факт можно объяснить меньшим поступлением органических веществ с водосборной площади в данный период времени.

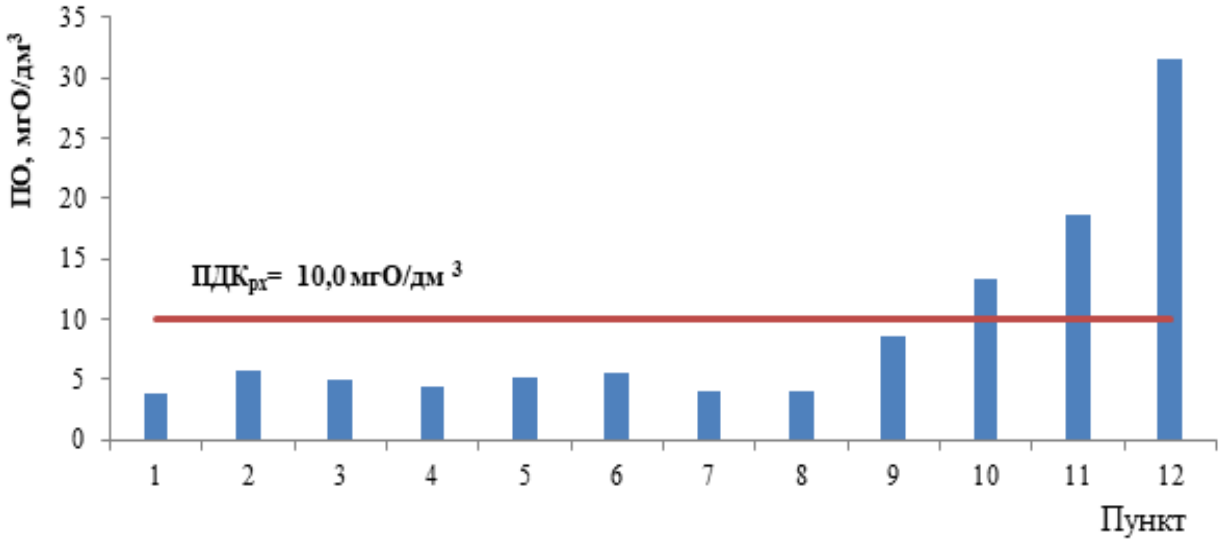


Рис.3. *Распределение величины перманганатной окисляемости в Ертисском бассейне, июль 2023*

Усл.обозн.:1 – р. Кендирлик; 2 – р. Жарлы; 3 – р. Калжыр; 4 – р. Куршим; 5 – р. Черный Ертис; 6 – р. Ертис (выше г. Павлодар); 7 – р. Ертис (г. Павлодар); 8 – р. Ертис (ниже г. Павлодар); 9 – оз.Ески Ертис; 10 – оз. Орловское; 11 – оз. Курколь; 12 – озеро-накопитель Балкылдак.

Вода пойменных озер более обогащена легкоокисляющимися органическими веществами. Так, пределы колебаний величины ПО составляли для оз. Старицы 7,27…10,1, оз. Орловское 12,92…13,73 и оз. Курколь 17,77…18,98 мгО/дм³, в среднем превышая ПДКрх только для оз. Орлорвское и Курколь в 1,3 и 1,9 раз, соответственно. Данный факт свидетельствовал о процессах, приводящих к накоплению органических веществ в озерах.

Самое большое содержание органических веществ было обнаружено в воде озера-накопителя Балкылдак, превышающее ПДКрх в 3,2 раза.

Показатель ПО/$\Sigma_и$ для всех исследуемых водных объектов Ертисского бассейна в июле 2023 г. изменялся в пределах 0,2…7,3 %, что свидетельствовало о значительной роли минеральных компонентов в составе воды.

Концентрация кремния в воде исследуемых источников изменялась в следующих пределах: притоках 2,70…7,10, р. Кара Ертис 1,90…5,20, р. Ертис в пределах Павлодарской области 1,90…5,90, пойменных озерах 2,50…9,40 и озере накопителе сточных вод Балкылдак 2,52 мг/дм³ (таблица 2).

Поскольку значения pH воды реки Ертис и его притоков изменялись в пределах 7,10…8,16, можно предположить, что кремний здесь находился преимущественно (до 99 моль %) в виде растворенных форм мета- и ортокремниевой кислот. В воде непроточных озер Орловское и Курколь значения pH несколько выше (8,46…9,45), чем в реках, что является следствием влияния на озера различных факторов, в том числе физико-географических, гидрологических, а также протеканием внутриводоемных процессов, приводящих к накоплению веществ щелочного характера (растворение и гидролиз карбонатных и силикатных минералов, разложение растительности и организмов и др.) (Никаноров А.М., 2015). В этом случае процент растворенных форм мета- и ортокремниевых кислот в воде озер может снижаться до 71 моль %. Установлено, что больше всего кремния содержалось в воде р. Куршим и оз. Курколь (рисунок 4). Отмечалось увеличение среднего содержания кремния в воде р.Ертис вниз по течению от 3,60 до 4,18 мг/дм³, обусловленное влиянием урбанизированной территории. Установленный рядом авторов факт наибольшего содержания кремния в пресных незагрязненных водах при наименьшей минерализации (Никаноров А.М., 2008, 2015; Рыжаков А.В. и др., 2019) для исследуемых нами вод Ертисского бассейна не подтвердился. Так, минимальная концентрация кремния 1,90 мг/дм³ обнаружена в воде р. Кара Ертис при наименьшей минерализации 92,3 мг/дм³ и в ертисской воде (у г. Курчатова) при не минимальной общей минерализации 181 мг/дм³. В воде оз. Орловское невысокая концентрация кремния, 2,50 мг/дм³, была при минерализации 234,7 мг/дм³, такая же концентрация кремния обнаружена и в воде р. Ертис на участке г. Аксу при минерализации 180,5 мг/дм³. Можно предположить, что на поступление кремния в водоем и его распределение в водной толще в данном случае оказывают влияние не только природные, но и антропогенные факторы. В частности, одним из источников поступления кремния в речные и озерные воды являются почвообразующие породы, в основном аллювиальные супесчаные, легкие и средние суглинки разного генезиса, а также карбонатные и засоленные глины и тяжелые суглинки (Агроклиматические ресурсы…, 2017).

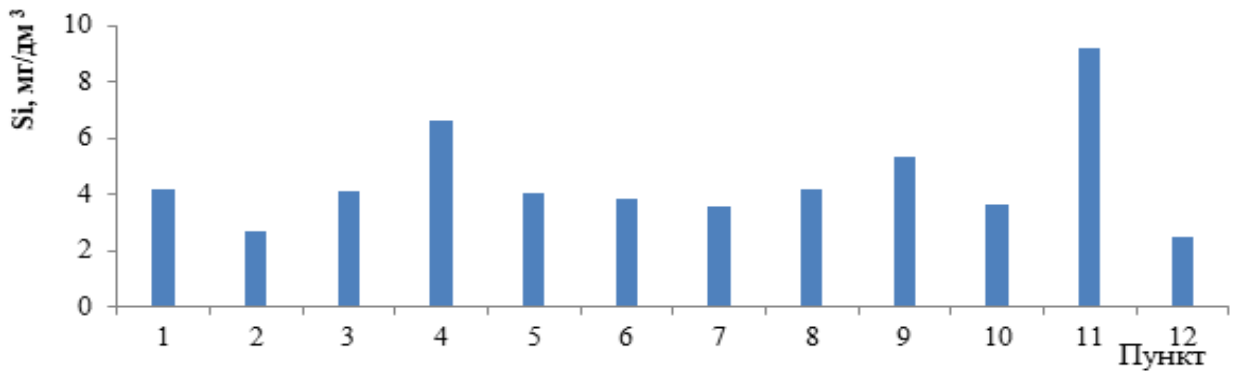


Рис.4. *Распределение содержания кремния в Ертисском бассейне, июль 2023 г.*

Усл.обозн.:1 – р. Кендирлик; 2 – р. Жарлы; 3 – р. Калжыр; 4 – р. Куршим; 5 – р. Черный Ертис; 6 – р. Ертис (выше г. Павлодар); 7 – р. Ертис (г.Павлодар); 8 – р. Ертис (ниже г.Павлодар); 9 – оз. Ески Ертис; 10 – оз. Орловское; 11 – оз. Курколь; 12 – озеро-накопитель Балкылдак.

Таблица 2

Содержание кремния, среднее значение со стандартной ошибкой в Ертисском бассейне, июль 2023 г.

Объект	Количество проб	Величина ПО, мгО/дм^3		
		минимальная	средняя	максимальная
р. Кендирлик	1	3,74	3,74	3,74
р. Жарлы	1	5,72	5,72	5,72
р. Калжыр	3	3,14	4,93±1,16	7,11
р. Куршим	2	3,34	4,44±1,10	5,53
р. Черный Ертис	5	3,74	5,21±0,75	8,11
р. Ертис (выше г. Павлодар)	7	4,04	5,59±0,84	10,50
р. Ертис (г.Павлодар)	5	3,63	4,04±0,18	4,44
р. Ертис (ниже г. Павлодар)	10	3,63	3,92±0,12	4,84
оз. Ески Ертис	3	7,27	8,62±0,82	10,10
оз. Орловское	3	12,92	13,33±0,23	13,73
оз. Курколь	3	17,77	18,58±0,40	18,98
отстойник Балкылдак	1	31,51	31,51	31,51

Примечание: n – количество проб

Содержание кремния в воде всех изученных водных объектов (в среднем 2,70…9,23 мг/дм³) не достигает числового значения стандартов качества вод (10,0…12,0 мг/дм³) и эти водные объекты можно отнести к 1 и 2 классам качества, пригодными для всех категорий водопользования и соответствуют «очень хорошему» качеству вод (Единая система…,2016).

Минеральный кремний в виде мета и ортосиликатных ионов может образовывать органические соединения. Для исследуемых вод Ертисского бассейна была выявлена связь средней силы между содержанием кремния и величиной ПО (коэффициент корреляции 0,53) (рисунок 5).

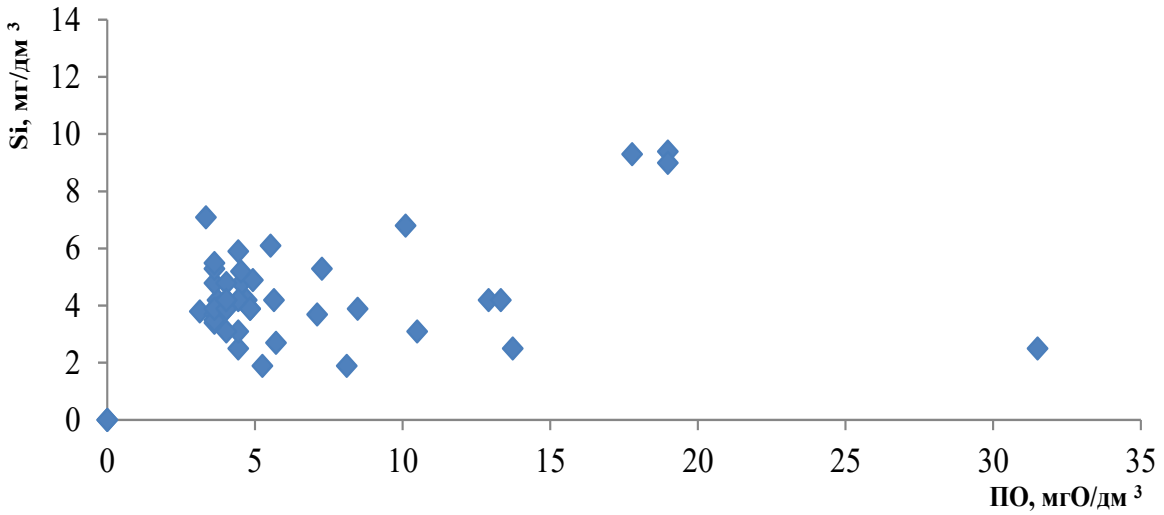


Рис.5. *Связь между содержанием кремния и величиной ПО воды водоемов Ертисского бассейна, июль 2023 г.*

Концентрация железа в воде исследуемых источников изменялась в следующих пределах: притоках 0,320…0,856, р. Черный Ертис 0,476…0,856, р. Ертис в пределах Павлодарской области 0,072…0,784, пойменных озер 0,400…1,740 и озера-накопителя сточных вод Балкылдак 1,216 мг/дм³ (таблица 3).

Таблица 3

Содержание железа, среднее значение со стандартной ошибкой в Ертисском бассейне, июль 2023 г.

Объект	Количество проб	Концентрация Fe, мг/дм³		
		минимальная	средняя	максимальная
р. Кендирлик	1	0,476	0,476	0,476
р. Жарлы	1	0,468	0,468	0,468
р. Калжыр	3	0,320	0,42±0,08	0,568
р. Куршим	2	0,632	0,74±0,11	0,856
р. Черный Ертис	5	0,476	0,58±0,07	0,856
р. Ертис(выше г. Павлодар)	7	0,072	0,14±0,02	0,172
р. Ертис(г. Павлодар)	5	0,152	0,18±0,01	0,212
р. Ертис(ниже г. Павлодар)	10	0,152	0,35±0,06	0,784
оз. Ески Ертис	3	0,400	0,51±0,09	0,684
оз. Орловское	3	0,400	0,51±0,06	0,580
оз. Курколь	3	1,359	1,52±0,11	1,740
отстойник Былкылдак	1	1,216	1,216	1,216

Распределение растворенного общего железа в водных объектах Ертисского бассейна в июле 2023 г. неравномерное и изменяется в пределах 0,072…1,740 мг/дм³. Максимальная концентрация, обраруженная в воде озера Курколь, превышает Кларк железа в речных водах почти в 26 раз. Вода правобережных Ертисских притоков Калжыр и Куршим содержит больше общего железа (в среднем 0,58 мг/дм³), чем левобережных Кендирлик и Жарлы (в среднем 0,47 мг/дм³). Вода Ертисских притоков и р. Черный Ертис более обогащена железом, чем вода реки Ертис. По течению вниз реки Ертис установлено увеличение концентрации железа в 2,5 раза, связанное с влиянием сброса условно чистых промстоков. Снижение содержания железа в воде р. Ертис по сравнению с таковым в воде притоков, возможно, связано с усилением процессов поглощения минеральными и органическими веществами, находящимися в водной массе и донных отложениях. Вода пойменного озера Курколь содержит больше всего железа (в среднем 1,52 мг/дм³), чем в озерах Орловское и Старицы (в среднем 0,51 мг/дм³) (рисунок 6). В озерной воде вероятнее всего создаются благоприятные условия высвобождения железа при деструкции органического вещества, десорбции железа из донных отложений и перехода его в воду в виде устойчивой формы подвижных ионов – Fe^{2+}, Fe^{3+}.

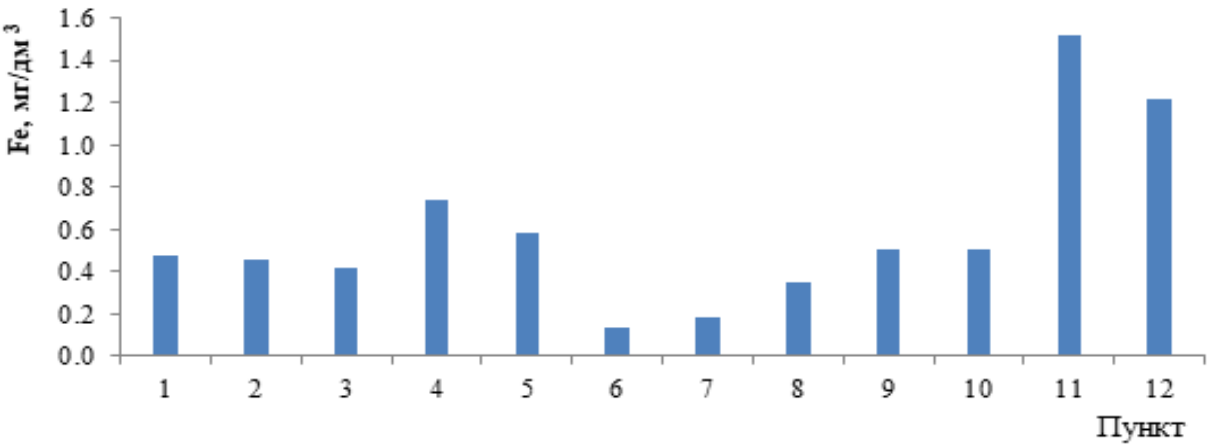


Рис.6. *Распределение содержания железа в Ертисском бассейне, июль 2023 г.*

Усл.обозн.:1 – р. Кендирлик; 2 – р. Жарлы; 3 – р. Калжыр; 4 – р. Куршим; 5 – р. Черный Ертис; 6 – р. Ертис (выше г. Павлодар); 7 – р. Ертис (г. Павлодар); 8 – р. Ертис (ниже г. Павлодар); 9 – оз. Ески Ертис; 10 – оз. Орловское; 11 – оз. Курколь; 12 – озеро-накопитель Балкылдак.

Среднее значение концентрации Fe в поверхностной воде Ертисского бассейна далеко не сопоставимо со средним его содержанием в реках мира и кларком в речных водах, составляющее 0,067 мг/дм³ (Gaillardet J. et al., 2004; Чертко Н.К., 2008). Относительно высокое содержание железа в исследуемых нами источниках находит подтверждение и в работах других авторов. Так, А.В. Коржавиным с соавторами было установлено, что в 2004…2010 гг повышенное содержание железа в воде нижней части Ертисской речной системы (0,5…2,5 мг/дм³) является его неотъемлемой частью (Коржавин А.В. и др. 2012). Д.М. Бурлибаева с соавторами, проводя анализ динамики изменения концентраций ионов тяжелых металлов в р. Ертис в многолетнем цикле (с 2001 по 2016 гг), установила, что в воде р. Черный Ертис (с. Буран) и р. Ертис (все створы Казгидромета) среди других загрязняющих веществ постоянно присутствовало общее железо, до 2,6 ПДК$_{рх}$ (Burlibayeva D.M., et al., 2016; Бурлибаева Д.М. и др. 2020). Повышенные концентрации железа в водных объектах Ертисского бассейна объясняются влиянием неорганизованного поверхностного стока и геохимическими особенностями территории (Burlibayeva D.M. et al., 2016; Достай Ж.Д., 2012; Агроклиматические ресурсы…, 2017)

На основании Единой системы классификации качества воды в водных объектах Казахстана проведена оценка качества водных объектов Ертисского бассейна. Установлено, что только вода реки Ертис на участках выше г. Павлодар, г. Павлодар по среднему содержанию железа относится к 1 классу качества (≤ 0,2 мг/дм³), может быть пригодна для всех видов водопользования. Вода притоков Ертиса, р. Кара Ертис, р. Ертис на участке ниже г. Павлодар и все озера по среднему содержанию железа относятся к 2,3,4 классам качества (0,3 мг/дм³). В этой связи необходимо с осторожность использовать воду в рыбохозяйственных (разведение лососевых рыб) и в хозяйственно-питьевых целях, применяя методы простой водоподготовки (Единая система…, 2016).

Выявленная связь средней силы (коэффициент корреляции 0,58) между содержанием железа и величиной ПО может свидетельствовать об участии железа в образовании органических веществ (рисунок 7).

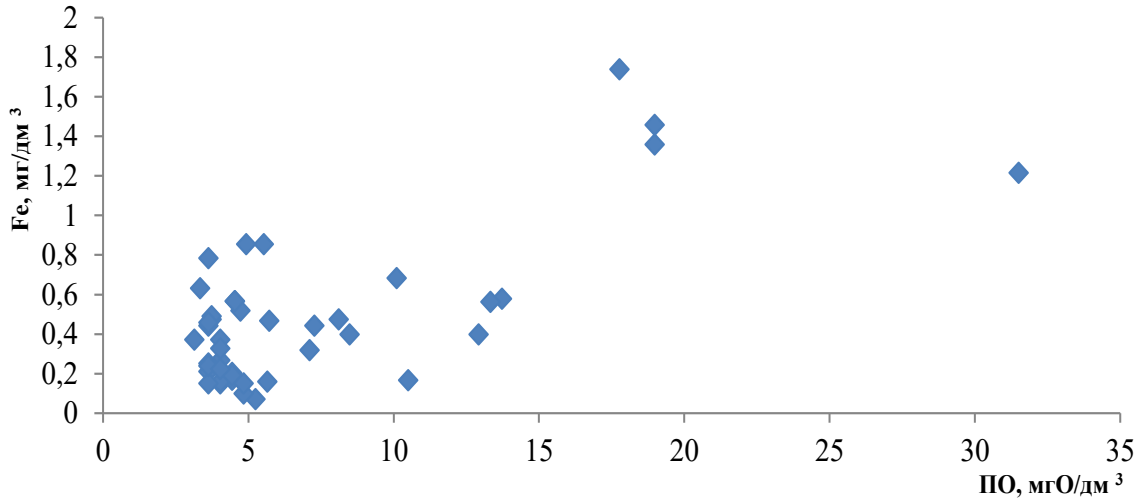


Рис.7. *Связь между содержанием железа и величиной ПО в Ертисском бассейне, июль 2023 г.*

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В июле 2023 г. распределение кремния, железа и легкоокисляющихся органических веществ было неодинаковым во всем Ертисском бассейне. Вода р. Ертис и его притоков по классификации О.А. Алекина характеризовалась малыми и средними величинами перманганатной окисляемости (3,14…8,11 мгО/дм³). Пойменные озера и озеро накопитель Балкылдак отличались повышенным значением величины ПО (1,3 $ПДК_{рх}$…3,2 $ПДК_{рх}$), свидетельствующим о процессах накопления органических веществ в озерах. Выявлено постепенное уменьшение средней величины ПО от верхних участков р. Ертис (5,59 мгО/дм³) к нижним (3,92 мгО/дм³). Расчет отношения величины ПО к общей минерализации воды всех исследуемых объектов, составляющий 0,2…7,3 %, убедительно показывает значительную роль минеральных компонентов в химическом составе воды.

Поскольку содержание кремния (в основном в виде растворенных форм мета- и ортокремниевой кислоты) в воде всех изученных водных объектов (1,9…9,4 мг/дм³) не достигает числового значения стандартов качества вод (10,0…12,0 мг/дм³), поэтому эти водные объекты можно отнести к 1 и 2 классам качества, пригодными для всех категорий водопользования и соответствуют «очень хорошему» качеству вод. Известный в гидрохимии факт наибольшего содержания кремния при наименьшей минерализации воды для исследуемых нами водоемов не подтвердился, что свидетельствует о роли не только природных, но и антропогенных факторов.

В отличие от кремния и органических веществ (оцененных по величине ПО), железо повсеместно присутствует в воде в относительно высоких концентрациях (0,072…1,740 мг/дм³) в связи с влиянием неорганизованного поверхностного стока и геохимическими особенностями территории. Среднее значение концентрации Fe в поверхностной воде Ертисского бассейна (0,948 мг/дм³) на порядок выше среднего его содержанием в реках мира и Кларка в речных водах (0,067 мг/дм³). Наибольшее содержание железа обнаружено в воде озер (0,51…1,52 мг/дм³), а в реках его концентрация меньше (0,14…0,74 мг/дм³).

Установлено, что только вода реки Ертис на участках выше г. Павлодар и г. Павлодар по среднему содержанию железа относится к 1 классу качества (≤ 0,2 мг/дм³), может быть пригодна для всех видов водопользования. Вода притоков Ертиса, р. Кара Ертис, р. Ертис на участке ниже г. Павлодар и все озера по среднему содержанию железа относятся к 2,3,4 классам качества (0,3 мг/дм³). В этой связи рекомендуется с осторожностью использовать воду в рыбохозяйственных (разведение лососевых рыб) и хозяйственно-питьевых целях, применяя методы простой водоподготовки. Выявлена связь средней силы между содержанием железа, кремния и легкоокисляющихся органических веществ в водных объектах Ертисского бассейна.

Полученные данные по распределению кремния, железа и величины ПО можно использовать для комплексной оценки качества воды Ертисского бассейна.

Работа выполнена в рамках проекта «Оценка состояния биоресурсов в казахстанской части бассейна Ертиса в условиях трансграничного использования водных ресурсов и климатических изменений» (ИРН: BR18574062-ОТ-23)

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Абдувалиев А.М. Мониторинг качества поверхностных вод реки Кумто // Известия НАН КР. – 2012. – №2. – С.34-40.

2. Агроклиматические ресурсы Павлодарской области: научно-прикладной справочник / Под ред. С.С. Байшоланова – Астана. – 2017. – 127 с.

3. Амиргалиев Н.А., Григорьева Э.Н. и др. Биогенный сток рек в озеро Балхаш // Водные ресурсы. – 1984. – № 6. – С. 97-103.

4. Бондарева Д.Г., Христофорова Н.К. Экологическое состояние водотоков бассейна Амура, расположенных в пределах ЕАО // Проблемы региональной экологии. – 2009. – №4. – С.12-17.

5. Бурлибаева Д.М., Бурлибаев М.Ж., Рыскельдиева А.М., Кайдарова Р.К., Опп К., Амиргалиев Н.А. Динамика изменения концентрации загрязняющих веществ группы тяжелых металлов в поверхностных водах трансграничной реки Ертис на территории республики Казахстан // С.Хабаршы. География сериясы. – 2020. – №2 (57). – С. 54-68.

6. Вапиров В.В., Феоктистов В.М., Венскович А.А., Вапирова Н.В. К вопросу о поведении кремния в природе и его биологической роли // Учёные записки Петрозаводского государственного университета. – 2017. – (2): – С. 95-102

7. Гордеев В.В. Особенности геохимии речного стока в Черное море / В кн. Система Черного моря. – Москва: Научный мир. – 2018. – С.247-286. 10.29006/978-5-91522-473-4.2018.247-286

8. Государственный стандарт Республики Казахстан. Вода питьевая. Отбор проб. СТ РК ГОСТ Р 51593- 2003. https://online.zakon.kz/Document/?doc_id=30015917&pos=22; -46#pos= 22;-46
9. Государственный стандарт Республики Казахстан Вода питьевая Общие требования к организации и методам контроля качества СТ РК ГОСТ Р 51232 – 2003. https://files.stroyinf.ru/Data2/1/4293739/ 4293739359.pdf
10. Гринвуд Н., Эрншо А. Химия элементов. В 2 т. Т. 1. Пер. с англ. – 5-е изд., испр., электрон. – М.: Лаборатория знаний, 2021. – 664 с .
11. Гришина Е.Н. Основы химии окружающей среды. Ч. 2. Химические процессы в гидросфере – Владимир: Изд-во Влад. гос. ун-та. – 2009. – 60 с.
12. Даценко Ю.С. Особенности формирования речного стока марганца и железа в периоды паводков // Вода: химия и экология. – 2018. – № 4-6. – С. 3-6
13. Добровольский В.В. Основы биогеохимии. М.: Высшая школа, – 1998. – 413 с.
14. Достай Ж.Д. Природные воды Казахстана: ресурсы, режим и прогноз // Водные ресурсы Казахстана: оценка, прогноз, управление. – Алматы: Институт географии. – 2012. – Т.2. – 330с.
15. Ершов Ю.А., Попков В.А. и др. Общая химия. Биофизическая химия. Химия биогенных элементов: учебник для вузов / – 6-е изд., стер. – М.: Высш. шк. – 2007. – 560 с.
16. Егорова Н.А., Канатникова Н.В. Влияние железа в питьевой воде на заболеваемость населения//Hygiene & Sanitation (Russian Journal). – 2017. – 96(11). – С.1049-1053. DOI: http: // dx.doi.org/10.18821/0016-9900-2017-96-11-1049-1053
17. Ибрагимов А.И. Физико-химическая характеристика воды р. Сырдарьи: автореф. дисс. канд. хим. наук: – Алма-Ата. – 1973. – 33 с.
18. Камбалина М.Г., Скворцова Л.Н., Мазурова И.С., Гусева Н.В., Бакибаев А.А. Исследование форм нахождения кремния в природных водах с высоким содержанием растворенных органических веществ. Известия Томского политехнического университета. – 2014. – 325(3): – С. 64-70. DOI:10.1016 / j.proche. 2014.10.008
19. Каменецкая Д.Б. Кремний в природных водных объектах: формы соединений и методы контроля//Здоровье населения и среда обитания – ЗНиСО. – 2022(6). – С.15-22. DOI:10.35627/2219-5238/2022-30-6-15-22
20. Коржавин А.В., Трапезников В.Н., Трапезникова А.П., Платаев Г.С., Аширбакиева Г.Х., Хакимзянова Е.И., Попова И.А. Химический состав воды в нижнем течении реки Ертис // Проблемы биогеохимии и геохимической экологии. – 2012, №3 (20). – С.84-95.
21. Куликова А.Х. Кремний и высококремнистые породы в системе удобрений сельскохозяйственных культур. – Ульяновск: Изд-во Ульяновской ГСХА им. П.А. Столыпина. 2013. – 173 с.
22. Линник П. Н., Дикая Т. П. Содержание, формы нахождения и особенности распределения и миграции кремния в поверхностных водах Украины//Водные ресурсы. – 2014. – том 41. – №6. – С. 606-620.
23. Мальцева А.В., Тарасов М.Г., Смирнов М.П. Сток органических веществ с территории СССР // Гидрохимические материалы. – Л.: Гидрометеоиздат. – 1987. – Том 102. – С.131-145.
24. Минигазимов Н.С., Батанов Б.Н. Влияние сбросов сточных водна качество воды рек Республики Башкортостан//Вестник Академии Наук РБ. – 2019. – том 31, № 2(94). – С.35-45.
25. Национальный доклад о состоянии окружающей среды и об использовании природных ресурсов Республики Казахстан за 2022 год. https: //ecogosfond.kz/orhusskaja-konvencija/dostup-k-jekologicheskoj-informacii/jekologijaly-zha-daj/r-orsha-an-ortany-zhaj-k-ji-turaly-ltty-bajandamalar/
26. Никаноров А.М. Гидрохимия. – Изд. 3-е, перераб. и дополн., СПб.: Гидрометеоиздат. – 2008. – 462 с.
27. Никаноров А.М. Фундаментальные и прикладные проблемы гидрохимии и гидроэкологии. – Ростов-н/Д: Изд-во ЮФУ. – 2015. – 735 с.
28. Пильгук В.Я. Физико-химия воды р. Ертис в условиях создания водохранилищ: автореф. канд. хим. наук. – Алма-Ата: КазГУ. – 1975. – 30 с.
29. Рыжаков А.В., Вапиров В.В., Степанова И. А. Кремний в поверхностных водах гумидной зоны (на примере водных объектов Карелии) // Труды Карельского научного центра РАН. – 2019. – № 3. – С. 52–60 DOI: 10.17076/lim942
30. Савенко В.С. Физико-химический анализ процессов образования железомарганцевых конкреций в океане. Москва: ГЕОС. – 2004. – 156 с.
31. Семенов А.Д. Руководство по химическому анализу поверхностных вод суши. – Л.: Гидрометеоиздат. – 1977. – 541 с.
32. Смирнов М.П. Органические вещества и минерализация речных вод России, СНГ, Балтии. – Ростов-на-Дону: Из-во НОК. – 2015. – 360 с.
33. Снегирева Н.Е. Химия поверхностных вод Сасык – Алакольского бассейна: автореф.дисс. канд. хим. наук: – Алма-Ата. – 1970. – 26 с.
34. Хамзина Ш.Ш. Шарипова З.М., Омарова Г.М. Водные ресурсы Павлодарской области, их охрана и рациональное использование. – Павлодар: Инновац. Евраз. ун-т. – 2013. – 248 с.
35. Чарыков А.К. Математическая обработка результатов химического анализа. – Л.: Химия. – 1984. – 168 с.
36. Чертко Н.К., Чертко Е.Н. Геохимия и экология химических элементов. Минск: Издательский Центер БГУ. – 2008. – 140 с.
37. Burlibayeva D.M., Burlibayev M.Z., Opp C. Regime dynamics of hydrochemical and toxicological parameters of the Irtysh River in Kazakhstan // A Bao - Journal of Arid Land, 8. – 2016. –P. 521-532. DOI: 10.1007/s40333-016-0083-y
38. Dietzel M. Dissolution of silicates and the stability of polysilicic acid. Geochim Cosmochim Acta. – 2000. – 64(19). – 3275-3281. DOI:10.1016/s0016-7037(00)00426-9
39. Gaillardet J., Viers J., Dupre B. Trace elements in river waters // Treatise on Geochemistry. Amsterdam: Elsevier. – 2004. – V. 5. – P. 225-272.
40. Gaillardet J., Viers J., Dupre B. Trace elements in river waters. Treatise on Geochemistry. Oxford, Elsevier. – 2014. – P. 195-235.
41. Meybeck M. Carbon, nitrogen and phosphorus transport by world rivers // American Journal of Science. – 1982. – V. 282. – P. 401-450.

REFERENCES

1. Abduvaliev A.M. Monitoring kachestva poverkhnostnykh vod reki Kumto // Izvestiya NAN KR. – 2012. – №2. – P.34-40.
2. Agroklimaticheskie resursy Pavlodarskoi oblasti: nauchno-prikladnoi spravochnik / Pod red. S.S. Baisholanova – Astana. – 2017. – 127 p.
3. Amirgaliev N.A., Grigor'eva E.N. i dr. Biogennyi stok rek v ozero Balkhash // Vodnye resursy. – 1984. – № 6. – P. 97-103.
4. Bondareva D.G., Khristoforova N.K. Ekologicheskoe sostoyanie vodotokov basseina Amura, raspolozhennykh v predelakh EAO // Problemy regional'noi ekologii. – 2009. – №4. – P.12-17.
5. Burlibaeva D.M., Burlibaev M.Zh., Ryskel'dieva A.M., Kaidarova R.K., Opp K., Amirgaliev N.A. Dinamika izmeneniya kontsentratsii zagryaznyayushchikh veshchestv gruppy tyazhelykh metallov v poverkhnostnykh vodakh transgranichnoi reki Ertis na territorii respubliki Kazakhstan // S.Khabarshy. Geografiya seriyasy. – 2020. – №2 (57). – P. 54-68.
6. Vapirov V.V., Feoktistov V.M., Venskovich A.A., Vapirova N.V. K voprosu o povedenii kremniya v prirode i ego biologicheskoi roli // Uchenye zapiski Petrozavodskogo gosudarstvennogo universiteta. – 2017. – (2): – P. 95-102
7. Gordeev V.V. Osobennosti geokhimii rechnogo stoka v Chernoe more / V kn. Sistema Chernogo morya. – Moskva: Nauchnyi mir. – 2018. –P.247-286. DOI:10.29006/978-5-91522-473-4.2018.247-286
8. Gosudarstvennyi standart Respubliki Kazakhstan. Voda pit'evaya. Otbor prob. ST RK GOST R 51593. – 2003. https://online.zakon.kz/Document/?doc_id= 30015917&pos=22;-46#pos=22;-46
9. Gosudarstvennyi standart Respubliki Kazakhstan Voda pit'evaya Obshchie trebovaniya k organizatsii i metodam kontrolya kachestva ST RK GOST R 51232 – 2003. https://files.stroyinf.ru/Data2/1/4293739/ 4293739359.pdf
10. Grinvud N., Ernsho A. Khimiya elementov v 2 t. T. 1, per. s angl. – 5-e izd., ispr., elektron. – M.: Laboratoriya znanii. – 2021. – 664 p
11. Grishina E.N. Osnovy khimii okruzhayushchei sredy. Ch. 2. Khimicheskie protsessy v gidrosfere – Vladimir: Izd-vo Vlad. gos. un-ta. – 2009. – 60 p.
12.Datsenko Yu.S. Osobennosti formirovaniya rechnogo stoka margantsa i zheleza v periody pavodkov // Voda: khimiya i ekologiya. – 2018, № 4–6. – P. 3-6
13. Dobrovol'skii V.V. Osnovy biogeokhimii. M.: Vysshaya shkola. – 1998. – 413 p.
14. Dostai Zh.D. Prirodnye vody Kazakhstana: resursy, rezhim i prognoz // Vodnye resursy Kazakhstana: otsenka, prognoz, upravlenie. – Almaty: Institut geografii. – 2012. – T.2. – 330p.
15. Ershov Yu.A., Popkov V.A. i dr. Obshchaya khimiya. Biofizicheskaya khimiya. Khimiya biogennykh elementov: uchebnik dlya vuzov / – 6-e izd., ster. – M.: Vyssh. shk. – 2007. – 560 p.
16. Egorova N.A., Kanatnikova N.V. Vliyanie zheleza v pit'evoi vode na zabolevaemost' naseleniya//Hygiene & Sanitation (Russian Journal). – 2017; 96(11). – P.1049-1053. DOI: http: // dx.doi.org/10.18821/0016-9900-2017-96-11-1049-1053
17. Ibragimov A.I. Fiziko-khimicheskaya kharakteristika vody r.Syrdar'i: avtoref. diss. kand. khim. nauk: – Alma-Ata. – 1973. – 33 p.
18. Kambalina M.G., Skvortsova L.N., Mazurova I.S., Guseva N.V., Bakibaev A.A. Issledovanie form nakhozhdeniya kremniya v prirodnykh vodakh s vysokim soderzhaniem rastvorennykh organicheskikh veshchestv. Izvestiya Tomskogo politekhnicheskogo universiteta. – 2014; 325(3): – P. 64-70. DOI:10.1016/j.proche.2014.10.008
19. Kamenetskaya D.B. Kremnii v prirodnykh vodnykh ob»ektakh: formy soedinenii i metody kontrolya//Zdorov'e naseleniya i sreda obitaniya – ZNiSO. – 2022(6). – P.15-22. DOI:10.35627/2219-5238/2022-30-6-15-22
20. Korzhavin A.V., Trapeznikov V.N., Trapeznikova A.P., Plataev G.S., Ashirbakieva G.Kh., Khakimzyanova E.I., Popova I.A. Khimicheskii sostav vody v nizhnem techenii reki Ertis // Problemy biogeokhimii i geokhimicheskoi ekologii. – 2012, №3 (20). – P.84-95.
21. Kulikova A.Kh. Kremnii i vysokokremnistye porody v sisteme udobrenii sel'skokhozyaistvennykh kul'tur. – Ul'yanovsk: Izd-vo Ul'yanovskoi GSKhA im. P.A. Stolypina. – 2013. – 173 p.
22. Linnik P. N., Dikaya T. P. Soderzhanie, formy nakhozhdeniya i osobennosti raspredeleniya i migratsii kremniya v poverkhnostnykh vodakh Ukrainy//Vodnye resursy. – 2014. – tom 41. – №6. – P.606-620.
23. Mal'tseva A.V., Tarasov M.G., Smirnov M.P. Stok organicheskikh veshchestv s territorii SSSR // Gidrokhimicheskie materialy. – L.: Gidrometeoizdat. – 1987. – Tom 102. – P.131-145.
24. Minigazimov N.S., Batanov B.N. Vliyanie sbrosov stochnykh vodna kachestvo vody rek Respubliki Bashkortostan//Vestnik Akademii Nauk RB. – 2019. – tom 31. – № 2(94). – P.35-45.
25. Natsional'nyi doklad o sostoyanii okruzhayushchei sredy i ob ispol'zovanii prirodnykh resursov Respubliki Kazakhstan za 2022 god. https://ecogosfond.kz/orhusskaja-konvencija/dostup-k-jekologicheskoj-informacii/jekologijaly-zha-daj/r-orsha-an-ortany-zhaj-k-ji-turaly-ltty-bajandamalar/
26. Nikanorov A.M. Gidrokhimiya. – Izd. 3-e, pererab. i dopoln., SPb.: Gidrometeoizdat. – 2008. – 462 p.
27. Nikanorov A.M. Fundamental'nye i prikladnye problemy gidrokhimii i gidroekologii. – Rostov-n/D: Izd-vo YuFU. – 2015. – 735 p.
28. Pil'guk V.Ya. Fiziko-khimiya vody r. Ertis v usloviyakh sozdaniya vodokhranilishch: avtoref. kand. khim. nauk. – Alma-Ata: KazGU. – 1975. – 30 p.
29. Ryzhakov A.V., Vapirov V.V., Stepanova I. A. Kremnii v poverkhnostnykh vodakh gumidnoi zony (na primere vodnykh ob»ektov Karelii) // Trudy Karel'skogo nauchnogo tsentra RAN. – 2019. – № 3. – P. 52–60 DOI: 10.17076/lim942
30. Savenko V.S. Fiziko-khimicheskii analiz protsessov obrazovaniya zhelezomargantsevykh konkretsii v okeane. Moskva: GEOS. – 2004. – 156 p.
31. Semenov A.D. Rukovodstvo po khimicheskomu analizu poverkhnostnykh vod sushi. – L.: Gidrometeoizdat. – 1977. – 541 p.
32. Smirnov M.P. Organicheskie veshchestva i mineralizatsiya rechnykh vod Rossii, SNG, Baltii. – Rostov-na-Donu: Iz-vo NOK. – 2015. – 360 p.

33. Snegireva N.E. Khimiya poverkhnostnykh vod Sasyk – Alakol'skogo basseina: avtoref.diss. kand. khim. Nauk. – Alma-Ata. – 1970. – 26 p.
34. Khamzina Sh.Sh. Sharipova Z.M., Omarova G.M. Vodnye resursy Pavlodarskoi oblasti, ikh okhrana i ratsional'noe ispol'zovanie. – Pavlodar: Innovats. Evraz. un-t. – 2013. – 248 p.
35. Charykov A.K. Matematicheskaya obrabotka rezul'tatov khimicheskogo analiza. – L.: Khimiya. – 1984. – 168 p.
36. Chertko N.K., Chertko E.N. Geokhimiya i ekologiya khimicheskikh elementov. Minsk: Izdatel'skii Tsenter BGU, – 2008. – 140 p.
37. Burlibayeva D.M., Burlibayev M.Z., Opp C. Regime dynamics of hydrochemical and toxicological parameters of the Irtysh River in Kazakhstan // A Bao - Journal of Arid Land, 8. – 2016. R. 521-532. DOI: 10.1007/s40333-016-0083-y
38. Dietzel M. Dissolution of silicates and the stability of polysilicic acid // Geochim Cosmochim Acta. – 2000. – 64(19). – P. 3275-3281. DOI:10.1016 / s0016-7037(00)00426-9
39. Gaillardet J., Viers J., Dupre B. Trace elements in river waters // Treatise on Geochemistry. Amsterdam: Elsevier. – 2004. – V. 5. – P. 225-272.
40. Gaillardet J., Viers J., Dupre B. Trace elements in river waters. Treatise on Geochemistry. Oxford, Elsevier. – 2014. – P. 195-235.
41. Meybeck M. Carbon, nitrogen and phosphorus transport by world rivers // American Journal of Science. – 1982. – V. 282. – P. 401-450.

ПАВЛОДАР ОБЛЫСЫНДАҒЫ ЕРТІС ӨЗЕНІ БАССЕЙНІНІҢ СУ ОБЪЕКТІЛЕРІНДЕГІ КРЕМНИЙ, ТЕМІРДІҢ ТАРАЛУЫ ЖӘНЕ ОРГАНИКАЛЫҚ ЗАТТАРДЫҢ ТОТЫҒУ МӨЛШЕРІ

С.М. Романова[1*] *г.ғ.д.*, **Е.Г. Крупа**[1,2] *б.ғ.д.*, **А.С. Серікова**[1]

[1]ҚР ҒЖБМ ҒК «Зоология институты» ШЖҚ РМК, Алматы, Қазақстан
[2]Қазақстан қолданбалы экология агенттігі, Алматы, Қазақстан
E-mail: sofiyarom@mail.ru

Зерттеу жұмысында 2023 жылдың жазғы кезеңінде Ертіс өзенінің бассейнінде кремнийдің, темірдің таралуын және перманганаттың тотығу мөлшерін зерттеу бойынша материалдар келтірілген. Ертіс өзенінің суы үшін перманганаттың тотығу мәндері көп жағдайда құрғақ аймақтардың табиғи сулары үшін шектік орташа мәндерден (5…10 мг/дм³), сондай-ақ балық шаруашылығы мақсатындағы сулардың шекті рұқсат етілген концентрацияларынан аспады. Көлдерде суы жеңіл тотығатын органикалық заттармен байытылған (8,62…31,51 мгО/дм³). Кремнийдің ең жоғарғы концентрациясы жалпы су минералданудың төменгі мәндеріне сәйкес келмеді. Темірдің таралуы біркелкі емес және 0,072...1,740 мг/дм³ аралығында өзгереді, максималды концентрациясы Құркөл және Балқылдақ көлдеріңде. Антропогендік фактордың әсерінен темір мен кремний концентрациясының шамалы жоғарылауы, жоғарғы аймақтарынан төменгі аймақтарына дейін болды. Су сапасын жіктеудің бірыңғай жүйесі негізінде Павлодар Ертіс өңіріндегі су объектілерінің сапасына бағалау жүргізілді. Кремний, темір және ПО шамасы арасындағы орташа байланысы анықталды. Компоненттердің таралуы туралы деректерді Ертіс бассейнінің су сапасын толық бағалау үшін пайдалануға болады.

Түйін сөздер: кремний, темір, тотығу, табиғи сулар, гидрохимия, шекті рұқсат етілген концентрация, ластану, экология.

DISTRIBUTION OF THE SILICON, IRON AND OXIDIZABILITY IN THE WATER BODIES OF THE PAVLODAR ERTIS REGION

S. Romanova[1*] *Doctor of Geographical Sciences*, **E. Krupa**[1,2] *Doctor of Biological Sciences*, **A.Serikova**[1]

[1]«Institute of Zoology», Almaty, Kazakhstan
[2] Kazakhstan Agency of Applied Ecology, Almaty, Kazakhstan
E-mail: sofiyarom@mail.ru

The materials of our own research on the distribution of silicon, iron and the value of permanganate oxidability in the Irtysh River basin in the summer of 2023 presented. It has

been established that the content of these components and their ratios are not the same in the water of rivers and lakes. The values of permanganate oxidizability (PO) for the water of the Irtysh River in most cases did not exceed the average values for natural waters of arid zones (5…10 mgO/dm^3), as well as the maximum permissible concentrations for fishery waters. The water of floodplain lakes and storage lakes is more enriched with easily oxidizing organic substances (8.62…31.51 mgO/dm^3). The maximum concentrations of silicon did not always correspond to the minimum values of total mineralization. The distribution of dissolved total iron is uneven and varies between 0.072...1.740 mg/dm^3, with a maximum concentration in oz. Kurkol and the Balkyldak storage lake. From the upper to the lower sections of the Ertis, there was a slight increase in the concentration of iron and silicon, as a result, of the influence of an anthropogenic factor. The assessment of the quality of the water bodies of the Pavlodar Irtysh region was carried out on the basis of a Unified water quality classification system. The relationship of the average strength between silicon, iron and the value of PO is revealed. The data on the distribution of these components can be used for a more complete assessment of the water quality of the Yertis basin.

Keywords: silicon, iron, oxidizability, natural waters, hydrochemistry, maximum permissible concentration, pollution, ecology.

Сведения об авторах/Авторлар туралы мәліметтер/Information about authors:

Романова С. М. – доктор географических наук, главный научный сотрудник лаборатории гидробиологии и экотоксикологии, РГП на ПХВ «Институт зоологии» МНВО РК, пр. аль-Фараби 93, Алматы, Казахстан, *sofiyarom@mail.ru*
Крупа Е. Г. – доктор биологических наук, заведующий лаборатории гидробиологии и экотоксикологии, РГП на ПХВ «Институт зоологии» МНВО РК, пр. аль-Фараби 93, Алматы, Казахстан, *elena_krupa@mail.ru*
Серикова А. С. – научный сотрудник лаборатории гидробиологии и экотоксикологии, РГП на ПХВ «Институт зоологии» МНВО РК, пр. аль-Фараби 93, Алматы, Казахстан, *serikova.aiz@mail.ru*

Романова С. М. – география ғылымдарының докторы, «Зоология институты» ШЖҚ РМК гидробиологи және экотоксикология зертханасының бас ғылыми қызметкері, әл-Фараби даңғылы, 93, Алматы, Қазақстан, *sofiyarom@mail.ru*
Крупа Е. Г. – биология ғылымдарының докторы, «Зоология институты» ШЖҚ РМК гидробиология және экотоксикология зертханасының меңгерушісі, әл-Фараби даңғылы, 93, Алматы, Қазақстан, *elena_krupa@mail.ru*
Серікова А. С. – «Зоология институты» ШЖҚ РМК гидробиология және экотоксикология зертханасының ғылыми қызметкері, әл-Фараби даңғылы, 93, Алматы, Қазақстан, *serikova.aiz@mail.ru*

Romanova S. – Doctor of Geographical Sciences, Leading Researcher of the Laboratory of Hydrobiology and Ecotoxicology, «Institute of Zoology», al-Farabi ave. 93, Almaty, Kazakhstan, *sofiyarom@mail.ru*
Krupa E. – Doctor of Biological Sciences, Head of the Laboratory of Hydrobiology and Ecotoxicology, «Institute of Zoology», al-Farabi ave. 93, Almaty, Kazakhstan, *elena_krupa@mail.ru*
Serikova A. – Researcher at the Laboratory of Hydrobiology and Ecotoxicology, «Institute of Zoology», al-Farabi ave. 93, Almaty, Kazakhstan, *serikova.aiz@mail.ru*

Вклад авторов/ Авторлардың қосқан үлесі/ Authors contribution

Романова С.М. - разработка концепции, проведение статистического анализа, проведения исследования, подготовка и редактирование текста, визуализация
Крупа Е.Г. - разработка методологии, ресурсы
Серикова А.С. - проведение исследования

Романова С.М. - тұжырымдаманы әзірлеу, статистикалық талдау жүргізу, зерттеу жүргізу, мәтінді дайындау және өңдеу, көрнекілік
Крупа Е.Г. - әдістемені әзірлеу, ресурстар
Серикова А.С. - зерттеу жүргізу

Romanova S. - concept development, conducting statistical analysis, conducting a research, preparing and editing the text, visualization
Krupa E.- methodology development, resources
Serikova A.- conducting a research

УДК 556.531; 556.551 МРНТИ 70.27.17

МНОГОЛЕТНЯЯ ДИНАМИКА ТРАНСГРАНИЧНОГО ПРИТОКА БИОГЕННЫХ СОЕДИНЕНИЙ ПО РЕКЕ ИЛЕ И ЕГО ТРАНСФОРМАЦИЯ ПО ТЕЧЕНИЮ РЕКИ

Н.А. Амиргалиев *д.г.н., профессор*, **А. Мұсақұлқызы*** *к.т.н.,* **А. С. Мадибеков** *PhD, ассоцированный профессор,* **Л. Т. Исмуханова** *к.г.н,* **Б. М. Султанбекова**

Институт географии и водной безопасности, Алматы, Казахстан
E-mail: mus_ain@mail.ru

В работе приводятся результаты исследований, посвященных оценке многолетней динамики объема трансграничного притока на территорию Казахстана биогенных соединений по реке Иле. На основе многолетнего материала Государственного мониторинга РГП «Казгидромет» рассмотрены особенности трансформации стока биогенных соединений (азота и фосфора) по течению реки с учетом влияния природных и антропогенных факторов. Приведены сведения о важности исследования биогенных веществ в формированиях качества поверхностных вод, а также речного их стока в биологической продуктивности и санитарном режиме конечных водоемов. Показана роль трансграничного стока реки Иле, как основного фактора формирования режима биогенных веществ на территории Казахстана. Дана количественная оценка объема среднегодового притока этих соединений за 2003…2020 гг., и приведены основные факторы, определяющие трансформацию стока биогенных веществ по течению реки.

Ключевые слова: биогенный сток, трансформация, трансграничный приток, азот, фосфор.

Поступила: 18.03.24
DOI: 10.54668/2789-6323-2024-113-2-57-66

ВВЕДЕНИЕ

Важной составной частью безопасности страны является экологическая безопасность. В этой связи особую тревогу вызывает продолжающееся антропогенное загрязнение главных водных бассейнов республики как трансграничным стоком, так и в результате сброса в них производственных, сельскохозяйственных и хозяйственно-бытовых сточных вод на территории республики. В этом отношении не является исключением трансграничная река Иле, являющаяся главной водой артерией бассейна озера Балкаш.

Трансграничные проблемы для Казахстана приобретают остроту не только в области сохранения оптимального объема притока речных вод в наши водные бассейны, но и в том, что происходит по трансграничным рекам приток различных токсичных соединений, взаимопроникновение чужеродных гидробионтов, в том числе рыб, привнос новых видов болезней рыб, поскольку территория Казахстана занимает нижнее течение всех трансграничных водотоков.

В современных условиях ученые едины во мнении, что поиск критериев оценки антропогенной трансформации природных вод относится к важнейшим теоретическим и методическим вопросам гидрохимических исследований водных экосистем. Существенное влияние антропогенное воздействие оказывает не только на формирование режима химических элементов в природных водах, но и на речной сток этих соединений, поступающий в моря, океаны и внутренние бессточные водоемы.

Компонентный состав стока растворенных химических веществ формируется под влиянием таких факторов, как характер местного и регионального, в том числе и трансграничного, распространения загрязняющих веществ, биоаккумуляция многих загрязняющих веществ и вовлечение их в пищевые цепи биоценозов. Суммарный эффект этих факторов находит свое отражение по длине реки вплоть до замыкающих створов водотоков (Никаноров А. М. и др., 2010).

Изучение выноса химических веществ является одним из важных вопросов в условиях большого динамизма речного стока и химического состава воды под воздействием антропогенных факторов. Расчет стока химических веществ имеет большое значение не только для оценки ряда составляющих химического баланса и биологической продуктивности, но и для познания интенсивности эрозионно-аккумулятивных процессов, происходящих в бассейне реки. Следовательно, изучение многолетней динамики этого процесса позволяет глубже понять характер влияния тех или иных литологических и антропогенных факторов в бассейне на формирование химического состава и качества речной воды. Исследование этого вопроса особенно важно в современных условиях для оценки уровня загрязненности поступающих на территорию Казахстана трансграничных вод из сопредельных государств.

Загрязненность различными токсичными и биогенными соединениями трансграничных вод, притекающих с территории КНР по реке Иле, в течение многих лет регистрируется Государственной службой мониторинга на приграничном гидропосту (ГП). Согласно данным российских ученых (Крюков В. Г. и др., 2005), нарушение экологической обстановки в трансграничной реке Амур и ее притоков происходит под воздействием со стороны Китая таких факторов: аварийный и залповые сбросы экологически грязных производств, сброс в речную систему неочищенных производственных и сельскохозяйственных стоков, перенос токсикантов воздушным путем и др. В работе (Никаноров А. М. и др., 2013) отмечено, что на территории Китая более 200 предприятий работают без очистных сооружений.

Из многочисленных компонентов, представленных в природных водах, особо важное значение имеют соединения азота, фосфора и кремния. Без этих элементов в воде, как и в почве, не могли бы развиваться жизненные процессы. Соединения азота, кремния и фосфора определяют биологическую продуктивность водоемов и создают кормовую базу промысловых рыб, поэтому они называются биогенными веществами.

Известно, что высокий уровень содержания минеральных форм азота и фосфора способствует повышению трофности экосистем водоемов и водотоков, что, в свою очередь, может привлечь за собой изменение структурно-функциональной организации гидробиоценозов в сторону усиления процессов антропогенного эвтрофирования.

По утверждению известного лимнолога (Россолимо Л.Л., 1974), основным следствием эвтрофирования водоемов является повышение их биопродуктивности и в первую очередь интенсификация «цветения» воды преимущественно синезелеными водорослями. В этом заключается принципиальное отличие эвтрофирования от загрязнения водоемов токсическими веществами, подавляющими жизнедеятельность организмов.

Ухудшение качества воды при эвтрофировании водоемов является следствием гиперпродукции органического вещества, обуславливающей вторичное биологическое загрязнение, или само-загрязнение. Накопление фосфора и азота в составе иловых отложений является одним из важных причин антропогенного эвтрофирования водоемов.

Следует отметить, что эвтрофирование водоемов и «цветение» воды, происходящие при повышении концентрации соединений азота и фосфора, существенно ухудшают особенно хозяйственно-питьевых качеств вод.

Озеро Балкаш – одно из крупнейших озер мира, существующее в условиях аридной зоны. Водоем этот отличается низкой биологической продуктивностью, особенно на первичном энергетическом уровне. Средняя рыбопродуктивность Балкаша 6…7 кг/га, что в 1,5; 2 и 13 раз ниже, чем в Балтийском, Каспийском и Азовском морях соответственно. Основной причиной низкой первичной продукции озера при наличии всех необходимых благоприятных природных условий является недостаточное количество в воде биогенных веществ, в первую очередь азота и фосфора. Главную роль в водном и химическом балансе оз. Балкаш имеет р. Иле, водным стоком которой на 75…80 % обеспечивается

данный водоем. По результатам наших исследований (Амиргалиев Н. А., Григорьева Э.Н., Шильниковская Л. С., 1984), на долю реки приходится в среднем 67,4 % от общего биогенного стока в озеро, вносимого в него всеми реками его бассейна.

Учитывая все изложенные выше, а также важность биогенных веществ в формировании качества вод и биологической продуктивности в бассейне озера Балкаш, основной целью проводимых исследований определены вопросы: количественная оценка объема трансграничного притока биогенных соединений по реке на территорию Казахстана за многолетний период, а также установление характера и основных природных, антропогенных факторов трансформации стока биогенных веществ по течению реки на территорию Республики.

Впервые сток биогенных элементов с территории СССР оценен (Алекиным О. А. и Бражниковой Л.В., 1964). В последнее десятилетие учеными Гидрохимического института и Института водных проблем РАН под руководством известного ученого, профессора А. М. Никаноров опубликован ряд обобщающих научных работ по гидроэкологическому состоянию целого ряда крупных рек РФ (Никаноров А. М. и др., 2010; Никаноров А. М. и др., 2013; Никаноров А. М., Брызгало В.А., Косменко Л.С., 2010; Никаноров А. М. и др., 2011; Никаноров А. М., Брызгало В.А., 2011). Особое внимание в них уделяется стоку химических соединений, в т.ч. биогенных элементов, как одному из главных факторов, определяющих характер антропогенной нагрузки на водные экосистемы.

Важной отличительной особенностью этих исследований являются оценка роли химического речного стока, в т.ч. биогенного, в антропогенной трансформации состояния водной среды, уровня антропогенной нагрузки по притоку химических веществ на конкретных участках рек, допустимой нагрузки по ПДК со стороны реки на устьевую область и других вопросов гидроэкологического характера.

Сток биогенных соединений для речных бассейнов Казахстана изучен недостаточно. Сведения по объему стока биогенных соединений в озеро Балкаш всеми реками бассейна за 1967-1987 гг., в т.ч. по реке Иле были представлены в работах (Амиргалиев Н. А., Григорьева Э.Н., Шильниковская Л. С., 1984; Амиргалиев Н. А., Григорьева Э.Н., 1987), а по реке Сырдария в (Амиргалиев Н.А., 2007). Опубликованных сведений, посвященных данному вопросу по другим рекам Казахстана, в литературных источниках не встречаются.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ.

Количественная оценка биогенного стока по реке Иле и характер его временной динамики, основаны на мониторинговых данных РГП «Казгидромет» за 1967…1987 и 2003…2020 гг. Использованы данные по водному стоку и содержанию биогенных соединений, получаемых на четырех гидропостах (ГП), расположенных по течению реки на территории Казахстана: пристань Добын – приграничный створ с КНР, 164 км выше Капшагайской ГЭС, 37 км ниже ГЭС и с. Ушжарма (замыкающий). Сток биогенных веществ расчитывали по общепринятой методике (Алекин О. А., Бражникова Л.В., 1963).

Наиболее показателным критерием антропогенного поступления азота и фосфора с речным стоком использовано их отношение к минеральному растворенному кремнию, предложенное (Максимовой М. П., 1979).

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЯ

В работе (Амиргалиев Н. А., Григорьева Э.Н., Шильниковская Л. С., 1984), впервые посвященной оценке объема речного биогенного стока в озере Балкаш, рассмотрен приток этих веществ в озеро всеми реками бассейна. В основу этих исследований были положены материалы Государственного мониторинга Казгидромет за 1967…1980 гг., полученные на замыкающих створах всех водотоков, а по реке Иле на данных по створу с. Ушжарма.

Полученные результаты показали большую изменчивость стока биогенных веществ в многолетний период в основном в зависимости от колебания водного стока в отдельные годы. При этом установлено, что относительная доля стока биогенных веществ реки Иле в озеро составляет 66,8…68,3 % от

суммарного речного притока этих соединений. Водный и суммарный биогенный сток изученных компонентов (соединения азота, фосфор, кремний и железо) реки Иле в озеро Балкаш менялись по периодам следующим образом: 1967…1969 гг., т.е. в период естественного режима реки, водный 11,8 км³/год, биогенный – 85,30 тыс. т, 1970…1975 гг. (при наличии Капшагайского водохранилища) водный 8,7 км³/год – биогенный 55,73 тыс. т, 1976…1980 гг. – соответственно 8,6 км³/год и 58,82 тыс. т.

Сопоставляя полученные данные по периодам, можно отметить следующее (таблица 1). Водный сток реки Иле после 1970 г. в связи с заполнением Капшагайского водохранилища и забором воды на орошение заметно сократился. В этот период соответственно уменьшился и суммарный сток биогенных веществ. В отдельные годы величина его снижалась до 30,16…35,86 тыс. т, по сравнению с максимальными значениями 90,35 и 83,65 тыс. т, отмеченными соответственно в 1968 и 1969 гг. до зарегулирования реки.

Однако при этом сток минеральных форм азота не сократился, а для нитритов и нитратов он возрос. Сток остальных биогенных веществ существенно не изменился и в целом согласуется с колебаниями водного стока. Следует, однако, отметить, что сток фосфора подвергается достаточно резким изменениям, максимальные его величины в отдельные годы достигали для реки Иле 1,18 тыс. т, основной причиной, обуславливающей повышение в речных водах концентрация азота и в отдельных случаях фосфора, а также их стока, является поступление в речную сеть производственных, бытовых и сельскохозяйственных стоков.

Таблица 1

Биогенный сток реки Иле в озеро Балкаш, за 1967...1980 гг.

Период	Водный сток, км³	Средние значения стока биогенных компонентов, тыс. т						
		NH_4^+	NO_2^-	NO_3^-	P	Si	Fe	Сумма
1967...1969	11,8	4,84	0,30	21,34	0,48	56,49	1,85	85,30
1970...1975	8,7	5,08	0,28	17,63	0,37	31,35	1,00	55,72
1976...1980	8,6	3,05	0,33	22,44	0,28	31,82	0,90	58,82

Сезонное распределение биогенного стока реки Иле в целом соответствовало колебанию водного стока и в 1967…1980 гг. составило: зимой 25,5 %, весной 22,4 %, летом 29,6 и осенью – 22,5 %.

Как известно (Максимова М.П., 1979), наиболее показательным индикатором антропогенного поступления азота и фосфора в водотоки и водоемы может быть их соотношение к минеральному растворенному кремнию, как реперу, содержание которого за счет антропогенных факторов не возрастает.

Результаты расчета отношений Si/N и Si/P показали (таблица 2) постепенное снижение величины рассматривающих отношений за указанные периоды.

Таблица 2

Величина отношения кремния к азоту и фосфору в воде реки Иле

Период, гг.	$\frac{Si}{N\text{сум. мин.}}$	$\frac{Si}{P}$
1967...1969	12,0	310
1970...1975	5,5	189
1976...1980	3,3	168

По результатам исследований, проведенных в последующие годы (Амиргалиев Н.А., Григорьева Э.Н., 1987), величины отношений между рассматриваемыми показателями в 1981…1985 гг. остались на уровне, отмеченном в 1976…1980 гг. и составили для Si/N – 3.3, для Si/P – 160. Эти данные, очевидно, являются показателями усиления влияния антропогенных составляющих на сток биогенных элементов реки с начала 80-х годов.

В принятых нами для расчета стока биогенных соединений реки Иле материалах Государственного мониторинга Казгидромет за 2003…2022 гг., концентрация биогенных

элементов в речной воде изменяется в довольно широком диапазоне. Как следует из данных таблицы 3, наиболее высокие значения средних концентрации всех изучаемых соединений регистрируются в трансграничном стоке (ГП Добын). Максимальные концентраций их достигали для аммонийного азота 0,73, нитритов – 0,17, и нитратов – 6,31 мг/дм³. Минеральный растворенный фосфор также колебался в пределах 0,009…0,240 мг/дм³.

Таблица 3

Концентрация биогенных веществ в воде реки Иле за 2003…2020 гг., мг/дм³

Створ	NH_4^+	NO_2^-	NO_3^-	P
2003…2012 гг.				
ГП Добын	0,10	0,07	2,29	0,03
164 км выше Капшагайской ГЭС	0,08	0,03	0,95	0,02
ГП 37 км ниже Капшагайской ГЭС	0,04	0,01	0,76	0,02
ГП с. Ушжарма	0,05	0,01	1,00	0,03
2013…2020 гг.				
ГП Добын	0,45	0,05	2,35	0,13
164 км выше Капшагайской ГЭС	0,36	0,04	1,70	0,13
ГП 37 км ниже Капшагайской ГЭС	0,15	0,02	1,26	0,04
ГП с. Ушжарма	0,18	0,01	1,25	0,05

Как видно из данных таблицы 3, в речной воде ниже Капшагайской плотины происходит снижение содержания всех биогенных веществ. Это объясняется аккумулированием их в водохранилище и потреблением водной растительностью, заросли которых, особенно в верховьях и южном побережье водоема, занимают достаточно большие площади.

Очевидно, роль Капшагайского водохранилища, протяженность которого около 80 км, площадь 1280 км², объем воды 16,0 км³, достаточно высока в трансформации биогенных веществ в стоке реки Иле. Следует предположить, что в пределах водохранилища происходит не только седиментация взвешенных биогенных и органических веществ и биомиграция биогенов, но и активные внутриводоемные процессы, главным образом деструкция органических остатков водной флоры, фауны и круговорот биогенных соединений в водной экосистеме водохранилища. Известно, что эти процессы приводят к превышению расходной части в балансе биогенных соединений в водохранилище, о чем свидетельствует наблюдаемое заметное уменьшение их концентрации в воде, сбрасываемой в нижний бьеф водохранилища.

Результаты расчета среднегодового объема биогенного стока реки приведены в таблице 4. Объем водного стока за 2003…2012 гг. был значительно выше со средним значением по всем гидропостам 15,5 км³, а в 2013…2020 гг. составил в среднем 13,6 км³. Принимая это во внимание биогенный сток рассчитан раздельно по двум периодам.

Таблица 4

Среднегодовые значения биогенного стока реки Иле за 2003…2020 гг.

Створ	Водный сток, км³	тыс. т				
		NH_4^+	NO_2^-	NO_3^-	P	Сумма
2003…2012 гг.						
ГП Добын	13,62	1,43	0,97	30,74	0,45	33,59
164 км выше Капшагайской ГЭС	15,79	1,50	0,38	16,07	0,41	18,36
ГП 37 км ниже Капшагайского ГЭС	16,54	0,69	0,18	12,42	0,40	13,69
ГП с. Ушжарма	16,00	0,48	0,20	15,41	0,51	16,59
2013…2020 гг.						
ГП Добын	13,29	6,31	0,62	23,21	1,81	31,95
164 км выше Капшагайской ГЭС	13,79	4,27	0,48	17,16	0,84	22,75
ГП 37 км ниже Капшагайского ГЭС	13,88	2,4	0,26	17,92	0,55	21,14
ГП с. Ушжарма	13,61	2,75	0,20	17,71	0,71	21,37

Из приводимого материала видно, что объем стока фосфора и соединений азотной группы, за исключением данных по приграничному посту для нитритного и нитратного азота, во втором периоде (2013…2020 гг.) был значительно выше во всех гидропостах, чем в первом, несмотря на то, что в первом периоде объем водного стока был выше. Это объясняется повышенным содержанием в воде указанных компонентов в маловодные 2013…2020 гг. Максимальный объем суммарного биогенного стока (33,59…31,95 тыс. т) за рассматриваемые периоды регистрируется в трансграничном стоке (ГП Добын), ниже по течению реки значения этого показателя заметно снижаются.

Внутригодовое распределение стока биогенных веществ не везде по течению реки соответствует колебанию водного стока (таблицы 5). Максимальные значения биогенного стока реки на гидропостах, расположенных выше Капшагайского водохранилища, регистрируются весной, а у гидропостах ниже плотины – летом в первом и во втором периоде. За рассматриваемый многолетний период на гидропостах 164 км и с. Ушжарма наиболее высокий объем биогенного и водного стока зарегистрированы в одни те же сезоны, а на других гидропостах соответствие сроков максимальных значений этих показателей не наблюдалось. Минимальные объемы стока воды и биогенного стока в первом и во втором периоде зарегистрированы осенью и зимой.

Таблица 5

Сезонное распределение водного (а) и биогенного (б) стока реки Или за 2003…2020 гг., %

Сезон	ГП Добын		164 км выше Капшагайской ГЭС		ГП 37 км ниже Капшагайского ГЭС		ГП с. Ушжарма	
	а	б	а	б	а	б	а	б
2003…2012 гг.								
Зима	18,0	19,8	26,5	19,1	23,5	20,2	19,5	18,0
Весна	24,5	34,3	33,3	33,0	34,3	25,4	24,1	23,5
Лето	34,3	25,1	23,0	29,9	22,0	36,7	33,6	38,0
Осень	23,3	20,9	17,2	18,1	20,3	17,7	22,9	20,5
2013…2020 гг.								
Зима	20,9	16,8	24,8	21,0	24,5	20,6	18,8	18,8
Весна	24,9	36,2	27,5	30,5	36,5	29,0	25,6	30,1
Лето	27,3	27,8	26,6	22,1	19,1	35,0	35,2	35,9
Осень	26,8	19,2	21,1	26,5	19,9	15,4	20,4	15,2

Представляет интерес сравнение объемов притока в озеро Балкаш соединений азота и фосфора через гидропост Ушжарма за периоды 1967…1980 гг. и 2003…2020 гг. Как следует из данных таблиц 1 и 4, сток азотных соединений в озеро в последнее двадцатилетие имеет тенденцию заметного сокращения, хотя объем водного стока в годы данного периода был значительно выше. Более резкое снижение характерно для стока аммонийного азота (NH_4^+), значения которого в 1967…1980 гг. составили 3,05…5,08 тыс. т, а в последнее двадцатилетие сократились до 0,48…2,75 тыс. т. Однако сток минерального растворенного фосфора в озере Балкаш в 2003…2020 гг. заметно возрос с 0,28…0,48 тыс. т в годы первого периода до 0,51…0,71 тыс. т.

Сокращение стока азотных соединений на данном створе, очевидно, обусловлено некоторым сокращением использования минеральных удобрений в бассейне реки в последние десятилетия, а также оседанием в акватории Капшагайского водохранилища и в дельтовой зоне взвешенного органического материала и биологическим потреблением азота. Некоторый рост в последний период стока минерального растворенного фосфора может быть связан усилением денудационных процессов на поверхности водосборной территории реки в условиях повышения объема водного стока, а также доли местного склонового стока, поступающего в речную систему.

На основе приведенного выше материала следует отметить, что основным поставщиком биогенных соединений на территорию Казахстана является трансграничный сток

реки Иле. В таблице 4 показано, что через трансграничный ГП Добын поступало ежегодно в среднем 33,14 тыс. т азотных соединений и 0,45 тыс. т минерально-растворенного фосфора в 2003…2012 гг. а в последующий период 30,14 и 1,81 тыс. т, соответственно. Приток большого объема особенно азотных соединений из территорий КНР приводит к накоплению в воде трансграничной зоны и ниже по течению реки достаточно высокой концентраций азотных соединений. Трансграничный приток загрязняющих веществ и наличие источников антропогенного загрязнения на нашей территории приводят к заметному снижению санитарного состояния водных ресурсов реки.

Важную роль в трансформации биогенного стока реки Иле имеет Капшагайское водохранилище благодаря происходящим в нем активным процессам аккумулирования и биомиграции соединений азота и фосфора. Наблюдаемое несоответствие рассматриваемых биогенных веществ к водному стоку в целом закономерное явление, указывающее на наличие в водосборной части бассейна реки источников антропогенного загрязнения этими соединениями. Следовательно, рост концентрации биогенов происходит преимущественно за счет вносимых загрязнителей, а роль денудационных процессов в бассейне, очевидно, имеет подчиненное положение и зависит от интенсивности поступления в реку местного стока из водосборной территории.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

По результатам раннее проведенных исследований установлено, что относительная доля стока биогенных веществ реки Иле в озеро Балкаш составляет 66,8…68,3 % от суммарного речного притока этих соединении. Выполненные расчеты отношений азотных соединений и фосфора к минеральному растворенному кремнию позволили установить, что усиление влияния антропогенных составляющих на сток биогенных элементов реки четко проявлялось с начала 80-х годов прошлого столетия.

Анализ многолетнего материала за 2003…2020 гг. показал значительной изменчивости биогенного стока реки Иле в межгодовом и внутригодовом аспекте в зависимости от колебания водного стока и под влиянием ряда природных и антропогенных факторов в бассейне. К их числу относятся осаждение на акватории Капшагайского водохранилища взвешенных наносов органо-минерального происхождения, потребление азота и фосфора водной флорой, а также сельско-хозяйственные и другие виды сточных вод, поступающие в реку, роль денудационных процессов на водосборной территории бассейна наблюдается в сравнительно многоводные годы. Повышение концентрации биогенных соединений под влиянием антропогенных факторов и в маловодные периоды приводит к заметному росту биогенного стока реки.

Основным поставщиком биогенных веществ на территорию Казахстана является трансграничный сток по реке Иле. Соответственно и максимальный объем суммарного биогенного стока (33,59…31,95 тыс. т) за рассматриваемые периоды регистрируется в трансграничном стоке (ГП Добын), ниже по течению реки значения этого показателя заметно снижаются.

Работа выполнена в рамках грантового проекта ИРН AP19679150 «Закономерности антропогенной трансформации качества вод в трансграничных бассейнах, на примере бассейна реки Иле».

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Никаноров А.М. Брызгало В.А., Косменко Л.С., Решетняк О.С. Роль химического речного стока в антропогенной трансформации состояния водной среды Енисейской устьевой области // Водные ресурсы. 2010. Том. 37. № 4. С.434-444.

2. Крюков В.Г., Воронов Б.А., Гаврилов А.В., Макаров А.В. Река Амур: проблемы и пути решения. – Хабаровск: Приамурское географическое общество, 2005. – 153 с.

3. Никаноров А.М., Брызгало В.А., Решетняк О.С., Косменко Л.С., Даниленко А.О. Антропогенная трансформация экологического состояния и транспорт загрязняющих веществ по длине реки Амур // Водное хозяйство России. – 2013. - №5. – С. 15-26.

4. Россолимо Л.Л. Антропогенное эвтрофирование внутренних водоемов: современные успехи и нерешенные вопросы // Антропогенное эвтрофирование водоемов (Тезисы докладов на Первом Всесоюзном симпозиуме по антропогенному эвтрофированию водоемов). – Черноголовка, 1974. – С. 34-39.

5. Амиргалиев Н.А., Григорьева Э.Н., Шильниковская Л.С. Биогенный сток рек в озеро Балхаш // «Водные ресурсы». М.: «Наука», 1984. № 6. – С. 97-103.

6. Алекин О.А., Бражникова Л.В. Сто растворенных веществ с территории СССР. М: Наука, 1964. 143 с.
7. Никаноров А.М. Брызгало В.А., Косменко Л.С. и др. Роль речного притока растворенных химических веществ в антропогенной трансформации состояния водной среды устьевой области р. Волга// Вода: химия и экология. – 2010. № 7. С. 6-12.
8. Никаноров А.М. Брызгало В.А., Косменко Л.С., Кондакова М.Ю., Решетняк О.С. Антропогенной нагрузка на устьевую область р. Дон в современных условиях техногенного воздействия// Вода: химия и экология. – 2011. № 1. С. 4-10.
9. Никаноров А.М. Брызгало В.А. Реки России. Часть IV. Реки Дальнего Востока (гидрохимия и гидроэкология) – Ростов-на-Дону: Изд-во «НОК», 2011. – 324 с.
10. Амиргалиев Н.А, Григорьева Э.Н. Антропогенная составляющая биогенного стока рек (как главный элемент экологического мониторинга поверхностных вод) бассейна оз. Балхаш // «Состояние и перспективы развития методологических основ химического и биологического мониторинга поверхностных вод суши». Ростов-на-Дону, 1987. Т. III. – С. 16-17.
11. Амиргалиев Н. А. Арало-Сырдарьинский бассейн: гидрохимия, проблемы водной токсикологии. – Алматы: ТОО Изд-во «Бастау», 2007. – 224 с.
12. Алекин О.А., Бражникова Л.В. Методы расчета ионного стока // Гидрохимические материалы. – 1963. – Т. 35. – С. 135-148.
13. Максимова М. П. Критерии антропогенного евтрофирования речного стока и расчет антропогенной составляющей биогенного стока рек // Водные ресурсы, №1, 1979. – С. 36-40.

REFERENCES

1. Nikanorov A.M. Bryzgalo V.A., Kosmenko L.S., Reshetnyak O.S. Rol' khimicheskogo rechnogo stoka v antropogennoi transformatsii sostoyaniya vodnoi sredy Eniseiskoi ust'evoi oblasti // Vodnye resursy. 2010. Tom. 37. № 4. P.434-444.
2. Kryukov V.G., Voronov B.A., Gavrilov A.V., Makarov A.V. Reka Amur: problemy i puti resheniya. – Khabarovsk: Priamurskoe geograficheskoe obshchestvo, 2005. – 153 p.
3. Nikanorov A.M., Bryzgalo V.A., Reshetnyak O.S., Kosmenko L.S., Danilenko A.O. Antropogennaya transformatsiya ekologicheskogo sostoyaniya i transport zagryaznyayushchikh veshchestv po dline reki Amur // Vodnoe khozyaistvo Rossii. – 2013. - №5. – P. 15-26.
4. Rossolimo L.L. Antropogennoe evtrofirovanie vnutrennikh vodoemov: sovremennye uspekhi i nereshennye voprosy // Antropogennoe evtrofirovanie vodoemov (Tezisy dokladov na Pervom Vsesoyuznom simpoziume po antropogennomu evtrofirovaniyu vodoemov). – Chernogolovka, 1974. – P. 34-39.
5. Amirgaliev N.A., Grigor'eva E.N., Shil'nikovskaya L.S. Biogennyi stok rek v ozero Balkhash // «Vodnye resursy». M.: «Nauka», 1984. № 6. – S. 97-103.
6. Alekin O.A., Brazhnikova L.V. Sto rastvorennykh veshchestv s territorii SSSR. M: Nauka, 1964. 143 p.
7. Nikanorov A.M. Bryzgalo V.A., Kosmenko L.S. i dr. Rol' rechnogo pritoka rastvorennykh khimicheskikh veshchestv v antropogennoi transformatsii sostoyaniya vodnoi sredy ust'evoi oblasti r. Volga// Voda: khimiya i ekologiya. – 2010. № 7. P. 6-12.
8. Nikanorov A.M. Bryzgalo V.A., Kosmenko L.S., Kondakova M.Yu., Reshetnyak O.S. Antropogennoi nagruzka na ust'evuyu oblast' r. Don v sovremennykh usloviyakh tekhnogennogo vozdeistviya// Voda: khimiya i ekologiya. – 2011. № 1. P. 4-10.
9. Nikanorov A.M. Bryzgalo V.A. Reki Rossii. Chast' IV. Reki Dal'nego Vostoka (gidrokhimiya i gidroekologiya) – Rostov-na-Donu: Izd-vo «NOK», 2011. – 324 p.
10. Amirgaliev N.A, Grigor'eva E.N. Antropogennaya sostavlyayushchaya biogennogo stoka rek (kak glavnyi element ekologicheskogo monitoringa poverkhnostnykh vod) basseina oz. Balkhash // «Sostoyanie i perspektivy razvitiya metodologicheskikh osnov khimicheskogo i biologicheskogo monitoringa poverkhnostnykh vod sushi». Rostov-na-Donu, 1987. T. III. – P. 16-17.
11. Amirgaliev N. A. Aralo-Syrdar'inskii bassein: gidrokhimiya, problemy vodnoi toksikologii. – Almaty: TOO Izd-vo «Bastau», 2007. – 224 p.
12. Alekin O.A., Brazhnikova L.V. Metody rascheta ionnogo stoka // Gidrokhimicheskie materialy. – 1963. – T. 35. – P. 135-148.
13. Maksimova M. P. Kriterii antropogennogo evtrofirovaniya rechnogo stoka i raschet antropogennoi sostavlyayushchei biogennogo stoka rek // Vodnye resursy, №1, 1979. – P. 36-40.

ІЛЕ ӨЗЕНІ БОЙЫНША БИОГЕНДІК ҚОСЫЛЫСТАРДЫҢ ТРАНСШЕКАРАЛЫҚ АҒЫНЫНЫҢ КӨПЖЫЛДЫҚ ДИНАМИКАСЫ ЖӘНЕ ОНЫҢ ӨЗЕН АҒЫСЫ БОЙЫНША ТРАНСФОРМАЦИЯСЫ

Н.А. Амиргалиев *профессор, г.ғ.д.,* **А. Мұсақұлқызы*** *т.ғ.д.,* **А. С. Мадибеков** *PhD,*
қауымдастырылған профессор**, Л. Т. Исмуханова** *г.ғ.к.,* **Б. М. Султанбекова**

География және су қауіпсіздігі институты, Алматы, Қазақстан
E-mail: mus_ain@mail.ru

Жұмыста Іле өзені бойымен Қазақстан аумағына кіретін биогенді қосылыстардың трансшекаралық ағыны көлемінің ұзақ мерзімді динамикасын бағалауға бағытталған зерттеулердің нәтижелері берілген. «Қазгидромет» РМК мемлекеттік мониторингінің

көпжылдық мәліметтері негізінде, табиғи және антропогендік факторлардың әсерін ескере отырып, өзен ағысы бойынша биогендік қосылыстардың (азот пен фосфор) ағынының трансформацияну ерекшеліктері қаралды. Жер үсті суларының сапасын қалыптастыруда, сондай-ақ өзен ағынының биологиялық өнімділігі мен соңғы су айдындарының санитарлық режимінде, биогенді заттарды зерттеудің маңыздылығы туралы мәліметтер келтірілген. Қазақстан аумағындағы қоректік заттар режимін қалыптастырудың негізгі факторы ретінде Іле өзенінің трансшекаралық ағынының рөлі көрсетілген. Осы қосылыстардың 2003...2020 жылдардағы орташа жылдық ағынының көлеміне сандық баға беріліп, өзен бойындағы қоректік заттардың ағынының өзгеруін анықтайтын негізгі факторлар келтірілген.

Түйін сөздер: биогенді ағын, трансформация, трансшекаралық ағын, азот, фосфор.

MULTIYEAR DYNAMICS OF TRANSBOUNDARY INFLOW OF BIOGENIC COMPOUNDS ALONG THE ILE RIVER AND ITS TRANSFORMATION ALONG THE RIVER COURSE

N.Amirgaliyev *Professor, Doctor of Geographical Sciences,* **A. Mussakulkyzy*** *PhD (technical sciences),* **A.Madibekov** *PhD, Associated Professor,* **L. Ismukhanova** *PhD (geography),* **B. Sultanbekova**

Institute of Geography and Water Security, Almaty, Kazakhstan.
E-mail: mus_ain@mail.ru

The paper presents the results of studies devoted to the assessment of the long-term dynamics of the volume of transboundary inflow of biogenic compounds to the territory of Kazakhstan along the Ile River. Based on long-term data from the State Monitoring of RSE «Kazhydromet,» the peculiarities of the transformation of the flow of biogenic compounds (nitrogen and phosphorus) along the river course, considering the influence of natural and anthropogenic factors, are analyzed. Information about the importance of studying biogenic substances in the formation of surface water quality, as well as river runoff's role in the biological productivity and sanitary regime of final water bodies, is provided. The role of the transboundary flow of the Ile River as the main factor in forming the biogenic substances regime on the territory of Kazakhstan is highlighted. A quantitative assessment of the volume of average annual inflow of these compounds for the period from 2003 to 2020 is given, along with the main factors determining the transformation of nutrient runoff along the river course.

Keywords: biogenic runoff, transformation, transboundary inflow, nitrogen, phosphorus.

Сведения об авторах/Авторлар туралы мәліметтер/Information about authors:

Амиргалиев Нариман Амиргалиевич – академик КазНАЕН, профессор, доктор географических наук, главный научный сотрудник лаборатории гидрохимии и экологической токсикологии АО «Институт географии и водной безопасности», ул. Пушкина, 99, Алматы, *namirgaliev@mail.ru*

Мұсақұлқызы Айнұр – кандидат технических наук, старший научный сотрудник лаборатории гидрохимии и экологической токсикологии АО «Институт географии и водной безопасности», ул. Пушкина, 99, Алматы, *mus_ain@mail.ru*

Мадибеков Азамат Сансызбаевич – PhD, ассоцированный профессор, руководитель лаборатории гидрохимии и экологической токсикологии АО «Институт географии и водной безопасности», ул. Пушкина, 99, Алматы, *madibekov@mail.ru*

Исмуханова Лаура Тыныштыкбаевна – кандидат географических наук, старший научный сотрудник лаборатории гидрохимии и экологической токсикологии АО «Институт географии и водной безопасности», ул. Пушкина, 99, Алматы, *l--aura@bk.ru*

Султанбекова Ботакоз Маратовна – младший научный сотрудник лаборатории гидрохимии и экологической токсикологии АО «Институт географии и водной безопасности», ул. Пушкина, 99, Алматы, *adaika_01@mail.ru*

Амиргалиев Нариман Амиргалиевич – ҚазҰЖҒА академигі, профессор, география ғылымдарының докторы, «География және су қауіпсіздігі институты» АҚ гидрохимия және экологиялық токсикология зертханасының бас ғылыми қызметкері, Алматы, Пушкин к-і, 99, *namirgaliev@mail.ru*
Мұсақұлқызы Айнұр – техникалық ғылымдарының кандидаты, «География және су қауіпсіздігі институты» АҚ гидрохимия және экологиялық токсикология зертханасының аға ғылыми қызметкері, Пушкин к-і, 99, Алматы, *mus_ain@mail.ru*
Мадибеков Азамат Сансызбаевич – PhD, қауымдастырылған профессор, «География және су қауіпсіздігі институты» АҚ гидрохимия және экологиялық токсикология зертханасының жетекшісі, Пушкин к-і, 99, Алматы, *madibekov@mail.ru*
Исмуханова Лаура Тыныштыкбаевна – география ғылымдарының кандидаты, «География және су қауіпсіздігі институты» АҚ гидрохимия және экологиялық токсикология зертханасының аға ғылыми қызметкері, Пушкин к-і, 99, Алматы, *l--aura@bk.ru*
Султанбекова Ботакоз Маратовна – «География және су қауіпсіздігі институты» АҚ гидрохимия және экологиялық токсикология зертханасының кіші ғылыми қызметкері, Пушкин к-і, 99, Алматы, *adaika_01@mail.ru*

Amirgaliyev Nariman – Academician of KazNAES, Professor, Doctor of Geographical Sciences, Chief researcher of the Laboratory of Hydrochemistry and Environmental Toxicology of JSC «Institute of Geography and Water Security», 99, Pushkin str., Almaty, *namirgaliev@mail.ru*
Mussakulkyzy Aynur – PhD (technical sciences), Senior researcher of Laboratory of Hydrochemistry and Ecological Toxicology, JSC "Institute of Geography and Water Security", 99, Pushkin str., Almaty, *mus_ain@mail.ru*
Madibekov Azamat – PhD, Associated Professor, Head of Laboratory of Hydrochemistry and Ecological Toxicology, JSC «Institute of Geography and Water Security», 99, Pushkin str., Almaty, *madibekov@mail.ru*
Ismukhanova Laura – PhD (geography), Senior researcher, Laboratory of Hydrochemistry and Ecological Toxicology, JSC «Institute of Geography and Water Security», 99, Pushkin str., Almaty, *l--aura@bk.ru*
Sultanbekova Botakoz - Laboratory of Hydrochemistry and Ecological Toxicology, JSC «Institute of Geography and Water Security», 99, Pushkin str., Almaty, *adaika_01@mail.ru*

Вклад авторов/ Авторлардың қосқан үлесі/ Authors contribution

Амиргалиев Нариман Амиргалиевич - разработка концепции
Мұсақұлқызы Айнұр - создание программного обеспечения, проведение статистического анализа, подготовка и редактирование текста, визуализация
Мадибеков Азамат Сансызбаевич - разработка методологии
Исмуханова Лаура Тыныштыкбаевна - проведение исследования
Султанбекова Ботакоз Маратовна – ресурсы

Амиргалиев Нариман Амиргалиевич - тұжырымдаманы әзірлеу
Мұсақұлқызы Айнұр - бағдарламалық жасақтама жасау, статистикалық талдау жүргізу, мәтінді дайындау және өңдеу, көрнекілік
Мадибеков Азамат Сансызбаевич - әдістемені әзірлеу
Исмуханова Лаура Тыныштыкбаевна - зерттеу жүргізу
Султанбекова Ботакоз Маратовна – ресурстар

Amirgaliyev Nariman - concept development
Mussakulkyzy Aynur - creating software, conducting statistical analysis, preparing and editing the text, visualization
Madibekov Azamat - methodology development
Ismukhanova Laura - conducting a research
Sultanbekova Botakoz - resources

УДК 004.8, 004.9 МРНТИ 27.47.23, 28.23.29, 28.23.37

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЗОН ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ЗАКИСЛЕНИЯ НА УРАНОВЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЯХ КАЗАХСТАНА С ПРИМЕНЕНИЕМ МЕТОДОВ МАШИННОГО ОБУЧЕНИЯ

К. Абрамов[1], Н. Р. Юничева[1,2]* *к.т.н., доцент*, **Я. И. Кучин[1,3] Е. Мухамедиева[1]**

[1]Институт информационных и вычислительных технологий МНВО РК, 050010, Алматы
[2]Алматинский Университет энергетики и связи им. Г. Даукеева, 050013, Алматы
[3] КазНИТУ им. К.И. Сатпаева, 050013, Алматы,
E-mail: ykuchin@mail.ru, naduni@mail.ru

Определение зон технологического закисления на урановых месторождениях во время выщелачивания необходимо для точного контроля и оптимизации процесса извлечения урана. Неверное определение зоны технологического закисления может привести к избыточному использованию кислотных реагентов, что не только увеличит затраты, но также может вызвать нежелательные экологические последствия. В работе предложен подход к решению вопросов, связанных с ручным определением зон технологического закисления на урановых месторождениях в Казахстане. Подход включает в себя изучение алгоритмов машинного обучения для автоматизации выявления этих критически важных зон. Применение моделей искусственной нейронной сети (ANN) и модели экстремального градиентного бустинга (XGB), показало свою эффективность в автоматизации и улучшении идентификации этих важных зон при отработке месторождений урана методом подземного скважинного выщелачивания. Так, точность выделения интервалов закисления по метрике F1-score для модели ANN составляет 0,75, а для модели XGB составляет 0,80.

Ключевые слова: машинное обучение, добыча урана, зона технологического закисления, подземное скважинное выщелачивание, искусственные нейронные сети (Artificial Neuron Network / ANN) , экстремальный градиентный бустинг (Extreme Gradient Boosting / XGB).

Поступила: 27.02.24
DOI: 10.54668/2789-6323-2024-113-2-67-80

ВВЕДЕНИЕ

Ядерная энергетика, как известно, играет важную роль в развитии современной промышленности. Её преимущества многообразны, начиная от низкого углеродного следа до способности предоставлять энергию крупномасштабно без использования больших объемов ископаемого топлива. Энергетическая плотность урана, основного топлива для ядерных реакторов, позволяет рассматривать ядерную энергию как основу в переходе к более чистому и экологичному производству.

Республика Казахстан является одним из ключевых участников на урановом рынке по добыче ископаемого урана, который служит основным сырьем для производства ядерной энергии. Месторождения урана существенно способствуют её экономическому росту и удовлетворяют растущему глобальному спросу на ядерную энергию.

Метод подземного скважинного выщелачивания - основной способ добычи урана в Казахстане (Петров Н., 1995), (Петров Н., Язиков В.Г, 2014). Метод включает в себя введение кислотного раствора непосредственно в рудное тело, что позволяет растворять уран в естественной среде (Перельман А. И.,1980). Значимость этого метода в его потенциале - уменьшить воздействие на окружающую среду (Евсеева Л. С., 1962). Вместе с тем, определение зон технологического закисления пластов в пределах применения подземного скважинного выщелачивания, представляет собой значительные трудности.

Технологическое закисление в методе подземного выщелачивания на месторождениях урана – это процесс изменения химическогосостава раствора,

используемого для выщелачивания металла из руды. В методе выщелачивания на месторождениях урана используется химическая реакция с применением кислоты для выщелачивания урана непосредственно из зоны месторождения. Формирование зон технологического закисления происходит в результате реакции кислоты с минералами в горных породах. Кислотное воздействие вызывает химические изменения в окружающей среде, приводя к образованию растворов, богатых ураном (Перельман А. И., 1965).

Определение зон технологического закисления в методе подземного выщелачивания осуществляется с использованием различных методов каротажа. Хорошим способом визуального определения зон технологического закисления является занижение кривой каротажа электрических сопротивлений. Пример зон технологического закисления в скважине представлен на рисунке 1.

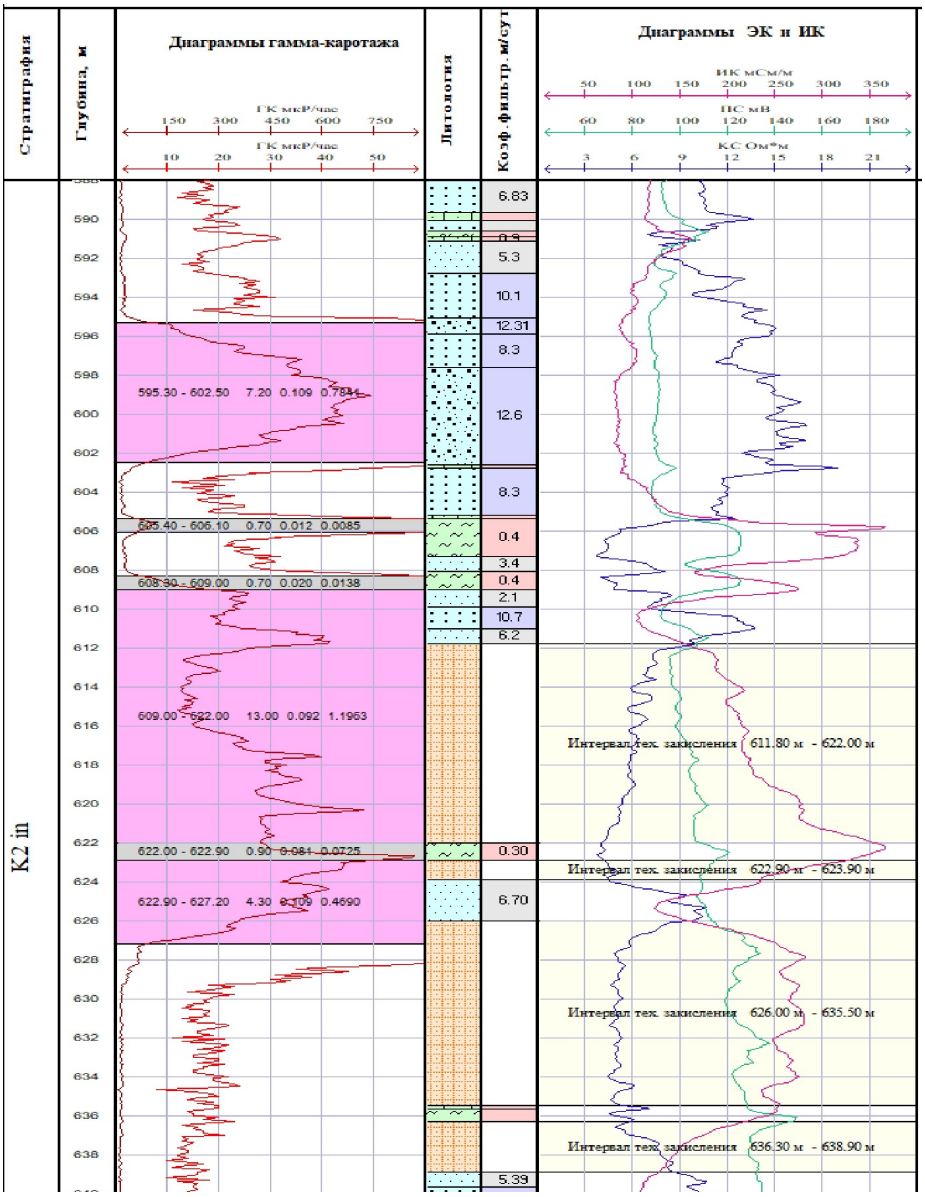


Рис.1. *Пример зон технологического закисления в скважине*

Геологическая и гидрогеологическая сложность процесса выщелачивания, в сочетании с динамичной природой технологического закисления, делает точное ручное определение невероятно сложным (Helbig K., Treitel S., 2001). Существующие программные решения обнаруживают ограничения в предоставлении всеохватывающего и автоматизированного понимания этих критических зон.

Определение зон технологического закисления на урановых месторождениях во время выщелачивания необходимо для точного контроля и оптимизации процесса извлечения урана. Зоны представляют собой

области, подвергшиеся воздействию кислотных реагентов, и их правильное выделение позволяет эффективно управлять ресурсами, сокращая издержки и минимизируя воздействие на окружающую среду.

Неверное определение зоны технологического закисления может привести к избыточному использованию кислотных реагентов, что не только увеличит затраты, но также может вызвать нежелательные экологические последствия. Недостоверное выделение этих зон также ведет к неверному определению коэффициента фильтрации пород, что может существенно снизить эффективность самого процесса выщелачивания.

В работе предложен подход к решению вопросов, связанных с ручным определением зон технологического закисления на урановых месторождениях в Казахстане. Предлагаемый подход включает в себя изучение алгоритмов машинного обучения для автоматизации выявления этих критически важных зон. На основе использования мощности алгоритмов машинного обучения, в работе показана возможность повышения точности и эффективности определения зон технологического закисления для устойчивого развития добычи урановых ресурсов в Казахстане.

Приложения машинного обучения (MO / ML) в геофизике давно привлекали значительное внимание. Внедрение алгоритмов машинного обучения в геофизику привело к смене парадигмы обработки и интерпретации данных и отражено в следующих публикациях (M. Van der Baan, C. Jutten, 2000), (L. Hai An, 2000.), (M.A. Сенилов, 2003), (S. Maiti, R. K. Tiwari, 2007), (D. Benaouda et al.,1999), (V. Tschannen et al., 2017), (S. Chikhi et al, 2007), (I. Bachri et al, 2019), (Р. И. Мухамедиев, и др., 2015), (Е. Н. Амиргалиев, 2013), (Yan Kuchin et al, 2017), (Mukhamediev R.I. et al, 2023), (Kuchin et al, 2023), (Haykin S.S., 1994).

Несмотря на достижения, сохраняются проблемы с предварительной обработкой и классификацией, что требует дальнейших исследований. Указанные исследования определяют детальный и контекстно-ориентированный подход к приложениям МО в геофизике урана, что делает актуальным для исследователей решение существующих пробелов для получения более надежных и точных результатов.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

На первом этапе собраны данные с урановых месторождений в Южном Казахстане. Выделены данные каротажей из общей выборки в 68 скважинах, среди которых 42 обладают зонами технологического закисления. Данные для работы алгоритмов машинного обучения организованы в формате Microsoft Excel и импортированы из корпоративной базы данных. Набор данных включает три ключевых листа из XLS-файла.

Первый лист служит хранилищем каротажей в цифровом виде с шагом квантования в 10 сантиметров. Данные включают различные типы каротажей, каждый из которых предоставляет конкретную информацию о геологических формациях. К ним относятся ГК (Гамма Каротаж), КС (Кажущееся Сопротивление), ПС (Поляризация Самопроизвольная), КМ (Каварнометрия), ИК (индукционный каротаж) Для рудоносного горизонта записаны концентрации радия, предоставляя важные сведения о потенциальных урановых залежах.

Второй лист содержит данные литологии, классифицируя типы горных пород по проницаемости. Эта информация важна для понимания геологического строения и фильтрационных характеристик подземных образований. Здесь закодированы литологические различия, записаны коэффициенты фильтрации, давая представление о пористости и проницаемости подземных формаций. Также включены нормализованные значения для электрических каротажей, способствуя более глубокому пониманию проводящих свойств геологических образований.

Третий лист предоставляет географические координаты скважины. Эта информация фундаментальна для пространственного анализа и картографии урановых залежей.

Предварительная обработка данных играет ключевую роль в очистке и подготовке

набора данных для анализа методами машинного обучения. Этот этап является неотъемлемой для обеспечения чистоты и готовности набора данных для последующего анализа с помощью методов машинного обучения. Данные для каждой скважины загружены с фокусом на скважинах с наличием зон технологического закисления и без таких зон.

После загрузки данные преобразовываются для объединения наборов, содержащих зоны технологического закисления и не содержащих их в единый список для упрощенного анализа.

Из первого листа каждого файла извлечены ключевые данные, такие как номер скважины, информация о глубине, данные о рудных пересечениях, каротажи ГК, КС, ПС и КМ. Для рудоносного горизонта также извлекались значения концентрации радия.

Второй лист предоставил следующие данные: интервалы глубин для выбранных литологических слоев, коды литологии, коды проницаемости пород, значение коэффициентов фильтрации и зон технологического закисления (при наличии). Из третьего листа взяты координаты скважины для ее географической привязки. После формирования единого списка литотипы основных классов объединяются, а для зон технологического закисления выделяется специальный класс. Полный список получившихся литотипов приведен в Таблице 1.

Таблица 1

Список использованных в работе литотипов

Код литотипа	Наименование литотипа
1	гравий, галька
2	песок крупнозернистый
3	песок среднезернистый
4	песок мелкозернистый
5	песчаник
6	алеврит
7	глина
8	зона закисления

Значения каротажей КС и ПС были нормализованы в пределах объединенного набора данных для поддержания согласованности характеристик.

Далее набор данных был разделен на обучающий и тестовый поднаборы, при этом 17 % данных зарезервированы для тестирования. Набор данных для обучения был разделен на обучающий и валидационный поднаборы в соотношении 75 и 25 % от общего набора данных соответственно.

В работе использовались две модели машинного обучения – искусственные нейронные сети (Artificial Neuron Network / ANN) и экстремальный градиентный бустинг (Extreme Gradient Boosting / XGB). Выбор этих моделей основан на их эффективности, показанной в предыдущих работах (I. Goodfellow et al, 2016), (T. Chen, 2016). Данный выбор направлен на использование преимуществ этих моделей для решения конкретных задач, связанных с выявлением зон технологического закисления. Функции активации, алгоритм обратного распространения и общая архитектура играют ключевую роль в способности ANN выявлять закономерности, делая ее надежным выбором для задачи выявления зон технологического закисления. Способность XGB обрабатывать сложные наборы данных и его устойчивость к переобучению хорошо соответствуют особенностям данных урановой геофизики.

После предварительной обработки данных выполняется процесс обучения и валидации моделей машинного обучения, являющийся ключевым этапом исследования.

Обучение модели ANN включало использование функции RELU в качестве функции активации и оптимизатора ADAM. Процесс обучения происходил в течение 200 эпох,

предоставляя модели значительный опыт работы с данными. Сводка об обучении модели ANN содержит аспекты динамики обучения модели и представлена на рисунке 2.

```
print(ann_model.summary())
```

```
Model: "sequential"
_________________________________________________________________
 Layer (type)                Output Shape              Param #
=================================================================
 dense (Dense)               (None, 54)                1512

 dense_1 (Dense)             (None, 108)               5940

 dense_2 (Dense)             (None, 27)                2943

 dense_3 (Dense)             (None, 9)                 252

=================================================================
Total params: 10,647
Trainable params: 10,647
Non-trainable params: 0
```

Рис.2. *Краткое описание динамики модели ANN*

Отчет о классификации модели ANN, раскрывающий ключевые характеристики точности, полноты и F1-меры, и матрицу ошибок ANN, визуально отображающая производительность модели на тестовых данных представлена на рисунках 3 и 4:

```
print(classification_report(Y_trio_test_tehacid.argmax(axis = 1), predictions_ann.argmax(axis =
1)))
```

```
269/269 [==============================] - 0s 1ms/step
              precision    recall  f1-score   support

           1       0.48      0.49      0.48       651
           2       0.40      0.58      0.47      1363
           3       0.51      0.45      0.48      2094
           4       0.50      0.48      0.49      1489
           5       0.38      0.43      0.41       262
           7       0.86      0.71      0.78      1262
           8       0.79      0.72      0.75      1467

    accuracy                           0.56      8588
   macro avg       0.56      0.55      0.55      8588
weighted avg       0.58      0.56      0.57      8588
```

Рис.3. *Отчет о классификации модели ANN*

В модели XGB использовалось кодирование категориальных данных для совместимости с требованиями модели. Классификатор XGB обучался с параметрами, как показано на рисунке 5, настроенными для баланса между сложностью модели и предсказательной точностью.

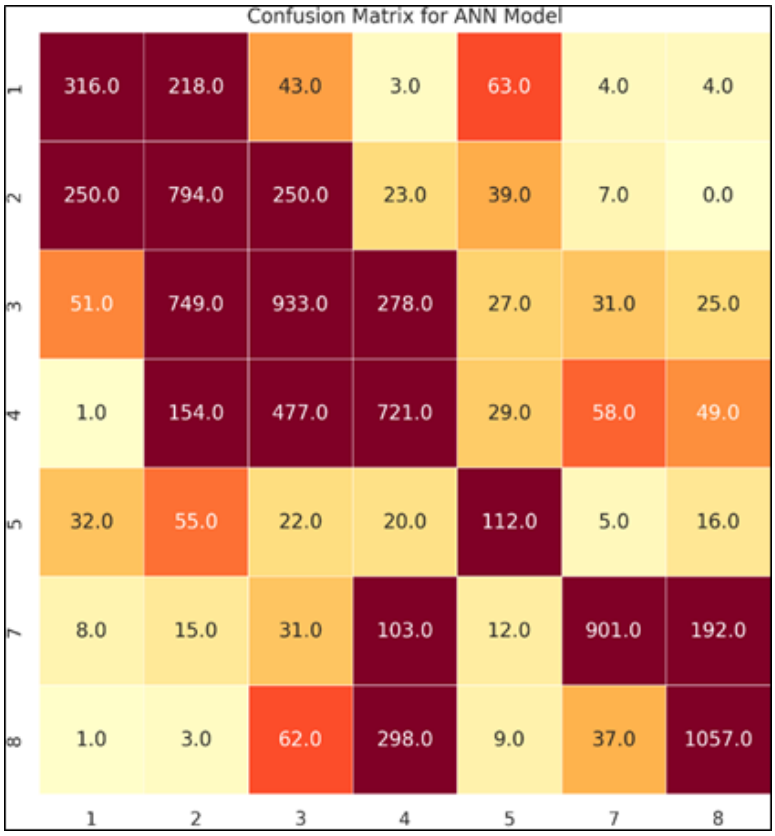


Рис.4. *Матрица ошибок модели ANN*

В модели XGB использовалось кодирование категориальных данных для совместимости с требованиями модели. Классификатор XGB обучался с параметрами, как показано на рисунке 5, настроенными для баланса между сложностью модели и предсказательной точностью.

```
]:
model_xgb = xgboost.XGBClassifier(
    learning_rate = 0.01,
    max_depth = 4,
    n_estimators = 500,
    nthread = -1,
    subsample = 0.7,
    scale_pos_weight = 100,
    min_samples_leaf = 300 # 300
)
```

Рис.5. *Параметры модели XGB*

Для количественной оценки производительности вычислен коэффициент точности для модели XGB, обозначенный как accuracy_score, предоставляя лаконичную меру правильности предсказаний модели. Вычисленный коэффициент представлен на рисунке 6.

Далее, аналогично модели ANN, модель XGB проанализирована через отчет о классификации XGB и матрицу ошибок XGB, предоставляя детальное разбиение классификационных метрик и поведение модели. Отчет представлен на рисунках 7 и 8.

```
accuracy_xgb = accuracy_score(np.argmax(Y_trio_test_tehacid, axis = 1), y_pred_xgb)
print(accuracy_xgb)
```

```
0.6053795994410806
```

Рис.6. *Коэффициент XGB Accuracy*

```
print(classification_report(np.argmax(Y_trio_test_tehacid, axis=1), y_pred_xgb))
```

	precision	recall	f1-score	support
1	0.52	0.46	0.49	651
2	0.46	0.45	0.45	1363
3	0.50	0.60	0.55	2094
4	0.56	0.54	0.55	1489
5	0.70	0.34	0.45	262
7	0.92	0.70	0.80	1262
8	0.75	0.86	0.80	1467
accuracy			0.61	8588
macro avg	0.63	0.56	0.58	8588
weighted avg	0.62	0.61	0.61	8588

Рис.7. *Отчет о классификации модели XGB*

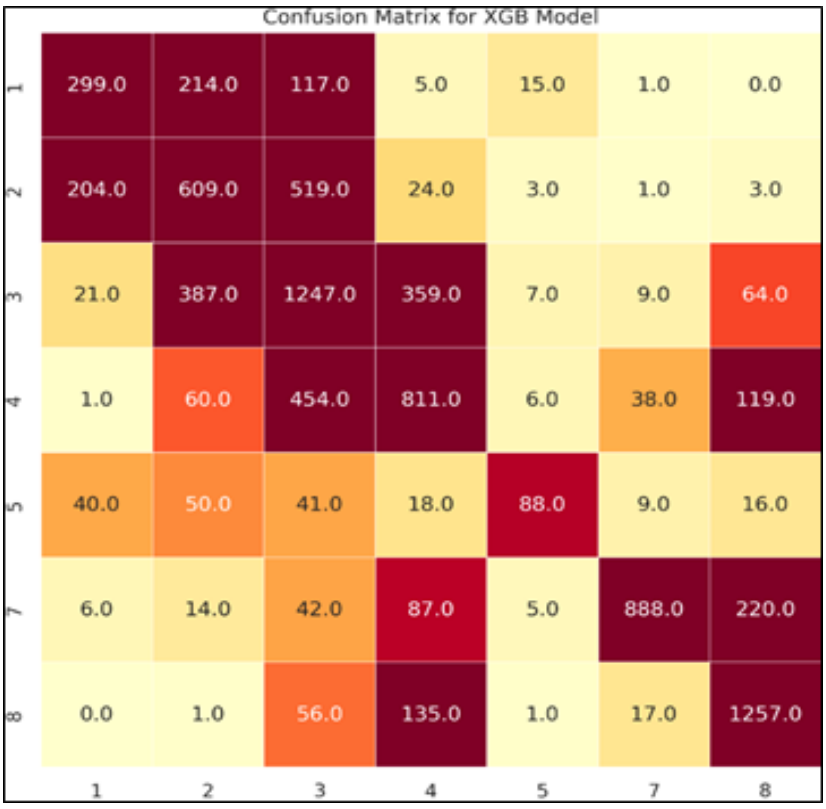


Рис.8. *Матрица ошибок модели XGB*

Процесс обучения и валидации является ключевым аспектом методологии работ, позволяя провести оценку предсказательных возможностей и обобщающей производительности моделей машинного обучения при выявлении зон технологического закисления на урановых месторождениях Казахстана.

Результаты исследования показывают влияние алгоритмов машинного обучения на определение зон технологического закисления на урановых месторождениях в Казахстане. Применение моделей машинного обучения, в частности искусственной нейронной сети (ANN) и модели экстремального градиентного бустинга (XGB), доказало свою эффективность в автоматизации и улучшении идентификации этих важных зон при отработке месторождений урана методом подземного скважинного выщелачивания. Комплексное тестирование построенных моделей на всем наборе данных продемонстрировало многообещающие результаты. Особого внимания заслуживает интерпретационная способность моделей различать зоны технологического закисления в наборе данных. Результаты сравнения точности по каждой скважине в наборе данных, подробно описанные в таблице 2 и приведенные на рисунке 9, дают четкое представление об эффективности алгоритмов машинного обучения в контексте геофизики урана.

Таблица 2

Сравнение точности предсказания моделей ANN и XGB

№	Скважина	ANN accuracy	XGB accuracy
1	83-3-7	0,51	0,61
2	85-1-1	0,52	0,68
3	85-1-4	0,49	0,56
4	85-2-1	0,63	0,66
5	85-2-2	0,35	0,62
6	85-2-3	0,37	0,74
7	85-2-4	0,28	0,53
8	86СВ-3-1	0,58	0,53
9	86СВ-3-6	0,62	0,60
10	86СВ-4-1	0,53	0,48
11	86СВ-4-2	0,53	0,66
12	86св-3-5	0,56	0,55
13	86св-3-7	0,38	0,42
14	86св-3-9-1	0,36	0,50
15	86св-4-3	0,62	0,61
16	86св-4-4	0,15	0,15
17	86св-5-1	0,50	0,65
18	86св-5-11-1	0,63	0,61
19	86св-5-2	0,42	0,52
20	86св-5-3	0,63	0,67
21	86св-5-5	0,58	0,66
22	86св-5-6	0,66	0,67
23	86св-5-7	0,54	0,63
24	86св-5-8	0,53	0,59
25	86св-5-9	0,20	0,22
26	86св-6-1	0,45	0,42
27	86св-6-2	0,43	0,40
28	86св-6-3	0,59	0,55
29	86св-7-1	0,45	0,48
30	86св-7-2	0,41	0,43
31	86св-7-3	0,41	0,52
32	87св-1-12-1	0,42	0,55
33	87св-2-1	0,49	0,50
34	87св-2-2	0,53	0,63
35	87св-2-3	0,59	0,71
36	87св-2-4	0,77	0,79
37	87св-2-5	0,64	0,73
38	87св-2-6	0,39	0,61
39	87св-2-7	0,62	0,72
40	87св-3-5	0,52	0,73
41	87св-3-6	0,78	0,73
42	87св-3-8	0,57	0,64
43	87св-3-9	0,69	0,68
44	89св-1-1в	0,81	0,85
45	89св-1-3в	0,53	0,63
46	89св-1-6в	0,66	0,71
47	89св-1-8в	0,63	0,79
48	89св-146нр	0,63	0,70
49	89св-2-1в	0,68	0,73
50	89св-3-5	0,53	0,72
51	89св-3-7	0,75	0,69
52	89св-3-8	0,73	0,70
53	89св-4-2в	0,73	0,88
54	89св-4-3в	0,63	0,68
55	89св-6-3	0,35	0,52
56	89св-6-4-1	0,65	0,70
57	89св-7-1	0,70	0,73
58	89св-7-11	0,63	0,77
59	89св-7-2-2	0,74	0,77
60	89св-7-3	0,78	0,77
61	89св-7-6	0,47	0,62
62	89св-7-7-2	0,49	0,59
63	89св-7-8	0,56	0,80
64	89св-7-9	0,72	0,77
65	89св-8-1	0,66	0,74
66	89св-8-2	0,68	0,76
67	95-2-1	0,67	0,78
68	95-2-2	0,70	0,86

Сравнение точности предсказания рассматриваемых моделей представлено на рисунке 9.

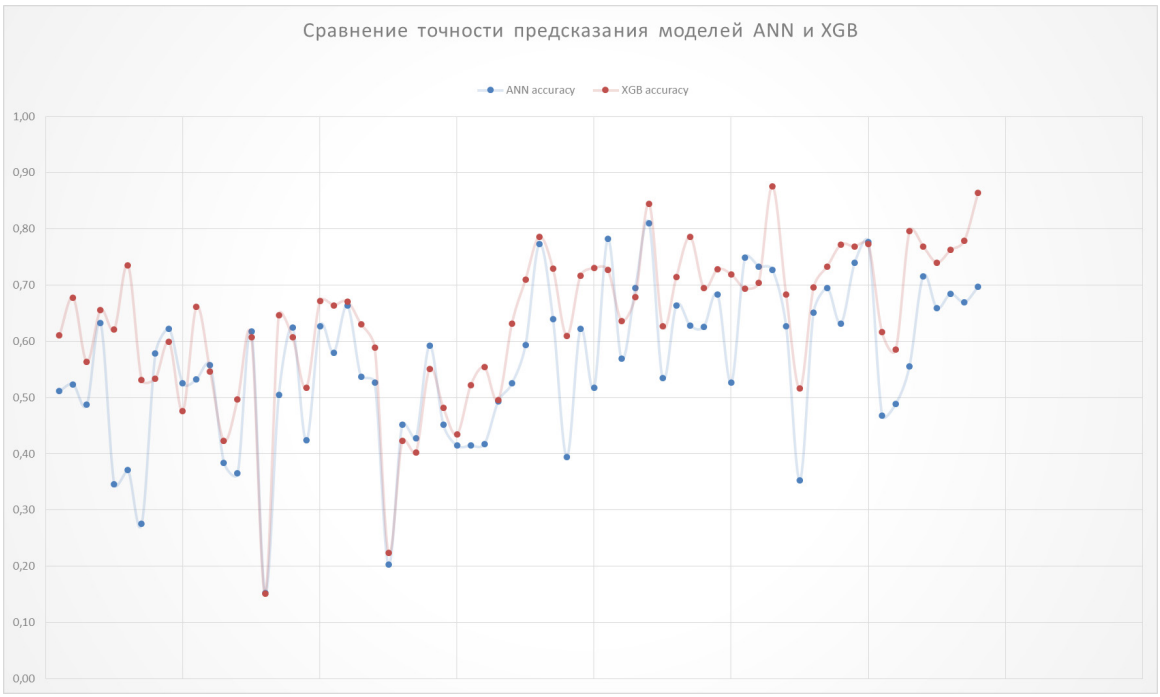


Рис.9. *Сравнение точности предсказания моделей ANN и XGB*

В таблице 3 и на рисунке 10 приведены данные для метрики F1-score для тех скважин, в которых имелись зоны технологического закисления.

Таблица 3

Сравнение F1-score для скважин с технологическим закислением

	Скважина	ANN F1-score	XGB F1-score
1	85-1-1	0,50	0,68
2	85-2-1	0,61	0,65
3	85-2-2	0,32	0,64
4	85-2-3	0,47	0,73
5	85-2-4	0,25	0,54
6	86св-3-5	0,62	0,56
7	87св-1-12-1	0,36	0,52
8	87св-2-1	0,37	0,50
9	87св-2-2	0,65	0,59
10	87св-2-3	0,72	0,70
11	87св-2-4	0,56	0,80
12	87св-2-5	0,65	0,72
13	87св-2-6	0,54	0,58
14	87св-2-7	0,59	0,71
15	87св-3-5	0,68	0,73
16	87св-3-6	0,66	0,72
17	87св-3-8	0,74	0,60
18	87св-3-9	0,47	0,66
19	89св-1-1в	0,86	0,84
20	89св-1-3в	0,58	0,67
21	89св-1-6в	0,72	0,71
22	89св-1-8в	0,70	0,78
23	89св-146нр	0,60	0,70
24	89св-2-1в	0,67	0,74
25	89св-3-5	0,61	0,74
26	89св-3-7	0,69	0,70
27	89св-3-8	0,65	0,73
28	89св-4-2в	0,74	0,87
29	89св-4-3в	0,64	0,69
30	89св-6-3	0,42	0,58
31	89св-6-4-1	0,63	0,70
32	89св-7-1	0,72	0,75
33	89св-7-11	0,61	0,77
34	89св-7-2-2	0,74	0,77
35	89св-7-3	0,75	0,78
36	89св-7-6	0,56	0,66
37	89св-7-7-2	0,51	0,63
38	89св-7-8	0,58	0,82
39	89св-7-9	0,71	0,78
40	89св-8-1	0,64	0,74
41	89св-8-2	0,62	0,77
42	95-2-1	0,66	0,77
43	95-2-2	0,64	0,86

Сравнение F1-score для скважин, где присутствуют зоны технологического закисления показано на рисунке 10.

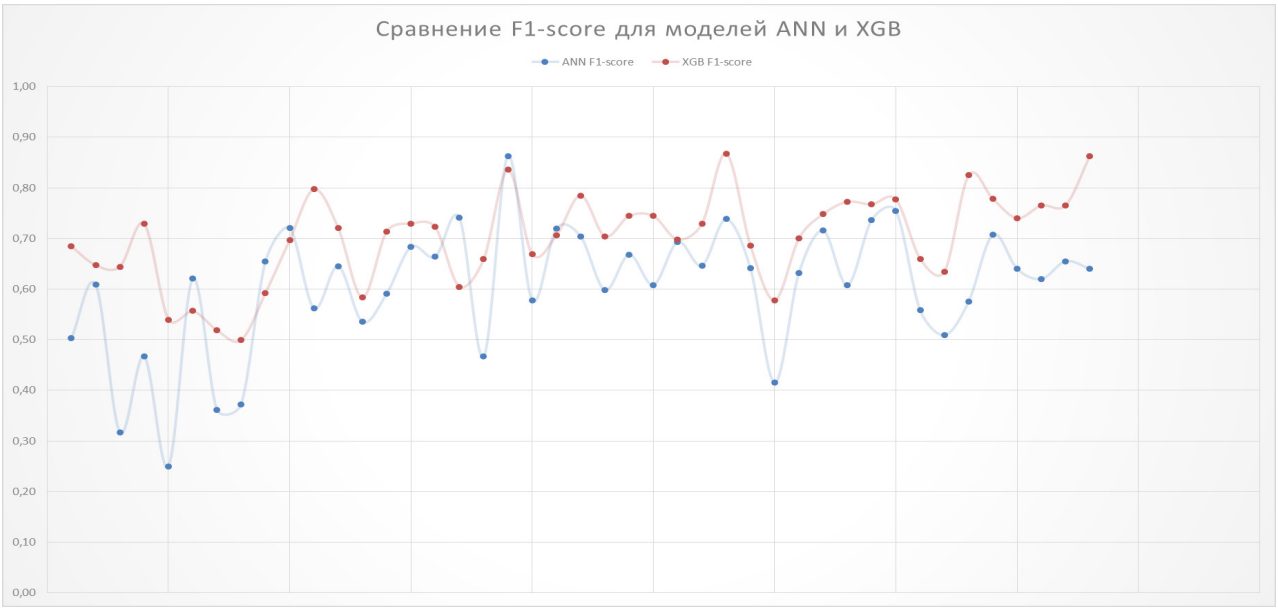


Рис.10. *Сравнение F1-score для скважин, где присутствуют зоны технологического закисления*

Эффективность работы моделей оценивалась в контексте интерпретации зон технологического закисления по всему набору данных. Это включало применение моделей ко всем 68 скважинам. Модели успешно продемонстрировали свою способность выделять и классифицировать зоны технологического закисления, предоставляя ценные исследовательские данные для геологических исследований в контексте урановой геофизики.

Модели машинного обучения, такие как использованные в этом исследовании модели ANN и XGB, демонстрируют способность автоматизировать и ускорить процесс идентификации зон технологического закисления. Используя передовые алгоритмы распознавания шаблонов, эти модели эффективно анализируют сложные геологические наборы данных, обеспечивая быструю и точную идентификацию зон технологического закисления.

Ручной характер традиционных методов приводит к продолжительному времени обработки каждой скважины. Алгоритмы машинного обучения работают на порядок быстрее, повышая общую эффективность процесса интерпретации. Ускорение времени обработки особенно важно в масштабных геофизических исследованиях, где требуется систематический анализ множества скважин.

Более того, субъективность, присущая ручному анализу, уменьшается благодаря объективной и последовательной природе моделей машинного обучения. Алгоритмы обучаются на обширных наборах данных, изучая тонкие закономерности, которые могут ускользнуть от ручного анализа. Это улучшает точность и надежность идентификации зон технологического закисления, способствуя более надежным геологическим оценкам.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Исследование применения методов машинного обучения (МО / ML) в геофизике урановых месторождений, особенно при выявлении зон технологического закисления, привело к многообещающим результатам. Комплексный сбор данных из 68 скважин обеспечил прочную основу для ML-моделей, включая данные по каротажам, литологии и геопривязке. Тщательные этапы предварительной обработки данных, включая разделение скважин с и без зон технологического закисления, и нормализацию ключевых параметров каротажей, гарантировали качество и актуальность набора данных.

Выбранные ML-модели, искусственные нейронные сети (ANN) и экстремальный градиентный бустинг (XGB), продемонстрировали свою эффективность в обработке

сложных геологических данных, связанных с урановыми месторождениями. Процессы обучения и валидации, с подробными исследованиями гиперпараметров и метрик производительности, показали возможности этих моделей точно идентифицировать зоны технологического закисления.

Представление результатов показало, что МО отлично справляется с интерпретацией зон технологического закисления на всем наборе данных. Сравнение с традиционными методами подчеркнуло значительные преимущества в экономии времени и автоматизации, предлагаемых МО, преодолевая проблемы ручной идентификации. Интерпретация результатов подчеркнула успех ML-моделей в обеспечении более эффективного и автоматизированного подхода к выявлению зон технологического закисления. Оценка устойчивости и обобщаемости подтвердила стабильную производительность моделей в разнообразных геологических условиях, подчеркивая их практическую ценность.

Работа выполнена при финансовой поддержке Комитета науки Министерства науки и высшего образования Республики Казахстан Республики Казахстан: грант № AP14869110 «Повышение точности решения задач интерпретации данных геофизических исследований скважин на урановых месторождениях с использованием методов машинного обучения» (2022 -2024гг.).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Петров Н.Н., Язиков В.Г., Аубакиров Х.Б., Плеханов В.Н., Верщков А.Ф., Лухтин В.Ф. Урановые месторождения Казахстана (экзогенные). Алматы: Гылым, 1995 – 264 с.
2. Петров Н.Н., Язиков В.Г., Аубакиров Х.Б., Плеханов В.Н., Верщков А.Ф., Лухтин В.Ф. Урановые месторождения: Новая эра, №1, 2014 г.
3. Перельман А. И., Гидрогенные месторождения урана. Основы теории образования, М.: Атомиздат, 1980. 270 с.
4. Евсеева Л. С,, Перельман А. И. Геохимия урана в зоне гипергенеза. М.: Госатомиздат, 1962. 239 с,
5. Перельман А. И., Экзогенные эпигенетические месторождения урана. Условия образования, . М.: Атомиздат, 1965. 323 с.
6. K. Helbig and S. Treitel, “Computational Neural Networks for Geophysical Data Processing,” Handbook of Geophysical Exploration, Seismic Exploration, vol. 30, 2001.
7. M. Van der Baan and C. Jutten, “Neural networks in geophysical applications,” Geophysics, 65 (4), pp. 1032-1047, 2000.
8. L. Hai An, “Neutral Network in Lithology Determination,” Tap chi Tin hoc va Dieu khien hoc, T.16, S.2, pp 59-62, 2000.
9. M.A. Сенилов, “Развитие интеллектуальных методов обработки геофизических данных,” Искусственный интеллект, 4, pp 357 - 364, 2003.
10. S. Maiti, R. K. Tiwari, and H.-J. Kumpel, “Neural network modelling and classification of lithofacies using well log data: a case study from KTB borehole site,” Geophys. J. Int., vol. 169, pp 733–746, 2007.
11. D. Benaouda et al., “Inferring the lithology of borehole rocks by applying neural network classifers to downhole logs: an example from the Ocean Drilling Program,” Geophys. J. Int., vol. 136, pp 477 - 491, 1999.
12. V. Tschannen et al., “Facies classification from well logs using an inception convolutional network,” Computer Vision and Pattern Recognition (cs.CV), arXiv:1706.00613, 2017.
13. S. Chikhi, M. Batouche, and H. Shout, “Hybrid Neural Network Methods for Lithology Identification in the Algerian Sahara,” International Journal of Geological and Environmental Engineering, vol. 1, no. 4, 2007.
14. I. Bachri, M. Hakdaoui, M. Raji, AC. Teodoro, A. Benbouziane, “Machine Learning Algorithms for Automatic Lithological Mapping Using Remote Sensing Data: A Case Study from Souk Arbaa Sahel”, Sidi Ifni Inlier, Western Anti-Atlas, Morocco. ISPRS International Journal of Geo-Information 8(6):248, 2019.
15. Р. И. Мухамедиев, Я. И. Кучин, “Средства автоматизации обработки данных геофизического исследования скважин на месторождениях урана пластово-инфильтрационного типа”, Электронный журнал Cloud of Science Т. 2. № 3, 2015.
16. Амиргалиев Е. Н. и др. Методы машинного обучения в задачах распознавания пород на урановых месторождениях //Известия НАН РК. – 2013. – №. 3. – С. 82-88.
17. Kuchin Y. I., Grundspenkis J. Machine Learning Methods for Identifying Composition of Uranium Deposits in Kazakhstan //Appl. Comput. Syst. – 2017. – Т. 22. – №. 1. – С. 21-27.
18. Mukhamediev R. I. et al. Determination of Reservoir Oxidation Zone Formation in Uranium Wells Using Ensemble Machine Learning Methods //Mathematics. – 2023. – Т. 11. – №. 22. – С. 4687. https://doi.org/10.3390/math11224687.
19. Kuchin, Y.; Mukhamediev, R.; Yunicheva, N.; Symagulov, A.; Abramov, K.; Mukhamedieva, E.; Zaitseva, E.; Levashenko, V. Application of Machine Learning Methods to Assess Filtration Properties of Host Rocks of Uranium Deposits in Kazakhstan. Appl. Sci. 2023, 13, 10958. https://doi.org/10.3390/app131910958.
20. Haykin, S.S. Neural Networks: A Comprehensive Foundation, https://books.google.ru/books?id=PSAPAQAAMAAJ, 1994.
21. Ian Goodfellow and Yoshua Bengio and Aaron Courville, Deep Learning, http://www.deeplearningbook.org, MIT Press, 2016.
22. Tianqi Chen; Carlos Guestrin, XGBoost: A Scalable Tree Boosting System, doi:10.1145/2939672.2939785[DOI], http://arxiv.org/abs/1603.02754, 2016

REFERENCES

1. Petrov N.N., YAzikov V.G., Aubakirov H.B., Plekhanov V.N., Vershchkov A.F., Luhtin V.F. Uranovye mestorozhdeniya Kazahstana (ekzogennye). Almaty: Gylym, 1995 – 264 p.
2. Petrov N.N., YAzikov V.G., Aubakirov H.B., Plekhanov V.N., Vershchkov A.F., Luhtin V.F. Uranovye mestorozhdeniya: Novaya era, №1, 2014.
3. Perel’man A. I., Gidrogennye mestorozhdeniya urana. Osnovy teorii obrazovaniya, M.: Atomizdat, 1980. 270 p.

4. Evseeva L., Perel'man A. I. Geohimiya urana v zone gipergeneza. M.: Gosatomizdat, 1962. 239 p.
5. Perel'man A. I., Ekzogennye epigeneticheskie mestorozhdeniya urana. Usloviya obrazovaniya, . M.: Atomizdat, 1965. 323 p.
6. K. Helbig and S. Treitel, "Computational Neural Networks for Geophysical Data Processing," Handbook of Geophysical Exploration, Seismic Exploration, vol. 30, 2001.
7. M. Van der Baan and C. Jutten, "Neural networks in geophysical applications," Geophysics, 65 (4), pp. 1032-1047, 2000.
8. L. Hai An, "Neutral Network in Lithology Determination," Tap chi Tin hoc va Dieu khien hoc, T.16, S.2, pp 59-62, 2000.
9. M.A. Senilov, "Razvitie intellektual'nyh metodov obrabotki geofizicheskih dannyh," Iskusstvennyj intellekt, 4, pp 357 - 364, 2003.
10. S. Maiti, R. K. Tiwari, and H.-J. Kumpel, "Neural network modelling and classification of lithofacies using well log data: a case study from KTB borehole site," Geophys. J. Int., vol. 169, pp 733–746, 2007.
11. D. Benaouda et al., "Inferring the lithology of borehole rocks by applying neural network classifers to downhole logs: an example from the Ocean Drilling Program," Geophys. J. Int., vol. 136, pp 477 - 491, 1999.
12. V. Tschannen et al., "Facies classification from well logs using an inception convolutional network," Computer Vision and Pattern Recognition (cs.CV), arXiv:1706.00613, 2017.
13. S. Chikhi, M. Batouche, and H. Shout, "Hybrid Neural Network Methods for Lithology Identification in the Algerian Sahara," International Journal of Geological and Environmental Engineering, vol. 1, no. 4, 2007.
14. I. Bachri, M. Hakdaoui, M. Raji, AC. Teodoro, A. Benbouziane, "Machine Learning Algorithms for Automatic Lithological Mapping Using Remote Sensing Data: A Case Study from Souk Arbaa Sahel", Sidi Ifni Inlier, Western Anti-Atlas, Morocco. ISPRS International Journal of Geo-Information 8(6):248, 2019.
15. R. I. Muhamediev, YA. I. Kuchin, "Sredstva avtomatizacii obrabotki dannyh geofizicheskogo issledovaniya skvazhin na mestorozhdeniyah urana plastovo-infil'tracionnogo tipa", Elektronnyj zhurnal Cloud of Science T. 2. № 3, 2015.
16. Amirgaliev E. N. i dr. Metody mashinnogo obucheniya v zadachah raspoznavaniya porod na uranovyh mestorozhdeniyah //Izvestiya NAN RK. – 2013. – №. 3. – P. 82-88.
17. Kuchin Y. I., Grundspenkis J. Machine Learning Methods for Identifying Composition of Uranium Deposits in Kazakhstan //Appl. Comput. Syst. – 2017. – T. 22. – №. 1. – P. 21-27.
18. Mukhamediev R. I. et al. Determination of Reservoir Oxidation Zone Formation in Uranium Wells Using Ensemble Machine Learning Methods //Mathematics. – 2023. – T. 11. – №. 22. – S. 4687. https://doi.org/10.3390/math11224687.
19. Kuchin, Y.; Mukhamediev, R.; Yunicheva, N.; Symagulov, A.; Abramov, K.; Mukhamedieva, E.; Zaitseva, E.; Levashenko, V. Application of Machine Learning Methods to Assess Filtration Properties of Host Rocks of Uranium Deposits in Kazakhstan. Appl. Sci. 2023, 13, 10958. https://doi.org/10.3390/app131910958.
20. Haykin, S.S. Neural Networks: A Comprehensive Foundation, https://books.google.ru/books?id=PSAPAQAAMAAJ, 1994.
21. Ian Goodfellow and Yoshua Bengio and Aaron Courville, Deep Learning, http://www.deeplearningbook.org, MIT Press, 2016.
22. Tianqi Chen; Carlos Guestrin, XGBoost: A Scalable Tree Boosting System, doi:10.1145/2939672.2939785[DOI], http://arxiv.org/abs/1603.02754, 2016.

МАШИНАЛЫҚ ОҚЫТУ ӘДІСТЕРІН ҚОЛДАНА ОТЫРЫП, ҚАЗАҚСТАННЫҢ УРАН КЕН ОРЫНДАРЫНДА ТЕХНОЛОГИЯЛЫҚ ҚЫШҚЫЛДАНУ АЙМАҚТАРЫН

К. Абрамов[1], Н.Р. Юничева[1,2]* *т. ғ. к., доцент*, **Я. И. Кучин[1,3], Е. Мухамедиева[1]**

[1]Ақпараттық және есептеуіш технологиялар институты, Алматы, 050010,
[2]Алматы энергетика және байланыс университеті, Алматы, 050013
[3]Сатбаев университеті, Алматы, 050013
E-mail: ykuchin@mail.ru, naduni@mail.ru

Сілтілеу кезінде уран кен орындарындағы технологиялық қышқылдану аймақтарын анықтау уран алу процесін дәл бақылау және оңтайландыру үшін қажет. Технологиялық қышқылдану аймағын дұрыс анықтамау қышқыл реагенттерін шамадан тыс пайдалануға әкелуі мүмкін, бұл шығындарды арттырып қана қоймайды, сонымен қатар жағымсыз экологиялық зардаптарды тудыруы мүмкін. Жұмыста Қазақстандағы уран кен орындарындағы технологиялық қышқылдану аймақтарын қолмен анықтауға байланысты мәселелерді шешуге көзқарас ұсынылды. Бұл тәсіл осы маңызды аймақтарды анықтауды автоматтандыру үшін машиналық оқыту алгоритмдерін зерттеуді қамтиды. Жасанды нейрондық желі (ANN) және экстремалды градиентті күшейту (XGB) модельдерін қолдану уран кен орындарын жерасты ұңғымаларын шаймалау әдісімен өңдеу кезінде осы маңызды аймақтарды автоматтандыруда және сәйкестендіруді жақсартуда тиімділігін көрсетті.Сонымен, ANN моделі үшін F1-score метрикасы бойынша қышқылдану аралықтарын оқшаулау дәлдігі 0,75, ал XGB моделі үшін 0,80 құрайды.

Түйін сөздер: машиналық оқыту, уран өндіру, технологиялық қышқылдану аймағы, жерасты ұңғымаларын шаймалау , жасанды нейрондық желілер (Artificial Neuron Network / ANN), экстремалды градиентті күшейту (Extreme Gradient Boosting / XGB).

DETERMINATION OF TECHNOLOGICAL OXIDATION ZONES AT URANIUM DEPOSITS IN KAZAKHSTAN USING MACHINE LEARNING METHODS MACHINE LEARNING

K. Abramov[1], N. Yunicheva[1,2]* *Candidate of Technical Sciences, associate professor*, **Y. Kuchin [1,3], E. Mukhamedieva[1]**
[1]Institute of Information and Computational Technologies MSHE RK, 050010, Almaty
[2]Almaty University of Power Engineering and Telecommunications (AUPET), 050013, Almaty
[3]Satbayev University (KazNRTU), 050013, Almaty
E-mail: ykuchin@mail.ru, naduni@mail.ru

The determination of technological acidification zones in uranium deposits during leaching is necessary for precise control and optimization of the uranium extraction process. Incorrect determination of the technological acidification zone can lead to excessive use of acidic reagents, which not only increases costs, but also can cause undesirable environmental consequences. The paper proposes an approach to solving issues related to the manual determination of zones of technological acidification in uranium deposits in Kazakhstan. The approach includes the study of machine learning algorithms to automate the identification of these critical areas. The use of artificial neural network (ANN) models and the extreme gradient boosting (XGB) model has shown its effectiveness in automating and improving the identification of these important zones during the mining of uranium deposits by underground borehole leaching. Thus, the accuracy of acidification intervals according to the F1-score metric for the ANN model is 0,75, and for the XGB model it is 0,80.

Keywords: machine learning, uranium mining, technological oxidation zone, underground borehole leaching, artificial neural networks (Artificial Neuron Network / ANN), Extreme Gradient Boosting (XGB).

Сведения об авторах/Авторлар туралы мәліметтер/Information about authors:

Абрамов Кирилл - магистр компьютерных систем, инженер ИИВТ КН МНВО РК, *abramc@mail.ru*, ORCID: https://orcid.org/0000-0002-0646-3714
Кучин Ян Игоревич — PhD студент, старший научный сотрудник ИИВТ КН МНВО РК, *ykuchin@mail.ru*, ORCID ID: https://orcid.org/0000-0002-5271-9071
Юничева Надия Рафкатовна — к.т.н., доцент, ведущий научный сотрудник ИИВТ КН МНВО РК; *naduni@mail.*ru. ORCID ID: https://orcid.org/0000-0001-6351-3450
Мухамедиева Елена — научный сотрудник ИИВТ МНВО РК, *muhamedijeva@gmail.com*. ORCID ID: https://orcid.org/0000-0001-9596-4432

Абрамов Кирилл – компьютерлік жүйелер магистрі, ҚР БҒМ ҒК АЕТИ инженері, *abramc@mail.ru*, ORCID: https://orcid.org/0000-0002-0646-3714
Кучин Ян Игоревич - PhD студенті, ҚР БҒМ ҒК АЕТИ аға ғылыми қызметкері; *ykuchin@mail.ru ,* ORCID идентификаторы: https://orcid.org/0000-0002-5271-9071
Юничева Надия Рафкатовна - т. ғ. к., доцент, ҚР БҒМ ҒК АЕТИ жетекші ғылыми қызметкері; *naduni@mail.ru* , ORCID идентификаторы: https://orcid.org/0000-0001-6351-3450
Мұхамедиев Равиль Ильгизович - инженерия ғылымдарының докторы, ҚазҰТУ профессоры, r*avil.muhamedyev@gmail.com*, https://orcid.org/0000-0002-3727-043X
Мұхамедиева Елена - ҚР БҒМ ҒК АЕТИ ғылыми қызметкері, muhamedijeva@gmail.com, ORCID идентификаторы: https://orcid.org/0000-0001-9596-4432

Abramov Kirill. - master of computer systems, engineer of the Institute of Information and Computational Technologies, *abramc@mail.ru*, ORCID: https://orcid.org/0000-0002-0646-3714
Kuchin Yan - PhD student, senior researcher of the Institute of Information and Computational Technologies; *ykuchin@mail.ru*; ORCID ID: https://orcid.org/0000-0002-5271-9071
Yunicheva Nadiya - Candidate of Technical Sciences, *associate professor* of the Institute of High Technologies; *naduni@mail.ru*; ORCID ID: https://orcid.org/0000-0001-6351-3450
Mukhamedieva Elena is a researcher at the Institute of Information and Computational Technologies of the Ministry of Education and Science of the Republic of Kazakhstan, *muhamedijeva@gmail.com*, ORCID ID: https://orcid.org/0000-0001-9596-4432

Вклад авторов/Авторлардың қосқан үлесі/Authors' contribution

Абрамов Кирилл - создание программного обеспечения, проведение статистического анализа
Кучин Ян Игоревич — разработка методологии, проведение статистического анализа, ресурсы
Юничева Надия Рафкатовна — проведение исследования, подготовка и редактирование текста, визуализация
Мухамедиева Елена — разработка концепции, подготовка и редактирование текста, визуализация

Абрамов Кирилл – бағдарламалық жасақтама жасау, статистикалық талдау жүргізу
Кучин Ян Игоревич - әдістемені әзірлеу, статистикалық талдау жүргізу, ресурстар
Юничева Надия Рафкатовна - зерттеу жүргізу, мәтінді дайындау және өңдеу, көрнекілік
Мұхамедиева Елена - тұжырымдаманы әзірлеу, мәтінді дайындау және өңдеу, көрнекілік

Abramov Kirill. - creating software, conducting statistical analysis
Kuchin Yan - methodology development, conducting statistical analysis, resources
Yunicheva Nadiya - conducting a research, preparing and editing the text, visualization
Mukhamedieva Elena - concept development, preparing and editing the text, visualization

УДК 556.531; 556.551; 502.13 (1-751.1) **МРНТИ 70.27.17; 87.31.02**

ПОЛИХЛОРИРОВАННЫЕ БИФЕНИЛЫ В ВОДНОЙ ЭКОСИСТЕМЕ ЗАПОВЕДНОГО ОЗЕРА МАРКАКОЛЬ И ВПАДАЮЩИХ В НЕГО РЕК

Н.А. Амиргалиев *д.г.н., профессор,* **А.С. Мадибеков** *PhD, ассоциированный профессор,*
Л.Т. Исмуханова* *к.г.н.,* **А.Ө. Жәди, Б.М. Султанбекова**

АО «Институт географии и водной безопасности», Алматы, Казахстан
E-mail: ismukhanova@ingeo.kz

В статье приводятся результаты исследования уровня загрязнения полихлорированными бифенилами (ПХБ) воды и донных отложений оз. Маркаколь и рек его бассейна. Представлена краткая информация о важности изучения накопления и распространения этих опасных ксенобиотиков в водоемах и водотоках республики в целях реализации принятых РК задач в соответствии с требованиями глобальной Стокгольмской конвенции о стойких органических загрязнителях (СОЗ). Проведенные исследования прежде всего показали загрязненность водных ресурсов и донных осадков озера и рек, расположенных в заповедной территории. Выявлено неравномерное распространение концентрации токсиканта по акватории озера как в воде, так и донных отложениях. Наиболее высокие концентрации токсиканта зарегистрированы в воде реки Калжыр, вытекающей из озера. В озерных и речных водах обнаружены 30 индивидуальных конгенеров ПХБ, среди которых присутствуют высокотоксичные диоксиноподобные и «маркерные» конгенеры. В водных ресурсах найдены и другие конгенеры, обладающие достаточно высокой токсичностью. Основываясь на научных результатах ученых дальнего и ближнего зарубежья в области проблем распространения этих токсикантов на планете сделано предположение об атмосферном переносе этих токсичных соединений в данную заповедную зону из высокозагрязненных ПХБ территории.

Ключевые слова: полихлорированные бифенилы, токсичность, концентрация, конгенеры, атмосферный перенос.

Поступила: 18.03.24
DOI: 10.54668/2789-6323-2024-113-2-81-94

ВВЕДЕНИЕ

Озеро Маркаколь – самое крупное озеро Горного Алтая, расположенное в тектонической котловине. Площадь водосборного бассейна составляет 1180 км. Общая площадь его поверхности составляет 454,1 км², максимальная глубина – 23,8 м, объем – 6,5 км³. Длина озера равна 38 км, ширина – 19 км. В озеро впадают 27 ручьев и малых рек, основные из них – Тополевка, Матабай, Еловка, Карагайлыбулак, Жирень-Байтал, и берет свое начало р. Калжыр.

Озеро расположено на территории Маркакольского национального природного заповедника, который является частью Алтайско-Саянского экологического региона. Заповедник организован Постановлением Совета Министров Казахской ССР от 4 августа 1976 года № 365 для сохранения и изучения природных комплексов южной части Алтая, разработки методов восстановления биоценозов черневой тайги, изучения экологии и динамики численности рыб в оз. Маркаколь. Благодаря своему уникальному ландшафту и биологическому разнообразию, территория Маркакольского заповедника охраняется как ключевой ареал Международных программы Global Environment Facility (GEF), United Nations Development Programme (UNDP), World Wildlife Fund (WWF), Nature And Biodiversity Conservation Union (NABU) and GTZ для сохранения Алтай-Саянского биологически разнообразного экологического региона и входит в 200 приоритетных глобальных

экологических регионов, определенных Международной Организацией «WWF Living Planet» (Доклад «Живая планета»). Казахстан, как сторона Конвенции по сохранению биологического разнообразия (Рио-де-Жанейро, 5 июня 1992 г.), которая была одобрена РК от 19 августа 1994 г. № 918, имеет определенные обязательства по сохранению биологического разнообразия. На 34-ой сессий Международного координационного совета программы «Человек и биосфера» Маркакольский заповедник был принят во Всемирную сеть ЮНЕСКО биосферных резерватов. Все вышеописанное свидетельствует о внимании мирового сообщества к вопросам сохранения биологического разнообразия Казахстана.

Характерной особенностью района расположения оз. Маркаколь является низкая температура воздуха, это самый холодный район Казахстана. По данным РГП «Казгидромет» среднегодовая температура воздуха составляет -3,7 °С. Среднемесячная температура воздуха в июле отмечается на уровне 14,4 °С (Государственный климатический кадастр).

К числу приоритетных загрязняющих веществ окружающей среды, в т.ч. водных ресурсов Казахстана, требующих системный аналитический контроль, относятся стойкие органические загрязнители (СОЗ). Хлорорганические пестициды (ХОП): (ДДТ, альдрин, гексахлорбензол, ГХЦГ и др.), полихлорированные бифенилы (ПХБ), которые входят в перечень СОЗ, отличаются высокой токсичностью для живых организмов даже при чрезвычайно низких уровнях концентраций в природных объектах. Для ксенобиотиков характерны: высокая стойкость к физическим, химическим и биологическим факторам, глобальная распространенность в воздухе, воде и мигрирующих видах, высокая кумуляционная способность в живых организмах, активная миграция по трофическим цепям.

СОЗ признаны Международным сообществом веществами, представляющими большую опасность для здоровья человека и окружающей среды. Для принятия мер по охране человека и природной среды в 2001 г. было принято глобальное соглашение – Стокгольмская конвенция о СОЗ (Стокгольмская конвенция…, 2001). Она вступила в силу в 2004 г., Казахстан ратифицировал ее в 2007 г. Конвенция ставит цели: немедленное прекращение производства СОЗ, прекращение к 2025 г. их использования и уничтожение всех отходов не позднее 2028 г. экологически безопасными методами. Проблема, связанная с СОЗ, достаточно остро наблюдается и в Казахстане.

Одними из наиболее токсичных и распространенных в глобальном масштабе представителями СОЗ являются полихлорированные бифенилы (ПХБ). На территории Республики Казахстан (РК) в настоящее время выявлено ПХБ-содержащее оборудование в количестве 116 трансформаторов и около 50 тысяч конденсаторов. Объем содержащихся в них ПХБ приблизительно оценивается в 800 тонн. По данным предварительной инвентаризации, в республике были обнаружены восемь «горячих точек» территории, загрязненных ПХБ (Ishankulov, 2008).

Режимный мониторинг для реализации Национальных задач по Стокгольмской конвенции о СОЗ на водных объектах Казахстана практически не реализуется. В настоящее время в Казахстане отсутствует уполномоченный орган по проведению режимных наблюдений за СОЗ ни в одной среде. Хотя в «Концепции экологической безопасности РК на 2004...2015 годы» было указано об отсутствии в Казахстане объективной оценки загрязнения природной среды СОЗ.

Учитывая указанные выше обстоятельства, основной целью данной работы является изучение распространения опасных для природной среды СОЗ на заповедные территории Казахстана, в частности на водные объекты, находящихся в этих зонах. Для выполнения поставленной цели, используя современные методы анализа, детально изучался уровень аккумулирования высокотоксичных поллютантов в воде и донных отложениях оз. Маркаколь и рек его бассейна. Учитывая важность данного Национального природного заповедника водные объекты, находящиеся на его территории, выбраны в качестве первого объекта исследования.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Натурные исследования проводились в период с 03 июля по 13 августа 2023 г., согласно утвержденной программе исследований был проведен отбор проб воды и донных отложений в установленных точках по акватории озера, также пробы отбирались в местах впадения и выхода рек (речная вода) (рисунок 1).

Рис.1. *Точки отбора проб воды и донных отложений*

Всего было отобрано 13 проб воды и донных отложений по акватории озера и 7 проб речной воды. Отбор проб воды произведен из поверхностного слоя (0,5 м) (СТ РК ГОСТ Р 51592-2003). Алгоритм подготовки химического материала к анализу включает следующие этапы: в емкость с пробой воды вносят 50 мл экстрагента (n-Гексан), закрывают пробкой и встряхивают не менее 20...30 минут, затем переливают в делительную воронку и выдерживают до разделения фаз. Водный (нижний) слой сливают обратно в емкость. Экстракцию повторяют дважды. После экстракции и разделения проводят осушение экстракта с безводным сульфатом натрия (СТБ ИСО 6468-2003, 2004).

Образцы донных отложений отбирались с помощью дночерпателя Петерсена (ГОСТ 17.1.5.01-80). Для анализа был отобран верхний слой ила 5 см, характеризующий современный уровень аккумуляции ПХБ. 10 г мокрого грунта дважды экстрагировался по 25 минут 50 мл химически чистым н-гексаном (n-Гексан). Дальнейший анализ ПХБ в гексановом экстракте проводился по аналогии с их определением (СТБ ИСО 6468-2003, 2004).

Анализ ПХБ в воде и донных отложениях проводился в соответствии с (СТБ ИСО 6468-2003, 2004) на газовом хроматографе «Хромос ГХ-1000» с программным обеспечением, электронно-захватным детектором (ДЭЗ) и использованием капиллярной колонки длиной 30 м × 0,32 мм. Условия хроматографирования следующие: температура колонки 220 ºС, температура испарителя 240 ºС, температура детектора 300 ºС, расход газа-носителя (азот «осч») – 38 мл/мин. В качестве стандарта использовали ГСО состава раствора Совола в гексане, представляющего собой смесь ПХБ-52, ПХБ-101, ПХБ-138, ПХБ-153 и сумму тетра-, пента и гексахлорбифенилов.

Сущность метода заключается в экстракции ПХБ из пробы анализируемых проб воды и донных отложений органическим растворителем (n-Гексан), концентрировании и очистке экстракта от сопутствующих соединений,

анализе экстракта методом газовой хроматографии с использованием детектора электронного захвата (ДЭЗ), с последующим определением массовых концентраций индивидуальных конгенеров ПХБ с использованием метода абсолютной градуировки.

В особую группу выделяют диоксиноподобные ПХБ 60, 77, 81, 126, 169, 105, 114, 118, 123, 156, 157, 167, 189, содержание которых в промышленных смесях ПХБ составляет доли процента. В силу диоксиноподобного строения они обладают повышенной биологической активностью и для них установлены токсические (диоксиновые) эквиваленты по отношению к самому опасному 2,3,7,8-тетрахлордибензо-п-диоксину.

Определение ПХБ в отобранных образцах проводилось в испытательной лаборатории ТОО «Нутритест» Казахской Академии питания Аттестат аккредитации № KZ.T.02. E0177 от 06.05.2021 г.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЯ

ПХБ в речных водах. Общая характеристика уровня загрязненности речных вод этими токсикантами приведена в таблице 1.

Таблица 1

Общая характеристика загрязненности ПХБ речных вод, поступающих в озеро Маркаколь

Название реки	Сумма ПХБ, мкг/дм^3	Количество конгенеров		
		всего	«маркерных»	диоксиноподобные
Урунхайка	0,024	9	1	2
Тополевка	0,020	8	1	2
Тихушка	0,034	13	1	1
Жирелька	0,029	17	4	1
Калжыр	0,092	17	2	2
Матабай	0,029	12	1	2

Суммарная концентрация ПХБ в речных водах менялась в интервале от 0,020 до 0,092 мкг/дм³. В целом содержание токсиканта в водах изученных водных объектов характеризуется значениями одного порядка. Однако, необходимо отметить, что более повышенное содержание токсиканта зафиксировано в воде р. Калжыр (0,092 мкг/дм³), которая вытекает из озера. В водах изученных водотоков обнаружено 30 индивидуальных конгенеров ПХБ. В воде отдельных рек присутствовали от 8 до 17 конгенеров (таблица 1), а количество высокотоксичных «маркерных» и диоксиноподобных изомеров оказалось довольно ограниченным. Среди зарегистрированных конгенеров более высокая встречаемость характерна для ПХБ 70,76; 110 и ПХБ 129 по 63 %, ПХБ 118 и 128 по 33 %.

Важное значение имеет анализ материала по содержанию в составе ПХБ наиболее токсичных «маркерных» и диоксиноподобных изомеров. Более подробные сведения об этих конгенерах представлены в таблице 2.

Таблица 2

Концентрация «маркерных» и диоксиноподобных конгенеров в водах изученных рек

Название реки	«Маркерные»				Диоксиноподобные		
	52	101	138	153	105	114	118
Урунхайка			0,002		0,002	0,003	
Тополевка				0,002		0,002	0,002
Тихушка				0,002			0,004
Жирелька	0,003	0,002	0,002	0,002			0,003
Калжыр		0,003	0,003		0,002		0,003
Матабай	0,002					0,002	0,004
Встречаемость в анализированных образцах, %	33	33	30	50	33	50	83

Из приведенных табличных данных видно, что в воде всех изученных рек зарегистрированы рассматриваемые формы конгенеров. В водах рек Жирелька и Калжыр зарегистрированы высокотоксичные конгенеры в количестве 5 и 4 видов, соответственно. Из числа всех проанализированных образцов воды наибольшая встречаемость отмечена из «маркерных» конгенеров для ПХБ 138 и 153 (50 %) и для ПХБ 114 (50 %), 118 (83 %) – из диоксиновых. Повышенные концентрации (0,003 и 0,004 мкг/дм³) зарегистрированы для конгенера ПХБ 118.

Как отмечалось ранее, в водах рассматриваемых водотоков зарегистрировано большое количество (30) конгенеров ПХБ. По исследованиям ряда ученых (Агапкина Г.И. и др., 2011; Kannan N., 2000), большое число конгенеров ПХБ в природных объектах является признаком наличия в данном регионе разнообразных по происхождению источников загрязнения природной среды изучаемыми токсикантами. Эти заключения авторов в известной мере находят подтверждение и по результатам исследований авторов (Амиргалиев Н.А., 2016).

Таким образом, на основе анализа полученных результатов следует отметить, что водные ресурсы всех изученных рек загрязнены ПХБ, уровень загрязнения вод отдельных водотоков характеризуется близкими значениями. Достаточно высокая встречаемость высокотоксичных конгенеров ПХБ и повышенная концентрация в водах диоксиноподобных конгенеров, очевидно, придают речным водам повышенный уровень токсичности.

ПХБ в воде оз. Маркаколь. По акватории оз. Маркаколь пробы воды для анализа ПХБ отобраны в 13 точках, общее число станций наблюдений за остальными физико-химическими параметрами – 20. На основании полученного аналитического материала, можно прежде всего отметить то, что ПХБ зарегистрированы во всех образцах воды, подверженных хроматографическому анализу. Концентрации токсиканта в пробах воды изменяются в пределах от 0,012 до 0,052 мкг/дм³, среднее ее значение составило 0,028 мкг/дм³ (таблица 3). Анализ распространения ПХБ по акватории озера (рисунок 2) показал в целом равномерный характер их содержания. Более повышенное его значение 0,052 мкг/дм³ отмечено в воде северного побережья озера (точка 4).

В образцах воды, подвергнутых хроматографическому анализу, идентифицировано в общей сложности 30 индивидуальных конгенеров, а в отдельно взятых пробах количество конгенера менялось в пределах от 4-х до 16-и. Найденные конгенеры входили в гомологические группы от тетрахлорбифенилов до гептахлорбифенилов.

Таблица 3

Общая характеристика полученных данных по оз. Маркаколь (ПХБ в воде)

№ точек отбора проб	Сумма ПХБ, мкг/дм³	Количество конгенеров		
		всего	«маркерных»	диоксиноподобные
1	0,022	9	3	1
2	0,012	4	2	1
4	0,052	16	3	2
5	0,033	10	2	1
7	0,029	9	1	2
8	0,025	10	3	-
10	0,026	12	3	1
11	0,024	11	1	2
15	0,019	7	-	1
16	0,031	9	3	1
18	0,031	10	2	1
19	0,020	8	-	1
20	0,026	9	2	-
Среднее:	0,028			

Рис. 2. *Распределение ПХБ в воде оз. Маркаколь*

Встречаемость найденных конгенеров в анализированных пробах менялась в интервале от 8 до 70 и 77 %. Наибольшая встречаемость принадлежит конгенеру ПХБ 97, который относится к гомологической группе пентахлорбифенилов. Некоторое возрастание суммарной концентрации ПХБ в пробах воды от 0,033 до 0,052 мкг/дм³ вызвано за счет повышенного содержания этого конгенера, содержание которого в 5-и образцах воды составило от 0,005 до 0,011 мкг/дм³.

В группу пентахлорбифенилов наряду с ПХБ 97 входят также строго контролируемые в природных объектах «маркерный» конгенер ПХБ 101 и высокотоксичные диоксиноподобные конгенеры ПХБ 104 и 118. С учетом этих обстоятельств можно предположить, что конгенер ПХБ 97 обладает достаточно высокой степенью токсичности.

Из приведенного в таблице 4 материала видно, что концентрации найденных диоксиноподобных и «маркерных» конгенеров близки между собой и характеризуется значениями одного порядка. Абсолютное содержание «маркерных» конгенеров было в интервале от 0,001 до 0,005 мкг/дм³, а диоксиноподобных – от 0,002 до 0,004 мкг/дм³. «Маркерные» конгенеры отличаются более частой встречаемостью в анализированных образцах воды – от 46 до 64 %, а встречаемость диоксиноподобных в пределах 23...38 %.

Таблица 4

Концентрация и встречаемость «маркерных» и диоксиноподобных конгенеров в воде оз. Маркаколь

Конгенеры	Встречаемость в анализированных пробах, %	Концентрация конгенеров, мкг/дм³	
		пределы	среднее
«маркерные»			
ПХБ 52	46	0,001…0,004	0,002
ПХБ 101	46	0,002…0,004	0,002
ПХБ 138	54	0,002…0,004	0,003
ПХБ 153	46	0,002…0,005	0,003
диоксиноподобные			
ПХБ 105	38	0,002…0,003	0,002
ПХБ 114	23	0,002…0,003	0,003
ПХБ 118	38	0,002…0,004	0,002

Приведенные выше результаты исследования показали, что вода всей основной акватории оз. Маркаколь загрязнена ПХБ, распределение токсиканта по ней в целом равномерна.

ПХБ в донных отложениях оз. Маркаколь. Образцы донных отложений (ДО) отбирались на тех же 13 точках акватории озера, где были собраны и пробы воды. Суммарная концентрация ПХБ в ДО была в интервале 0,021…1,076 мкг/кг. В подавляющем большинстве случаев суммарное содержание токсиканта находилось в пределах от 0,025 до 0,209 мкг/кг, лишь в образцах, отобранных на точках 2, 11 и 19 зарегистрированы сравнительно повышенные концентрации ПХБ в количестве соответственно 0,737; 1,076 и 0,428 мкг/кг, среднее содержание токсиканта составило 0,210 мкг/кг (таблица 5).

Общая картина распространения ПХБ в ДО всей акватории озера показана на рисунке 3. Повышенные концентрации токсиканта зарегистрированы в ДО пяти точек, расположенный в основном на южном и северном побережьям озера – это точки 2, 4, 11, 18 и 19. Максимальное содержание ПХБ (1,076 мкг/кг) обнаружено в ДО точки 11, расположенной непосредственно в зоне влияния стока р. Матабай, вода которой, как было показано в таблице 1, не отличалась высоким содержанием ПХБ (0,029 мкг/дм³).

Можно лишь отметить, что на точке 4 было зарегистрировано повышенное содержание ПХБ и в воде, но корреляции между их содержанием в воде и донных отложениях r = -0,4 слабая отрицательная зависимость, которая указывает на отсутствие связи.

Таблица 5

Общая характеристика уровня загрязненности ПХБ ДО оз. Маркаколь

№ точек отбора проб	Сумма ПХБ, мкг/кг	Количество конгенеров		
		всего	«маркерных»	диоксиноподобные
1	0,035	13	4	1
2	0,737	7	2	1
4	0,053	10	2	-
5	0,021	9	1	1
7	0,033	8	1	-
8	0,027	9	1	1
10	0,028	10	3	1
11	1,076	10	1	-
15	0,026	12	2	1
16	0,029	12	-	1
18	0,209	11	1	1
19	0,428	13	1	-
20	0,025	10	1	-
Среднее:	0,210			

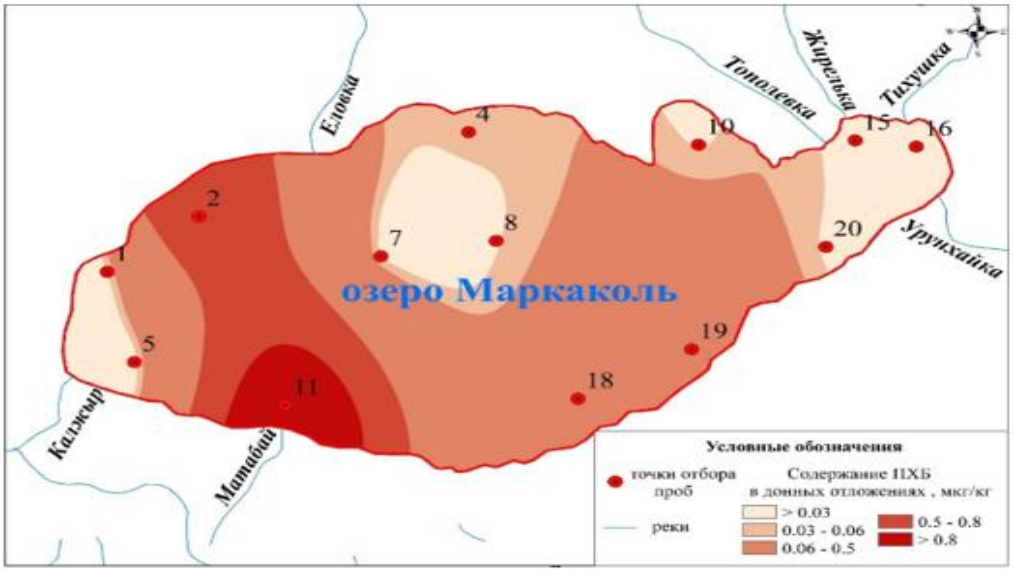


Рис. 3. *Распределение ПХБ в ДО оз. Маркаколь*

В общей сложности в ДО зарегистрировано 29 индивидуальных конгенеров ПХБ. В отдельных образцах количество их изменялось от 7 до 13. Более частая встречаемость в ДО характерна для конгенеров ПХБ 146,153 в 54 % анализированных проб, конгенеры ПХБ 66, 95; 82 и 171 в 69 %, а конгенер ПХБ 74 обнаружен в 85 % собранных образцов. Указанные конгенеры входят в гомологические группы, пента- и гехсахлорбифенилы, а конгенер 171 – гептахлорбифенилы.

Как известно, уровень токсичности обьектов, загрязненных ПХБ, зависит не только от общей концентрации токсиканта в ДО, почве или воде, но и от присутствия среди конгенеров (изомеров) более токсичных их форм. К ним относятся «маркерные» высокотоксичные диоксиноподобные конгенеры. Из числа первых зарегистрированы конгенеры ПХБ 52, 101, 138 и 153, а из диоксиноподобных конгенеры – ПХБ 105, 114, а ПХБ 118 в ДО отсутствовал. Общие сведения о концентрациях этих конгенеров в ДО и об их встречаемости в анализируемых образцах приведены в таблице 6.

Таблица 6

Концентрация и встречаемость «маркерных» и диоксиноподобных конгенеров в ДО оз. Маркаколь

Конгенеры	Встречаемость в анализированных пробах, %	Концентрация конгенеров, мкг/кг	
		пределы	среднее
«маркерные»			
ПХБ 52	38	0,002...0,004	0,002
ПХБ 101	38	0,002...0,004	0,003
ПХБ 138	23	0,002...0,004	0,003
ПХБ 153	54	0,002...0,005	0,003
диоксиноподобные			
ПХБ 105	38	0,002...0,004	0,003
ПХБ 114	23	0,003...0,005	0,004

Из приведенных данных видно, что более высокий уровень встречаемости в собранных образцах принадлежит «маркерному» конгенеру ПХБ 153. Интервалы колебания концентраций «маркерных» и диоксиноподобных конгенеров в целом близкие, максимальные значения в основном достигают 0,004 и 0,005 мкг/дм³, а средние 0,002...0,003 мкг/дм³. В распространении этих конгенеров по акватории дна озера видимых закономерностей не обнаруживаются.

Полученные результаты дают основание отметить, что ДО озера, как и вода, загрязнены ПХБ. Концентрация токсиканта существенно меняется на отдельных участках акватории озера, она заметно повышена в ДО северного и южного побережья водоема. Более равномерно распределяются по акватории озера «маркерные» и диоксиноподобные конгенеры. В бассейне этого заповедного озера не обнаружены источники промышленного загрязнения, которые могли бы привносить в окружающую среду района изучаемые токсичные вещества.

Интерес представляет сравнение уровня загрязнения ПХБ изучаемых водных объектов, находящихся в заповедной зоне, с аналогичными данными, полученных авторами для некоторых водоемов и водотоков Республики. Для удобства сопоставимые данные сведены в таблицу 7.

Как следует из приведенных данных, суммарные концентрации ПХБ в воде рек и оз. Маркаколь сопоставимы с суммарными показателями содержания токсиканта в водах р. Ертис у г. Оскемен и Буктырминского водохранилища у плотины за 2018 г. В водах почти всех остальных водоемов и водотоков уровень загрязнения ПХБ на порядок выше. Наблюдаемые различия, кажется, вполне объяснимы, если иметь в виду, что бассейн оз. Маркаколь расположен в заповедной зоне и в данном регионе нет каких-либо существенных производственных источников загрязнения ПХБ.

Таблица 7

Показатели уровня загрязненности ПХБ воды и ДО некоторых водных объектов Казахстана

Водный объект, год исследования	Суммарная концентрация ПХБ, мкг/дм^3	Литературные источники
Реки Ертис у г. Оскемен, 2018 г.	0,019…0,096	(Амиргалиев Н.А. и др., 2021)
Бухтырминское вдхр. у плотины, 2018 г.	0,0…0,073	-//-
Река Иле, вода, 2019 г.	0,210…0,516	-//-
-//-, донные отложения, 2015 г., мкг/кг	1,39	(Амиргалиев Н.А., Исмуханова Л.Т., Бектурсунов К.Е., 2017)
Капшагайское вдхр., 2020 г.	0,130…0,353	(Amirgaliyev N. et al., 2021)
Озеро Балкаш (южное побережье), 2020 г.	0,155…0,428	(Амиргалиев Н.А. и др., 2020)
Река Сырдарья, 2022 г.	0,041…1,080	(Amirgaliyev N. et al., 2023)
Озера дельты Сырдарьи, 2022 г.	0,324…0,648	-//-
Малое Аральское море, 2022 г.	0,250…0,362	-//-
Река Жайык, 2012 г.	0,930…1,290	(Амиргалиев Н.А., 2015) (Amirgaliyev N. et al., 2022)
Бассейн оз. Маркаколь, реки, 2023 г.	0,020…0,092	-//-
Озеро Маркаколь, вода	0,012…0,052	-//-
-//-, донные отложения, мкг/кг	0,021…1,076	-//-

Вместе с тем результаты исследования показывают загрязненность водных ресурсов озер и рек этими опасными ксенобиотиками, накопление их в донных осадках озера в достаточно высоких концентрациях. И возникает достаточно серьезный вопрос – какими путями поступают ПХБ в эту зону, имеет ли место накопление этих ядовитых соединений во флоре и фауне озера и рек. Данный вопрос, очевидно, вызовет озабоченность и у представителей природоохранных органов Республики.

Назвать конкретную причину загрязнения ПХБ этой заповедной зоны сложно. Однако, основываясь на результатах исследований проблем СОЗ, в т.ч. и ПХБ, ученых ряда зарубежных стран, можно с определенной уверенностью предположить о главной роли в этом процессе атмосферного переноса ксенобиотиков с территории г. Оскемен, находящегося на расстоянии 400 км от озера.

Известно, что одной из основных «горячих точек» из восьми выявленных в РК является территория г. Оскемен, где отходы производства Усть-Каменогорского конденсаторного завода (УККЗ) (остатки трихлордифенила) и слой грунта, взятого с территории завода в 1989…1991 гг., были захоронены в пруде-накопителе. В накопителе в настоящее время находится 60000 т сильно ПХБ-загрязненного ила и 80000 т загрязненной воды. В районе завода выявлена площадь до 1200 га среднезагрязненных грунтов. В период СССР на этом заводе в течение многих лет конденсаторы заполнялись ПХБ (Беркинбаев Г.Д., 2009).

Согласно нашим исследованиям (Амиргалиев Н.А., 1997) в 1994 г. в воде р. Ертис у г. Оскемен содержание ПХБ составило 44,0 мкг/дм^3, а средняя концентрация ПХБ в воде горной части Буктырминского водохранилища была на уровне 0,609 мкг/дм^3, озерной – 0,478 мкг/дм^3. В работе (Tatykhanova G.S., 2014) приводятся сведения о концентрации ПХБ в воде р. Ертис у г. Оскемен на уровне 18,06 мкг/дм^3.

Наше предположение об атмосферном переносе ПХБ в бассейн оз. Маркаколь из высоко загрязненных территории в г. Оскемен основано на результатах исследований целого ряда ученых ближнего и дальнего зарубежья.

Согласно (Филенко О.Ф. и др., 2007) содержание ПХБ в объектах водной экосистемы Арктической системы характеризуется

следующими данными: в снеге – 0,086 нг/л, морской воде – 0,007 нг/л, зоопланктоне – 0,11 мг/кг, жире трески, нерпы и белого медведя – 0,023; 0,55 и 5,4 мг/кг, соответственно. Аналогичные сведения имеются и в работах других зарубежных авторов (Meijer S.N. et al., 2003; Oskennden W.A. et al., 2003).

Почти все виды стойких органических загрязнителей, в том числе ПХБ, обнаружены и в арктических пресноводных объектах архипелага Шпицберген, удаленного от локальных источников загрязнения этими поллютантами (Лалетин Н.А., 2013). Это показательное подтверждение выводов, сделанных (Barrie L.A., 1986), о существенной роли трансграничного переноса СОЗ атмосферными осадками и выпадающими аэрозолями. В работе показан также характер трансформации ПХБ и других представителей СОЗ по течению небольшого по длине ручья Васстак.

Основным поставщиком ПХБ в Мировой океан до 80 % также является атмосфера (Панин М.С., 2011). По результатам исследований ряда лет (Mamontov A.A. et al., 2000; Мамонтов А.А. и др., 2015) установлено, что главным постоянно действующим источником воздушной эмиссии ПХБ в регионе оз. Байкал является промышленная зона г. Усолье-Сибирское, расположенного в юго-западной оконечности озера. Под влиянием локального атмосферного переноса от Усолья-Сибирского происходит увеличение концентрации ПХБ (50 нг/см^2) отмечены в почвах центральной части Северного Байкала. Также установлено, что в результате постоянного выноса в атмосферу из данного источника концентрация ПХБ в воде Южного Байкала почти в 10 раз выше, чем в воде северной части.

Таким образом, приведенные выше материалы исследований в целом дают основание считать, что продолжается распространение ПХБ из существующих «горячих точек» на обширные территории Республики, включая заповедные зоны.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Проведенное исследование установило загрязненность ПХБ водных ресурсов оз. Маркаколь, всех основных рек его бассейна, а также донных осадков озера. Выявлен различный уровень загрязнения токсичными соединениями воды отдельных частей акватории озера и изученных рек, что указывает на неравномерность воздействия источников загрязнения на разные участки бассейна. Путем детального изучения распространения ПХБ в воде и донных осадках озера выявлены наиболее загрязненные участки в бассейне.

В воде всех изученных водных объектов и в донных отложениях озера зафиксированы 30 индивидуальных конгенеров ПХБ, среди них довольно часто присутствуют строго контролируемые в природных объектах «маркерные» и высокотоксичные диоксиноподобные конгенеры. Из числа последних широкую распространенность имеет конгенер ПХБ 118. По исследованиям ряда ученых ближнего и дальнего зарубежья, присутствие такого большого количества конгенеров (30 форм) в природных объектах является признаком воздействия на них разнообразных по происхождению источников загрязнения изучаемыми токсикантами.

Учитывая то, что основным путем распространения ПХБ на дальние расстояния от источника является атмосферный перенос, а также имеющиеся научные результаты в этой области, сделано предположение о том, что загрязнение ПХБ водных объектов данного бассейна, находящегося в заповедной территории, является результатом атмосферного их переноса из высоко загрязненной ими территории г. Оскемен.

Результаты выполненных комплексных исследований в данном бассейне указывают на целесообразность проведения аналогичного эколого-токсикологического изучения на других заповедных территориях Казахстана, а также определить ряд наиболее важных вопросов, подлежащих изучению, в условиях наличия различных источников загрязнения природных объектов, в т.ч. водных ресурсов на территории Республики.

Работа выполнена в рамках грантового проекта ИРН AP14870595 «Мониторинг состояния и оценка уровня загрязнения микро- и макропластиком водной среды озера Маркаколь».

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Доклад «Живая планета». https://livingplanet.panda.org/ru/about-the-living-planet-report (дата обращения 08.07.2022 г.)

2. Государственный климатический кадастр. https://meteo.kazhydromet.kz/climate_kadastr (дата обращения 25.01.2024 г.)
3. Стокгольмская конвенция о стойких органических загрязнителях. – Стокгольм, 2001. – 53 с.
4. Ishankulov M.Sh. PCB-Contaminated Areas in Kazakhstan and analysis of PCB Impact Human Health Experience // In NATO science series volume: The Fate of persistent Organic Pollutants in the Environment. – Springer: AK/NATO Publishing Unit. Editors: E. Mehmetli and B. Koumanova, 2008. – P. 387-403.
5. СТ РК ГОСТ Р 51592-2003 Вода. Общие требования к отбору проб. Утвержден и введен в действие приказом Комитета по стандартизации, метрологии и сертификации Министерства индустрии и торговли Республики Казахстан от 07 ноября 2003 г. №380. – Астана, 2003. – 73 с.
6. СТБ ИСО 6468-2003. Качество воды. Определение некоторых хлорорганических инсектицидов, полихлорированных бифенилов и хлорбензолов методом газовой хроматографии после экстракции жидкость-жидкость. Утв. 31.10.2003 Госстандарт Республики Беларусь. – Минск: БелГИСС, 2004. – 31 с.
7. ГОСТ 17.1.5.01-80 Охрана природы. Гидросфера. Общие требования к отбору проб донных отложений водных объектов для анализа на загрязненность. – М., Изд-во стандартов, 1980. – 5 с. Актуализирован 01.01.2021 г.
8. Агапкина Г.И., Ефименко Е.С., Бродский Е.С., и др. Содержание и распределение полихлорированных бифенилов в почвах Москвы // Вестн. Моск. ун-та. Серия 17. Почвоведение. – 2011. – № 1. – С. 39-45.
9. Kannan N. The Handbook of Environmental Chemistry Part K New Types of Persistent Halogenated Compounds, – 2000. – Vol. 3. – 377 p.
10. Амиргалиев Н.А. Полихлорированные бифенилы в водной экосистеме Иле-Балкашского бассейна. – Алматы: ТОО «Нурай Принт Сервис», 2016. – 192 с.
11. Амиргалиев Н.А., Мадибеков А.С., Мұсақұлқызы А., Бурлибаева Д.М., Исмуханова Л.Т., Кулбекова Р.А. Водная безопасность Республики Казахстан: Трансграничные бассейны рек Иле и Ертис. Качество речных вод. Том V. Качество вод. – Алматы, 2021. – Т. V. – 162 с.
12. Амиргалиев Н.А., Исмуханова Л.Т., Бектурсунов К.Е. Оценка уровня аккумулирования полихлорированных бифенилов в воде и донных отложениях рек бассейна озера Балхаш // Журнал «Вода Magazine». Водоснабжение. Водоотведение. Теплоснабжение. – М. 2017. – №1(113). – С. 50-53.
13. Amirgaliyev N., Opp C., Askarova M., Ismukhanova L., Madibekov A., Zhadi A. Long-Term Dynamics of Persistent Organic Pollutants in Water Bodies of the Aral Sea–Syrdarya Basin // Applied Sciences (Switzerland). 2023, 13, 11453. https://doi.org/10.3390/app132011453
14. Амиргалиев Н.А. Полихлорированные бифенилы в воде трансграничных бассейнов Казахстана // Труды IV Всероссийской научной конференции с международным участием «Фундаментальные проблемы воды и водных ресурсов»(15-18сентября2015г.).–М.,2015.–С.133–135.
15. Amirgaliev N.A., Askarova M., Opp C., Medeu A., Kulbekova R., Medeu A.R. Water Quality Problems Analysis and Assessment of the Ecological Security Level of the Transboundary Ural-Caspian Basin of the Republic of Kazakhstan // Applied Sciences (Switzerland). – 2022. – 12(4). – P. 2059. https://doi.org/10.3390/app12042059
16. Беркинбаев Г.Д., Федоров Г.В. Проблемы стойких органических загрязнителей в Казахстане // Вестник КазНУ им. аль-Фараби. Серия экологическая. – Алматы, 2009. – № 2 (25). – С. 3-8.
17. Амиргалиев Н.А. Гидрохимические показатели и уровень пестицидного загрязнения водной среды Бухтарминского водохранилища // Экосистема и рыбные ресурсы водоемов Казахстана. – Алматы: Изд-во «Бастау», 1997. – С. 176-182.
18. Tatykhanova G.P., Kabdrakhmanova P.K., Kudaibergenov P.E. PCB-contaminated area of Ust-Kamenogorsk city (East Kazakhstan): Analysis of water, soil, bottom sediments and biota // The international workshop «Sustainable management of toxic pollutants in Central Asia: towards a regional ecosystem model for environmental security». Proceedings NATO SfP-983931 Project. – Almaty, 2014. – P. 95-101.
19. Филенко О.Ф., Михеева И.В. Основы водной токсикологии. – М.: Колос, 2007. – 142 с.
20. Meijer P.N., Ockenden W.A., Sweetman A. et al. // II Environ. Sci. Technol. – 2003. – № 37. – 667 p.
21. Ockenden W.A., Breivik K., Meijer P.N. // II Environmental Pollution. 2003. – № 121. – 75 p.
22. Лалетин Н.А. Миграция стойких органических загрязнителей в пресноводных объектах о. Западный Шпицберген (оз. Биенда-стемме и руч. Васстак) // Вода: химия и экология. – 2013. – № 2. – С. 109-114.
23. Barrie L.A. Arctic air pollution: An overview of current knowledge // Atmop. Environ. – 1986. – Vol. 20. – P. 643-663.
24. Панин М.С. Загрязнение окружающей среды. – Алматы: Изд-во «Раритет», 2011. – 668 с.
25. Mamontov A.A., Mamontova E.A., Tarasova E.N., McLachlan M.P. // Environmental Science and Technology. – 2000. – № 34. – P. 741-747.
26. Мамонтов А.А., Тарасов Е.Н., Мамонтова Е.А., Кербер Е.В. Изменение содержания полихлорированных бифенилов в почвах прибрежной зоны озера Байкал в 1997-2012 гг. // Экологическая химия. – 2015. – Т. 24, № 3. – С. 129-136.

REFERENCES

1.Doklad «Zhivaya planeta». https://livingplanet.panda.org/ru/about-the-living-planet-report (data obrashcheniya 08.07.2022 g.)
2. Gosudarstvennyi klimaticheskii kadastr. https://meteo.kazhydromet.kz/climate_kadastr (data obrashcheniya 25.01.2024 g.)
3. Stokgol'mskaya konventsiya o stoikikh organicheskikh zagryaznitelyakh. – Stokgol'm, 2001. – 53 p.
4. Ishankulov M.Sh. PCB-Contaminated Areas in Kazakhstan and analysis of PCB Impact Human Health Experience // In NATO science series volume: The Fate of persistent Organic Pollutants in the Environment. – Springer: AK/NATO Publishing Unit. Editors: E. Mehmetli and B. Koumanova, 2008. – P. 387-403.
5. ST RK GOST R 51592-2003 Voda. Obshchie trebovaniya k otboru prob. Utverzhden i vveden v deistvie prikazom Komiteta po standartizatsii, metrologii i sertifikatsii Ministerstva industrii i torgovli Respubliki Kazakhstan ot 07 noyabrya 2003 g. №380. – Astana, 2003. – 73 p.

6. STB ISO 6468-2003. Kachestvo vody. Opredelenie nekotorykh khlororganicheskikh insektitsidov, polikhlorirovannykh bifenilov i khlorbenzolov metodom gazovoi khromatografii posle ekstraktsii zhidkost'-zhidkost'. Utv. 31.10.2003 Gosstandart Respubliki Belarus'. – Minsk: BelGISS, 2004. – 31 p.
7. GOST 17.1.5.01-80 Okhrana prirody. Gidrosfera. Obshchie trebovaniya k otboru prob donnykh otlozhenii vodnykh ob»ektov dlya analiza na zagryaznennost'. – M., Izd-vo standartov, 1980. – 5 p. Aktualizirovan 01.01.2021 g.
8. Agapkina G.I., Efimenko E.P., Brodskii E.P., i dr. Soderzhanie i raspredelenie polikhlorirovannykh bifenilov v pochvakh Moskvy // Vestn. Mosk. un-ta. Seriya 17. Pochvovedenie. – 2011. – № 1. – P. 39-45.
9. Kannan N. The Handbook of Environmental Chemistry Part K New Types of Persistent Halogenated Compounds, – 2000. – Vol. 3. – 377 p.
10. Amirgaliev N.A. Polikhlorirovannye bifenily v vodnoi ekosisteme Ile-Balkashskogo basseina. – Almaty: TOO «Nurai Print Servis», 2016. – 192 p.
11. Amirgaliev N.A., Madibekov A.P., Mұsakұlkyzy A., Burlibaeva D.M., Ismukhanova L.T., Kulbekova R.A. Vodnaya bezopasnost' Respubliki Kazakhstan: Transgranichnye basseiny rek Ile i Ertip. Kachestvo rechnykh vod. Tom V. Kachestvo vod. – Almaty, 2021. – T. V. – 162 p.
12. Amirgaliev N.A., Ismukhanova L.T., Bektursunov K.E. Otsenka urovnya akkumulirovaniya polikhlorirovannykh bifenilov v vode i donnykh otlozheniyakh rek basseina ozera Balkhash // Zhurnal «Voda Magazine». Vodosnabzhenie. Vodootvedenie. Teplosnabzhenie. – M. 2017. – №1(113). – P. 50-53.
13. Amirgaliyev N., Opp C., Askarova M., Ismukhanova L., Madibekov A., Zhadi A. Long-Term Dynamics of Persistent Organic Pollutants in Water Bodies of the Aral Sea–Syrdarya Basin // Applied Sciences (Switzerland). 2023, 13, 11453. https://doi.org/10.3390/app132011453
14. Amirgaliev N.A. Polikhlorirovannye bifenily v vode transgranichnykh basseinov Kazakhstana // Trudy IV Vserossiiskoi nauchnoi konferentsii s mezhdunarodnym uchastiem «Fundamental'nye problemy vody i vodnykh resursov» (15-18 sentyabrya 2015 g.). – M., 2015. – P. 133–135.
15. Amirgaliev N.A., Askarova M., Opp C., Medeu A., Kulbekova R., Medeu A.R. Water Quality Problems Analysis and Assessment of the Ecological Security Level of the Transboundary Ural-Caspian Basin of the Republic of Kazakhstan // Applied Sciences (Switzerland). – 2022. – 12(4). – R. 2059. https://doi.org/10.3390/app12042059
16. Berkinbaev G.D., Fedorov G.V. Problemy stoikikh organicheskikh zagryaznitelei v Kazakhstane // Vestnik KazNU im. al'-Farabi. Seriya ekologicheskaya. – Almaty, 2009. – № 2 (25). – P. 3-8.
17. Amirgaliev N.A. Gidrokhimicheskie pokazateli i uroven' pestitsidnogo zagryazneniya vodnoi sredy Bukhtarminskogo vodokhranilishcha // Ekosistema i rybnye resursy vodoemov Kazakhstana. – Almaty: Izd-vo «Bastau», 1997. – P. 176-182.
18. Tatykhanova G.P., Kabdrakhmanova P.K., Kudaibergenov P.E. PCB-contaminated area of Ust-Kamenogorsk city (East Kazakhstan): Analysis of water, soil, bottom sediments and biota // The international workshop «Sustainable management of toxic pollutants in Central Asia: towards a regional ecosystem model for environmental security». Proceedings NATO SfP-983931 Project. – Almaty, 2014. – P. 95-101.
19. Filenko O.F., Mikheeva I.V. Osnovy vodnoi toksikologii. – M.: Kolos, 2007. – 142 p.
20. Meijer P.N., Ockenden W.A., Sweetman A. et al. // II Environ. Sci. Technol. – 2003. – № 37. – 667 p.
21. Ockenden W.A., Breivik K., Meijer P.N. // II Environmental Pollution. 2003. – № 121. – 75 p.
22. Laletin N.A. Migratsiya stoikikh organicheskikh zagryaznitelei v presnovodnykh ob»ektakh o. Zapadnyi Shpitsbergen (oz. Bienda-stemme i ruch. Vasstak) // Voda: khimiya i ekologiya. – 2013. – № 2. – P. 109-114.
23. Barrie L.A. Arctic air pollution: An overview of current knowledge // Atmop. Environ. – 1986. – Vol. 20. – P. 643-663.
24. Panin M.P. Zagryaznenie okruzhayushchei sredy. – Almaty: Izd-vo «Raritet», 2011. – 668 p.
25. Mamontov A.A., Mamontova E.A., Tarasova E.N., McLachlan M.P. // Environmental Science and Technology. – 2000. – № 34. – P. 741-747.
26. Mamontov A.A., Tarasov E.N., Mamontova E.A., Kerber E.V. Izmenenie soderzhaniya polikhlorirovannykh bifenilov v pochvakh pribrezhnoi zony ozera Baikal v 1997-2012 gg. // Ekologicheskaya khimiya. – 2015. – T. 24, № 3. – P. 129-136.

МАРҚАКӨЛ КӨЛІ ЖӘНЕ ОҒАН ҚҰЙЫЛАТЫН ӨЗЕНДЕРДІҢ СУ ЭКОЖҮЙЕСІНДЕГІ ПОЛИХЛОРЛЫ БИФЕНИЛДЕР

Н.А. Амиргалиев *г.ғ.д., профессор,* **А.С. Мадибеков** *PhD, қауымдастырылған профессор,*
Л.Т. Исмуханова* *г.ғ.к.,* **А.Ө. Жәди, Б.М. Султанбекова**

«География және су қауіпсіздігі институты» АҚ, Алматы, Қазақстан
E-mail: ismukhanova@ingeo.kz

Мақалада Марқакөл көлі мен оның алабындағы өзендердің сулары мен шөгінділеріндегі полихлорлы бифенилдермен (ПХБ) ластану деңгейін зерттеу нәтижелері көрсетілген. Тұрақты органикалық ластағыштар (ТОЛ) туралы жаһандық Стокгольм Конвенциясының талаптарына сәйкес ҚР қабылдаған міндеттерді іске асыру мақсатында республиканың су айдындары мен су ағындарында осы қауіпті ксенобиотиктердің жинақталуын

және таралуын зерделеудің маңыздылығы туралы қысқаша ақпарат ұсынылған. Жүргізілген зерттеулер, ең алдымен, қорық аумағында орналасқан көлдер мен өзендердің су ресурстары мен шөгінділерінің ластануын көрсетті. Токсикант концентрациясының судағы да, шөгінділердегі де көл акваториясы бойынша біркелкі таралмауы анықталды. Токсиканттың көбірек мөлшері көлден ағып жатқан Қалжыр өзенінің суында тіркелген. Көл және өзен суларында 30 жеке ПХБ конгенерлері табылды, олардың арасында өте улы диоксин тәрізді және «маркер» конгенерлері бар. Су ресурстарында өте жоғары уыттылығы бар басқа конгенерлері де табылды. Планетада токсиканттардың таралу мәселелері саласындағы алыс және жақын шетел ғалымдарының ғылыми нәтижелеріне сүйене отырып, осы улы қосылыстардың ПХБ ластануы жоғары аумағынан осы қорық аймағына атмосфералық тасымалдауымен келуі туралы ұсыныс жасалды.

Түйін сөздер: полихлорлы бифенилдер, уыттылық, концентрация, туыстар, атмосфералық тасымалдау.

POLYCHLORINATED BIPHENYLS IN THE AQUATIC ECOSYSTEM OF THE PROTECTED MARKAKOL LAKE AND ITS TRIBUTARIES

N. Amirgaliev *Doctor of Geographical Sciences, Prof.,* **A. Madibekov** *PhD, Associate Professor*, **L. Ismukhanova*** *Candidate of Geographical Sciences,* **A. Zhadi, B. Sultanbekova**

JSC «Institute of Geography and Water Security», Almaty, Kazakhstan
E-mail: ismukhanova@ingeo.kz

The article presents the results of the study of polychlorinated biphenyls (PCBs) pollution of water and bottom sediments of Markakol Lake and rivers of its basin. Brief information about the importance of studying the accumulation and distribution of these dangerous xenobiotics in water bodies and watercourses of the republic in order to realize the tasks adopted by the Republic of Kazakhstan in accordance with the requirements of the global Stockholm Convention on Persistent Organic Pollutants (POPs) is presented. The conducted research first of all showed pollution of water resources and bottom sediments of the lake and rivers located in the protected area. Uneven distribution of toxicant concentration over the lake water area both in water and bottom sediments was revealed. The highest toxicant concentrations were registered in the water of the Kalzhyr River outflowing from the lake. In lake and river waters, 30 individual PCB congeners were detected, among which highly toxic dioxin-like and «marker» congeners are present. Other congeners with rather high toxicity were also found in water resources. Based on the scientific results of scientists from far and near abroad in the field of problems of distribution of these toxicants on the planet, the hypothesis about atmospheric transfer of these toxic compounds to this protected zone from highly PCB-polluted territories was made.

Keywords: polychlorinated biphenyls, toxicity, concentration, congeners, atmospheric transport.

Сведения об авторах/Авторлар туралы мәліметтер/Information about authors:

Амиргалиев Нариман Амиргалиевич – профессор, доктор географических наук, главный научный сотрудник лаборатории Гидрохимии и экологической токсикологии АО «Институт географии и водной безопасности», ул. Пушкина, 99, Алматы, *namirgaliev@mail.ru*

Мадибеков Азамат Сансызбаевич – ассоциированный профессор, PhD, ведущий научный сотрудник, руководитель лаборатории Гидрохимии и экологической токсикологии АО «Институт географии и водной безопасности», ул. Пушкина, 99, Алматы, *madibekov@mail.ru*

Исмуханова Лаура Тыныштыкбаевна – кандидат гегографических наук, старший научный сотрудник, лаборатории Гидрохимии и экологической токсикологии АО «Институт географии и водной безопасности», ул. Пушкина, 99, Алматы, *laura.ismukhanova@mail.ru*
Жәди Асхат Өмірзақұлы – докторант 2 курса Казахского национального аграрного исследовательского университета, ул. Пушкина, 99, Алматы, *askhat.zhadi@mail.ru*
Султанбекова Ботакоз Маратовна – младший научный сотрудник, лаборатории Гидрохимии и экологической токсикологии АО «Институт географии и водной безопасности», ул. Пушкина, 99, Алматы, *botakoz.sultanbekova.91@mail.ru*

Амиргалиев Нариман Амиргалиевич – профессор, география ғылымдарының докторы, «География және су қауіпсіздігі институты» АҚ Гидрохимия және қоршаған орта токсикологиясы зертханасының бас ғылыми қызметкері, Пушкин к-і, 99, Алматы, *namirgaliev@mail.ru*
Мадибеков Азамат Сансызбаевич – PhD, қауымдастырылғын профессор, «География және су қауіпсіздігі институты» АҚ Гидрохимия және экологиялық токсикология зертханасының меңгерушісі, жетекші ғылыми қызметкер, Пушкин к-і, 99, Алматы, *madibekov@mail.ru*
Исмуханова Лаура Тыныштыкбаевна – география ғылымдарының кандидаты, «География және су қауіпсіздігі институты» АҚ Гидрохимия және қоршаған орта токсикологиясы зертханасының аға ғылыми қызметкері, Пушкин к-і, 99, Алматы, *laura.ismukhanova@mail.ru*
Жәди Асхат Өмірзақұлы – Қазақ ұлттық аграрлық зерттеу университетінің 2 курс докторанты, Пушкин к-і, 99, Алматы, *askhat.zhadi@mail.ru*
Султанбекова Ботакоз Маратовна – «География және су қауіпсіздігі институты» АҚ Гидрохимия және экологиялық токсикология зертханасының кіші ғылыми қызметкері, Пушкин к-і, 99, Алматы, *botakoz.sultanbekova.91@mail.ru*

Nariman Amirgaliyev– Professor, Doctor of Geographical Sciences, Chief Researcher, Laboratory of Hydrochemistry and Environmental Toxicology of JSC «Institute of Geography and Water Security», 99, Pushkin str., Almaty, *namirgaliev@mail.ru*
Azamat Madibekov – Associate Professor, PhD, Leading Researcher, Head of the Laboratory of Hydrochemistry and Environmental Toxicology JSC «Institute of Geography and Water Security», 99, Pushkin str., Almaty, *madibekov@mail.ru*
Laura Ismukhanova – Candidate of Geographical Sciences, Senior Researcher, Laboratory of Hydrochemistry and Environmental Toxicology of JSC «Institute of Geography and Water Security», 99, Pushkin str., Almaty, *laura.ismukhanova@mail.ru*
Askhat Zhadi – 2nd year doctoral student of the Kazakh National Agrarian Research University, 99, Pushkin str., Almaty, *askhat.zhadi@mail.ru*
Botakoz Sultanbekova – junior researcher, Laboratory of Hydrochemistry and Environmental Toxicology JSC «Institute of Geography and Water Security», 99, Pushkin str., Almaty, *botakoz.sultanbekova.91@mail.ru*

Вклад авторов/ Авторлардың қосқан үлесі/ Authors contribution

Амиргалиев Нариман Амиргалиевич – разработка концепции, проведение статистического анализа, подготовка и редактирование текста, визуализация
Мадибеков Азамат Сансызбаевич – разработка концепции, проведение исследования, ресурсы, подготовка и редактирование текста, визуализация
Исмуханова Лаура Тыныштыкбаевна – проведение статистического анализа, проведения исследования, подготовка и редактирование текста, визуализация
Жәди Асхат Өмірзақұлы – проведение исследования, подготовка и редактирование текста, визуализация
Султанбекова Ботакоз Маратовна – проведение статистического анализа, проведение исследования, подготовка и редактирование текста, визуализация

Амиргалиев Нариман Амиргалиевич – тұжырымдаманы әзірлеу, статистикалық талдау жүргізу, мәтінді дайындау және өңдеу, көрнекілік
Мадибеков Азамат Сансызбаевич – тұжырымдаманы әзірлеу, зерттеу жүргізу, ресурстар, мәтінді дайындау және өңдеу, көрнекілік
Исмуханова Лаура Тыныштыкбаевна – статистикалық талдау жүргізу, зерттеу жүргізу, мәтінді дайындау және өңдеу, көрнекілік
Жәди Асхат Өмірзақұлы – зерттеу жүргізу, мәтінді дайындау және өңдеу, көрнекілік
Султанбекова Ботакоз Маратовна – статистикалық талдау жүргізу, зерттеу жүргізу, мәтінді дайындау және өңдеу, көрнекілік

Nariman Amirgaliyev – concept development, conducting statistical analysis, preparing and editing the text, visualization
Azamat Madibekov – concept development, conducting a research, resources, preparing and editing the text, visualization
Laura Ismukhanova – conducting statistical analysis, conducting a research, preparing and editing the text, visualization
Askhat Zhadi – conducting a research, preparing and editing the text, visualization
Botakoz Sultanbekova – conducting statistical analysis, conducting a research, preparing and editing the text, visualization

УДК 911.5 **МРНТИ 39.29.15**

ИСТОРИЯ ИЗУЧЕНИЯ ТОПОСИСТЕМЫ САРЫАРКИ

А.Е. Егинбаева[1]* *PhD, и.о. доцента,* **К.Т. Сапаров[1]** *д.г.н., профессор,* **А.М. Сергеева[2]** *к.г.н., ассоциированный профессор,* **А.Г. Абдуллина[2]** *PhD,* **Н.Ж. Женсикбаева[3]** *PhD, ассоциированный профессор,* **Е.К. Кейкин[1]**

[1]Евразийский национальный университет имени Л.Н. Гумилева, г. Астана, Казахстан
[2]Актюбинский региональный университет имени К. Жубанова, г. Актобе, Казахстан
[3]Восточно-Казахстанский университет имени С. Аманжолова, г. Усть-Каменогорск, Казахстан
E-mail: aeginbaeva@mail.ru

В статье описывается развитие топонимических систем на территории Сарыарки. Рассмотрены материалы и методы исследования топонимов. Формирование географических наименований в Сарыарке связано с историческими событиями. В статье приведены заслуги исследователей, изучавших регион Сарыарка, где подробно рассматриваются старые топонимические и современные названия. В статье подробно описано происхождение топонимов в контексте выдающихся исторических событий, таких как период правления Чингисхана, Эпоха Золотой Орды, период царской России. Проанализированы топонимические системы Сарыарки, что требует глубокого изучения в будущем. На территории Сарыарки распространены топонимы, образованные на основе названий растений и животных, наименований людей, племен и родов. В процессе исследования на основе фактических данных была составлена карта генонимов и этнонимов Сарыарки.

Ключевые слова: Сарыарка, топоним, топосистема, история, формирование топонимов, методы исследования, географические названия.

Поступила: 16.12.23
DOI: 10.54668/2789-6323-2024-113-2-95-112

ВВЕДЕНИЕ

Сарыарка - один из крупных физико-географических и природно-исторических регионов Казахстана. Сарыарка - обширный и богатый край, который отличается своеобразной природой, древней историей. Если дать характеристику географической карты Казахстана в физико-геоморфологическом аспекте, можно заметить, что его центральную часть занимает возвышенная, равнинная, низкогорная территория, протянувшаяся на тысячи километров. Гигантское плоскогорье, которое граничит на севере с Западной Сибирью, на юге достигает озера Балхаш, на востоке Калбинского хребта и Тарбагатая, на западе Торгайского плато, была названа казахским народом Сарыарка (рисунок 1) (ҚР-ның физикалық картасы, 2014). В историческом аспекте можно сказать, что это место основания кочевых традиций и образа жизни. Безграничные степи Сарыарки, удивительная природа, живописные реки и озера Алтая и Жетысу не вызывают сомнений. Заселение человеком Центральной Азии, в том числе степей Сарыарки, началось еще 1,5....1 млн лет назад. Самые древние памятники: стоянки древнего человека, каменные орудия труда, наскальные рисунки говорят об этом временном рубеже. Просторы Сарыарки, начиная с северного побережья озера Балхаш, территории ниже пустыни Бетпакдала кент Каркаралы, Бугылы и Тагылы, Бегазы, побережье Нура-Сарысу, далее Баянаула, вплоть до Кокшетау, полны свидетельств о наличии раскопок каменного века (Нургалиев Р.Н., 1990).

Археологические исследования доказывают, что человек населял Центральный Казахстан еще с эпохи палеолита. Свидетельства этого были найдены в местностях Обалысай, Музбель, Талдысай, Жаман Айбат, Космола, Кызылжар. Эпоха мезолита на территории датируется XII...X тыс. до н.э., тогда как неолит начинается с III тыс. до н.э.

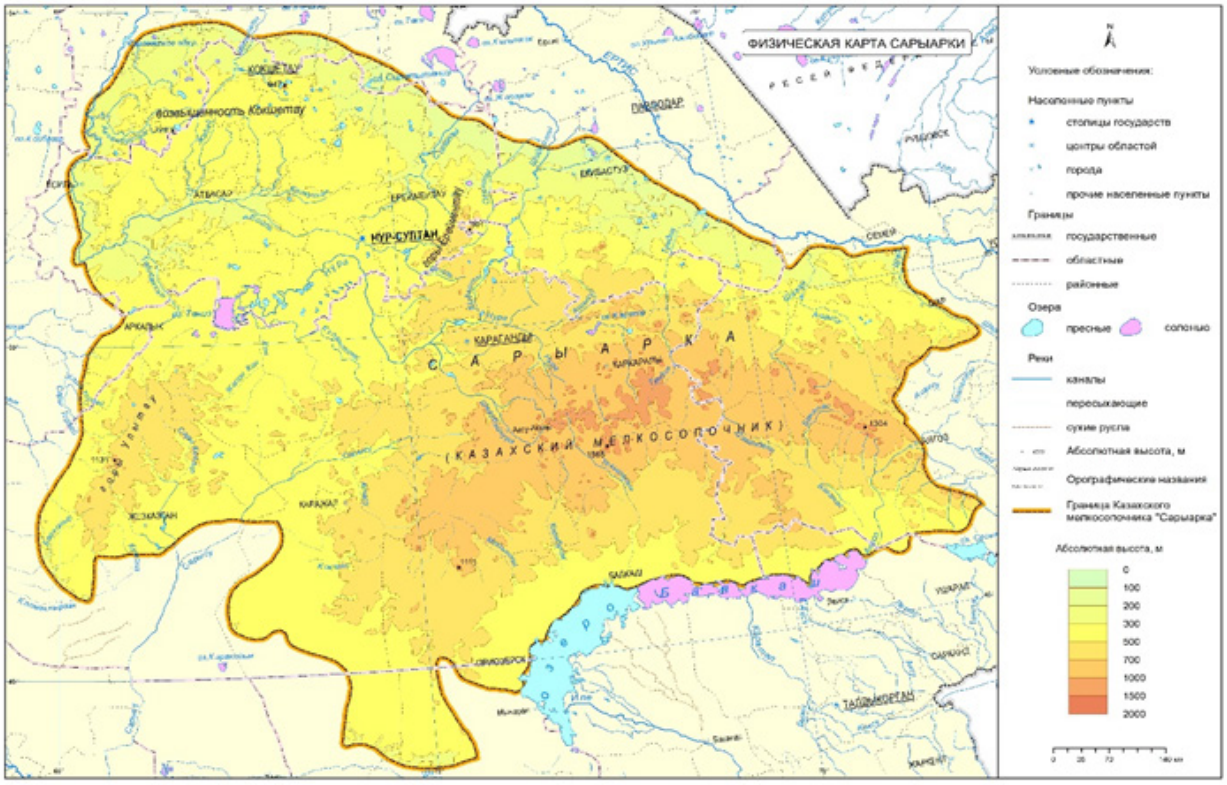


Рис.1. *Физическая карта Сарыарки (ҚР-ның физикалық картасы, 2014)*

Археологические памятники повествуют о том, что Центральный Казахстан, в том числе регион Караганды, был заселен человеком еще с эпохи палеолита. Они занимались охотой, рыболовством, собирательством. В качестве оружия использовали лук и стрелы, а также копья. В эпоху неолита появились зачатки земледелия. Стоянки племен этого периода были найдены вдоль реки Букпа – это стоянки неолита Зеленая Балка (нынешний Доскей ауыл). В бронзовом веке древние племена региона в основном занимались животноводством, было и земледелие. Об этом свидетельствуют археологические раскопки стоянки Буыкбулак (Каркаралы) и раскопки, проведенные в древних оросительных системах. В начале II-го тыс. до н.э. среди племен, населявших просторы Сарыарки, были найдены и те, которые занимались металлургией. Древние месторождения были найдены в районе Жезказгана, Улытау, в долинах рек Есиль и Тобыл, на востоке – в районе Баянаула на левобережье Ертиса и гор Шынгыстау. Близко расположенные к поверхности земли богатые залежи цветных металлов – золота, меди, олова использовались в деятельности человека. В Центральном Казахстане зародилось бронзовое производство. С этим тесно связано наименование бронзового века во II-ом тыс. до н.э. в истории Казахстана. Образ жизни человека этого периода можно назвать комплексным, так как в этом регионе параллельно шло развитие животноводства, земледелия, а также рудного производства (Маргулан А.Х., 1979).

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

А. Маргулан научно обосновал конкретные сведения о том, что горные и речные долины Центральной Азии, начиная с бронзового века до средних веков, населяли народы оседлой культуры. Один из ярких свидетельств того, что в течение тысячелетия в качестве цивилизационной культуры сформировалась кочевая цивилизация, является Бегазы-Дандыбаевская культура. После, археологическая экспедиция, возглавляемая А. Маргуланом, расширила ряд свидетельств Бегазы-Дандыбаевской культуры на основе раскопок в местностях Бугылы, Сангыру, (Маргулан А.Х., 1979). Памятники сакских племен, живших во времена древних кочевников, были обнаружены в результате археологических раскопок вдоль рек Нура, Шерубай-Нура, Атасу и Талды Нура,

Терисаккан, Ертис, Шидерти. «Звериный стиль» искусства в большинстве изображения зверей, птиц нашли отражение в различных изделиях и предметах, которые выражают быт и культуру сакских племен. Слово «скиф» в переводе с греческого языка означает «кочевники». По упоминаниям Геродота, на восток от скифов в направлении Каспийского моря проживали сарматы, далее на восток массагеты и саки (Бияров Б.Н., 2012). В центральной части Сарыарки в основном господствовала добыча руды, плавка металла, на севере же основное место занимало кочевое животноводство. Племена бронзового века, населявшие нынешние окрестности Астаны и саму столицу, жили в единении с окружащей средой. Они пронесли сквозь себя андроновскую культуру. В первом тысячелетии до нашей эры в этом регионе проживали племена саков, среди которых были и исеноны. Обнаруженные в свое время К.И. Сатпаевым камни с тамгой вдоль Буланты, позднее курганы эпохи гуннов в верхнем течении р. Каракенгир, являются неповторимыми свидетельствами древней культуры нашего народа.

По историческим сведениям, северные участки озера Балхаш на территории современного Казахстана в III...IV вв. были населены Государством гуннов (куннов – от слова – күн). Китайцы называли их «Юэбань», «Се-Яньто» (Лун-ли Е., 1979). В некоторых источниках встречаются сведения о том, что эти края назывались землей Сарматов, Половцев, Дешт-и-Кипчак (V в. до н.э.), название Сар-ир (желтая земля, желтая долина) встречается в трудах исследователя жизни Шынгысхана Мишель Хоанг в форме «Ciraka er» (Тасмағамбетов И.Н., 2008). Древние римляне называли их сарматами, славяне – половцами. В современных трудах наименования «половец», «половцы» используется в значении «құба» («белесый»), «құбашақ», «қыпшақ». Выражение «құба жон» на казахском языке также означает белесая долина, блеклая степь.

Исседоны и аргиппеи, населявшие степи Сарыарки, т.е. территории Центрального, Северного Казахстана, прославились названиями кимак, кипчак, в то же время можно предположить, что саки аримаспы, занимавшие территории на восток от р. Ертис, в китайских источниках именуются Гуннами. Гунны, основным видом деятельности которых было кочевое животноводство, особое значение придавали рациональным способам природопользования. Данное экологическое направление кочевников сквозь века нашло свое продолжение в жизни кочевников.

В междуречье Нуры и Есиля, в самом центре Сарыарки доблестные вожди гуннов оставили неизгладимый след, соорудив крепости. На языке гуннов «ақ» означает «запад», «мола – крепость». Значит, слово «Акмола» переводится как «Западная крепость». Истории известны крепости гуннов, которые воздвигались на протяжении веков в степях Дешт-и-Кипчак на просторах Сарыарки, составлявшие империю Гуннов. Одним из таких сооружений является город кипчаков Бозок, построенный в XI...XIII веках. Он был расположен на пересечении караванных путей. Древние городские жители проживали на северо-востоке современной Астаны. Также на побережье вдоль реки Нура расположен город Ботагай, который дает ценные сведения историко-топонимического характера (Мишель Хоанг., 1977). Ученый Ш.Т. Куанганов говорит о том, что племена рода Аргынов в составе казахского народа являются потомками гуннов (арғұн, арғы (ару) ғұн). По этому поводу было высказано множество мнений, поэтому требуются более глубокие исследования.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Ал-Истахри, живший на рубеже IX...X веков упоминает о том, что на территории современного Казахстана жили племена тогыз-огузов, хирхизов, имеков, кипчаков, карлуков, которые говорили на общем для них тюркском языке (Лун-ли Е., 1979). В этот период Кимакский каганат занимал северо-восточные территории вдоль обеих берегов Ертиса, кипчаки же населяли смежные с ними территории нынешнего Центрального Казахстана. Среди топонимов, имеющих отношение к Центральному Казахстану, выделяется только один топоним - река Ертіс (Эртіш сувы) (Мишель Хоанг., 1977). В книге М. Кашгари встречаются множество названий земель, городов, гор, рек и озер. Дается этимологическое пояснение древних названий в историко-географическом контексте. Например река Ертис, протекаю-

несколько рукавов. Согласно уникальным источникам, научная этимология названия реки Ертіс (Эртишмақ) означает «кто быстрее перейдет» (Кашкари М.,1997). По нашему мнению, Ертіс могло произойти и от глагола «ер, ерт, Ертіс». Так как река, впадая в р.Обь, на протяжении некоторого расстояния следует (еріп) за ней. Есіл течет завиваясь (есіліп ағып), и впадает в реку Ертис. Ертіс следует за рекой Обь, и за собой тянет реку Есіл. Учитывая данное обстоятельство, считаем верным пояснение С. Абдрахманова об уместности происхождения реки Ертис. Если рассматривать с географической точки зрения, многие ученые проявляют интерес к рукописной «Круглой карте» М. Кашгари. На территории Сарыарки встречается много названий, произошедших из древнего тюркского языка. В окрестностях Улытау по названиям гор, рек и озер, урочищ *Улытау, Кишитау (Бертагы, Кертагы), Айтагы, Аргалы, Акиректау, Арганаты, Акдомбак, Акдым (Акдин), Айнаколь, Аколен, Аксенгиртау, Арка, Аркалык, Баладересин, Балкаш, Баскамыр, Басойнак, Батыкызылтау, Белеути, Баскаусауын, Бегазытау, Борсенгир, Бестамак, Бируйык, Дересин, Дегелен, Донгалтау, Дыншокы, Дынтобе, Дынтау (могила Дын), Далба, Дагалай, Егизкаратау, Есиль, Ертис, Жамшы, Желторангы, Жарма, Карасенгир, Карасире, Каракенгир, Кайканкарасу, Котонбулак, Карадин, Кенгир*[5], *Майкобен, Оленти, Сарыкенгир, Сынтас*[15], *Торгай, Шидерти и др.* можно получить многочисленные историко-географические сведения.

В IX...X вв. значительный вклад в картографирование территории Средней Азии и Казахстана внесли арабские географы. Среди трудов, в которых встречаются топонимы Центрального Казахстана, карты аль-Идриси «Китаб-Роджер» и «Сурат ал-Ард», датируемые X в. (Жартыбаев А.Е., 2008). Академик А. Маргулан указал на то, что сведения в этих трудах имеют отношение к окрестностям рек Сарысу, Торгай и гор Улытау. В этом регионе жили огузы, среди огузских городов выделяются Гарбиан, Даранда, Бадагах, Дарку, Нуджах, Хиам, Дахлан, Джаджан. По сведениям аль-Идриси, эти города располагались вдоль побережья рек Руза, Магра, озера Горгуз, гор Музгар, Ортаг, Казтаг, Аскарун (Маргулан А.Х., 1978). Данные топонимические сведения встречаются также в летописи Абулназы Бахадурхана. Он пишет, что огузы в период правления Карахана летнее время населяли окрестности гор Ертагы и Кертагы, зимой откочевывали в Каракумы и побережья Сырдарьи (Әбілғазы Б., 1991). По рассуждениям ученого-исследователя древних городов Центрального Казахстана, археолога Ж.Е. Смайлова, Руза – нынешняя река Сарысу, Магра – Кенгир, река Горгуз – Тениз; Аскарун – Бугылы, Музгар – Улытау, Ортаг – Ортау, Кертаг – горы Кызылтау. По достоверным сведениям автора мы можем увидеть, что ученые средних веков были хорошо осведомлены не только о названиях городов, местностей и водных объектов, их взаиморасположении и широтах, но и о физико-географических особенностях той местности. В источнике «Нұзхат ал-Муштакта» (аль-Идриси) пишется, что город Хиам располагался в верхнем течении реки Магра (Кенгир). А по Ж. Смайлову, этот город находился на северо-западе нынешнего города Жезказган, на левом берегу реки Жезди под названием Басқамыр. Город Джаджан располагался на приграничной территории с известной пустыней Бетпакдала на правом берегу реки Руза (нынешняя Сарысу). Города Нуджах, Бадагах находились в горах Улытау. Старое место этих городов сейчас называется ставкой Ногербек (Тлеукабыл) и Хана. Между этими двумя курганами протекает река Жетикыз. Город под названием располагался в окрестностях гор Арганаты и Кенгир, на берегу реки (Смаилов Ж.Е., 1997).

В X веке в результате завоевания огузами городов вдоль реки Сырдарьи, и переносом столицы Огузского государства в Жанакент эти города потеряли свое значение и пришли в упадок. По сведениям средневековых арабско-персидских источников, в частности аль-Идриси, у кимаков было 16 городов (Кумеков Б.Е., 1972). Но неправильное написание названий этих городов (Хакан, Карантия, Дамурия, Сараус, Банджар и др.), их неизвестное месторасположение порождает сомнения по поводу высказывания «Темір қақпалы үлкен қалалар», что в переводе означает «Большие города с железными воротами». По нашему мнению, у этих городов были и ворота, и

полуоседлые города-зимовки, состоявшие из юрт, центры торговли. Также есть сомнения относительно записей аль-Идриси о том, что в городе Астур на берегу вдоль реки – Гамаш (по Б.Е. Комекову Ертис) занимались выращиванием риса. Гардизи пишет, что кимаки поклонялись огню, культу реки Гамаш (Ертис). На территории Кимакии в тот период невозможно было выращивать рис. Похоже, что путешественник свои сведения получил от одного торговца и изложил таким образом, находя сходства с городами Средней Азии. Только некоторые названия городов сохранили свое тюркское произношение. Так, город Хакан известен как «город, где живет Хакан, столица», Сараус – возможно, город на берегу р. Сарысу. В оповещениях путешественника Гардизи мы можем найти дорогу в страну Кимаков: она проходит вдоль реки Сокук (Торгай или Сарысу), Кендиртаг (Улытау), Асус (река Есиль), реки Ертис (Артықбаев Ж.О., 2004). История Кимаков полна загадок, необходимо еще много комплексных научных изысканий.

Формирование топонимов, заимствованных с иранского языка, на территории Сарыарки имеет древнюю историю. Тюркские народы с древнейших времен имели взаимоотношения и культурные связи с племенами, относившихся к группе иранского языка. В результате чего встречается множество топонимов, пришедших с иранского языка. Слово Дара на узбекском, таджикском языках означает «овраг, балка, ущелье». На казахском языке дара переводится как «отдаленный», «отдельный». Дара – названия утесов, балок в местности Егиндибулак в ложбине г. Ку – Шолак дара, Айдархан дара. В ущельях и подножиях гор Улытау и Арганаты есть место древних городов Айбас дара, Ногербек дара (Маргулан А.Х., 1978). Слово Кент, распространившееся на юге Казахстана VI веке, стало основой для названий городов. В средние века этот термин, распространившийся с юга в Центральный Казахстан, можно найти в названиях таких городов как Кызылкент, Талдыкент. Один из самых высоких гор Сарыарки – гора Кент (1469 м). Происхождение названия горы Кент можно объяснить, во-первых, тем, что склоны горы состоят из камней, напоминающих кирпичи, сложенные друг на друга. Во-вторых, бесспорно, происхождение названия в связи с архитектурными памятниками Кызылкениш и Кызылкент, расположенных на склонах этой горы. По историческим сведениям, о которых пишут многие ученые, в ложбине этой горы располагался двухэтажный дворец (XII...XV вв.). По мнению А. Сейдимбека, в этом сарае жили монголы во время монгольского нашествия, они же и построили этот дворец (Сейдімбек А., 1997). Заимствованное с иранского языка слово «сар», по определению Е. Койшыбаева, означает «широкий», «главный», «основной». Свидетельствует об обширности таких орографических объектов как Сарыарка, Сарыадыр, Сарыжал, Сарыдала, Сарытау, Сарышокы, Сарыапан. Слово Сары встречается в составе оронимов и гидронимов (более 200 названий). Этимология оронима Бетпак дала, расположенного на юго-западе Сарыарки, соответствует значению «бад, бахт» (ир. «несчастный») степь (равнина), т.е. определяет особенности ландшафта. Доказательство тому поверхность Үстюрта – однородная равнина, только в некоторых местах на ней встречаются сухие балки и плоские понижения с сорами и замкнутыми озерами. Граничащая с Сарыаркой ее северо-восточная часть более возвышенна (в пределах 400...700 м). Можно сказать, что Бетпак дала мало освоена в силу отсутствия постоянных водотоков.

Такие географические названия как *Ангрен, Айдарлы, Айдарша, пещера Айдахарлы-Кудайберли, Анар, Бадамбике, Ден, Дамсы, Дарагер, Данблан, Дансары, Дастар, Дансай, Дария, Зангар, Зангартас, Кудайкул, Кудайшокы, Кудайменде, Нияз и другие*, пришедшие с иранского языка, часто встречаются на территории Арки. Л.Н. Гумилев говорил о том, что у народов, населявших территории с одинаковыми ландшафтами, много этногенетических сходств, другими словами, условия земли расселения влияют на формирование этносов (Гумилев Л.Н., 1989).

В трудах неизвестного автора «Худуд-аль-Алам» (Граница мира) можно встретить такие географические названия как населенные пункты Киркирхан, Игсун-Ясу Мазакия, Арташ (Ертис), степи Гуз (Огыз) на территории Арки. Первые три названия населенных пунктов расположены на земле Кимакии. Здесь зарождается предположение, что Киркирхан – возможно

название Каркаралинских гор, а вторая часть наименования Игсун-Ясу очень похожа на географический термин «асу» (перевал). В VII...VIII веках тюркоязычные племена были завоеваны арабами. Арабы оказали влияние на образ жизни, религию и язык, традиции и культуру тюркских народов завоеванных земель, оставив свой след. Слова, заимствованные из арабского, иранского языков целиком вливишись в казахский язык, нашли отражение в местных топонимах. Слово Аулие на арабском языке употребляется в значении «священный». *Аулиебулак, Аулиеколь, Аулиеозек, Аулиетал, Аулиетау, Аулиетас и др*. названия были даны в сопоставление к природным объектам местными казахами. Слово *Алка* – по-арабски халка, в значении «круглый», пришло в тюркский язык из персидского, арабского языков. В казахском обществе для того, чтобы делиться советами, мыслями была традиция сидеть кружком вокруг, т.е. сидеть вкруговую. Название озер *Алкаколь, Алкалы, Алкамерген* соответствуют этим значениям. Слово Кожа имеет два разных значения. Первое значение – дает понятие «учитель, мулла, бай, хозяин», второе значение – «потомки первых халифов Мухамеда, проповедники мусульманской религии». Названия *Асанкожа, озеро Кожа, н.п. Кожеке, ур. Кожагаш, Кожакерегетас, долина Кожатобе* напрямую сформированы от генонима Кожа (рисунок 2). Такие топонимы с арабского языка как А*быз, Айдархан, Айтколь, Акмырза, Аппаз, Ахметишан, Ахметсай,Али, Баймырза, Бейитбулак, Иза (Иса), Иманбай, Исабекишан, Казыгул, Казымбет, Кызырбек, Майдан, Мадениет, Мажибулак, Мусашоты, Мустафа, Мусылман, Мырза, поле Мырза, сопка Мырзамсейит, Мырзашокы, озеро Наиб, Рахымбулак, Хазирет, Шайтан, Шайтанды, Шайтанколь, Ыбырайбулак* также часто встречаются. Можно сказать, что топонимы, произошедшие с арабского языка, в основном, образованы из антропонимов.

Средневековые путешественники старались давать названия географическим объектам, которые бы хотя бы в некоторой степени характеризовали географические условия. Поэтому название какого-нибудь объекта, несколько раз повторяясь, частично искажалось и формировалось в качестве нового наименования. Путешественники, исследовавшие территорию Казахстана, не смогли внести новые идеи в область географии. Названия, характерные для Центрального Казахстана, можно увидеть в трудах Каракожаулы Коркыт ата, жившего в VIII...IX вв. В целом период Коркыт ата и сведения в его произведениях Х. Короглы и А. Маргуланом рассматриваются в единстве с периодом огузов. Х. Короглы в своей «Книге о Коркыт ата» пишет, что окрестности г. Казылык (Ысқақов Б., 1994), как и в эпосе киргизов «Манас» являются местом проживания огузов, академик А. Маргулан, также придерживаясь этого мнения, говорит о том, что топонимы, которые упоминаются в эпосе «Қорқыт», такие как Огизтау (вдоль Атасу), перевал Арку (Арка), хребет Ортаг - Ортау, море Какше (старое название озера Балхаш), гора Казылык встречаются на территории современного Центрального Казахстана (Короглы Х., 1976).

А. Маргулан в своей книге «Древние поэтические легенды» повествует о том, что, согласно китайским источникам, высокие горы (Кент, Мыржык, Абыралы, Дегелен) на востоке Каркаралы и западе от Семей в древний период были населены карлуками, некоторые ученые считают, что основой для появления названия Карлук основанием послужил топоним Казылык (Марғұлан Ә., 1985). По географическому положению Улытау расположен в самом центре Казахстана, Кызыларай – центр Сарыарки. Гора Кызылрай - также самая высокая точка гор Арки (сопка Аксоран, 1565 м). Горы Казылык (үш қазылық, бес қазылық, он екі қазылық) древнее название земли рода Каракесек (геноним) (рисунок 2), первоисточник сведений о Карлуков. Он екі қазылық – собирательное название самых видных и высоких гор Сарыарки, начиная от Каркаралинских, Баянаульских гор. Горы Каркаралы, Каракуыс, Едирей, Ку, Баянаула именуют «Бес қазылық». Также горы Каркаралы, Кент, Ку называют Үш Қазылық. Однако, кроме старожилов Центрального Казахстана, эти горы никто не называет «*горы Казылык*» (Жартыбаев А.Е., 2008). На наш взгляд, похоже, что эти названия были преданы забвению в связи с тем, что из-за перехода к оседлости эти кочевые пути очень редко находят свое

применение.

Названия гор Улытау, Кишитау (Бертагы, Кертагы), Арганаты, Буланты, Билеути, Сарлык, пастбищные урочища Едиге, Кенгир и другие, расположенные в краях Улытау, уносят наши мысли в период древних веков. Перед монгольским нашествием большая часть территории современного Казахстана была под управлением кипчаков. Отсюда и арабское название Дешт-и-Кипчак (степи Кипчаков). А, начиная с XIII века, в связи со становление политического центра в данном регионе получили свое развитие города. Этот период знаменателен выходом на историческую сцену империи Чингисхана. При разделении Улусов между своими детьми, Чингисхан поручил степи Дешт-и-Кипчак своему старшему сыну. По мнению историков, столица Джучи хана город Орда Базар располагался в Улытау, после смерти Джучи хана Бату хан также в качестве столицы установил этот город. В результате похода Бату хана на запад столица государства была перенесена в Сарайчик, а город Орда Базар был преобразован в главный город расширяющегося Орда Ежен улуса. В это время, по средневековым арабско-персидским источникам, Центральный Казахстан занимали городища, курганы, дворцы, такие, как Аяккамыр, Болган-ана, Баскамыр, Сарайлы, Турайлы, Сарай, Талмас ана, Жошы Ордасы, Шоткара. В средние века Баскамыр являлся одним из самых сложных архитектурных строений Сарыарки (Смаилов Ж.Е., 1997).

Регион Жезказган-Улытау – исторический край, оставивший богатый исторический след. Так как данный регион стал ареной формирования казахов как этноса, их развития и совершенствования. Следы каменного, бронзового веков, погребенные под землей, наземные мазары, каменные изваяния, курганы, могильники, места стоянок – это все метки исторических событий. Местности Талдысай, Соркудық, Милыкудық – очаги рудного дела древних времен. Алаша, Домбауыл, Жошы, Дузен, Ерден, Койлыбай, и другие мазары – памятники, хранящие тайны исторических личностей. Теректи Аулие – галерея наскальных надписей и рисунков (Айқынбай Б.Ә., Ештанаев Ғ.Е., 2007). Мавзолей Домбауыл сейчас расположен на берегу вдоль реки Кенгир и взят по охрану государства. Купол, сложенный только из плоскоповерхностных камней, датируется VII...VIII вв. В воспоминаниях Ш. Уалиханова говорится, что Домрул-Домбауыл был превосходным исполнителем кюев, кобызистом. В западной части современного Улытау есть местность «сопка Сарын», это было местом, где Домбауыл в свое время писал свои мелодии. Таким же образом, в окрестностях Сырдарьи и Торгая встречается много топонимов, связанных с именем Коркыт ата. Например, озеро Коркыт, Коркыт суы, мавзолей Коркыт и т.п. Ороним Домбыралы-Моншакты на севере города Астана – место, где Коркыт ата в былые времена собирал бусы и украшал ими свой кобыз. Однажды Коркыт ата оставил здесь свою домбру, в связи с этим это место получили название *Домбыралы-Моншакты* (Ысқақов Б., 1994).

Согласно сведениям итальянского путешественника Плано Карпини, первая ставка улуса Орда Ежен располагалась на востоке озера Балхаш, тогда как Ш. Кудайбердиев считает, что она была на территории современного Шынгыстау (Кудайбердыулы Ш., 1990). Всем известно, что ороним Шынгыстау связан с торжественным возведением на ханский трон Чингисхана. Летом 1206 года перед своим походом в страны Средней Азии Чингисхан установил свою ханскую ставку (стоянку) в этих горах, в связи с этим эта гора и ставка получили название Шынгыстау (Наймантау). В «Воспоминаниях» известного ученого, исследователя Г.Н. Потанина, родившегося в крепости Ямыш (Калатуз), можно встретить такие фразы. Синолог Палладий издал небольшую карту Монголии во времена Чингисхана (XIII век). На этой карте можно прочитать запись Емишин (емши) на месте расположения села Ямыш. Копия этой карты изображена в книге П.И. Кафарова (Арсенева Ю.В., 1882). Причина названия Тузкала заложена в том, что на окраине аула расположено соленое озеро, из которого добывалась соль, также местные казахи брали воду из родников, которые впадали в это озеро. Общее для тюркско-монгольских языков слово «емши» интерпретируется одинаково.

В целом, в Центральном Казахстане имеют место топонимы, связанные не только

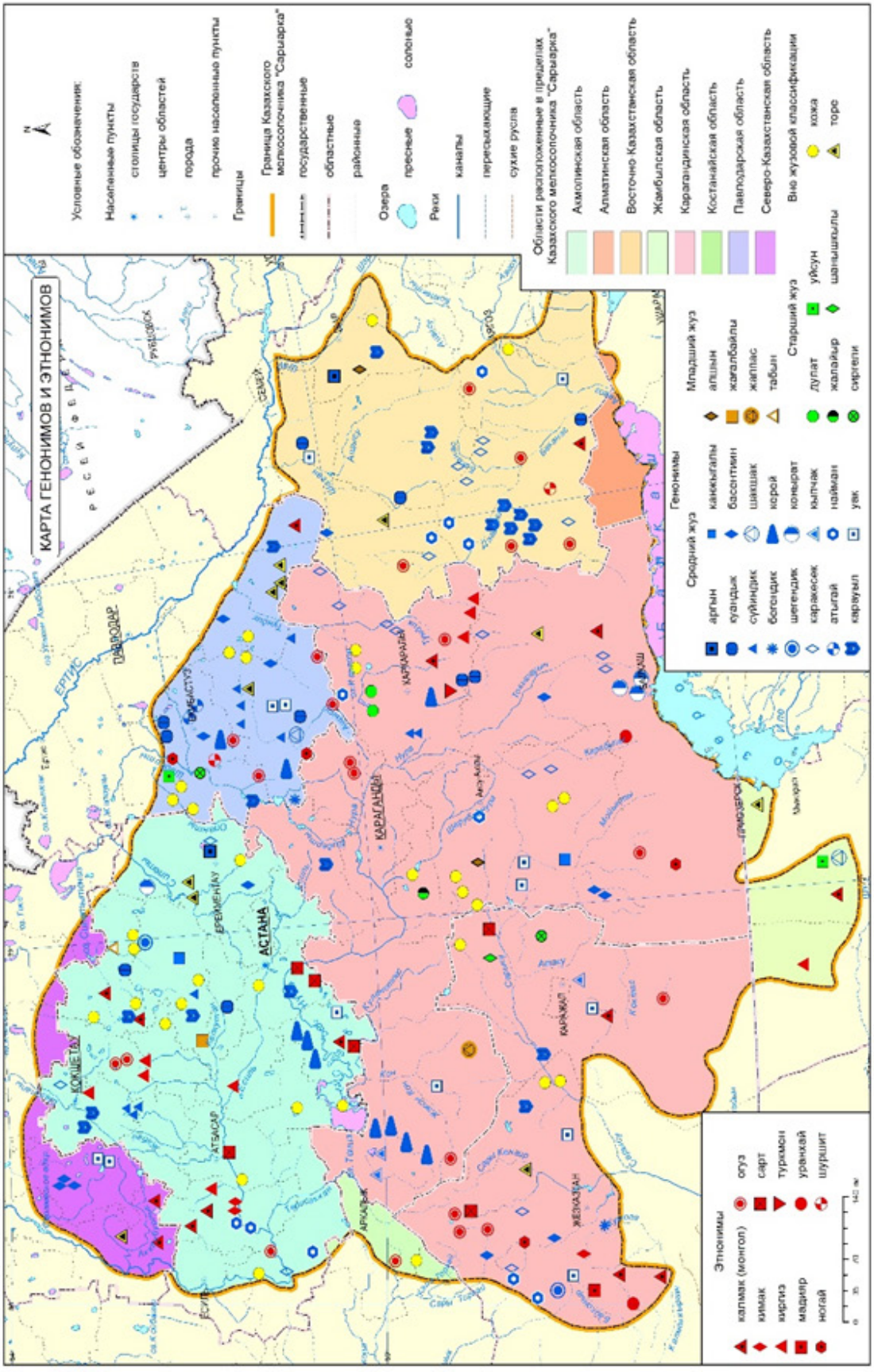


Рис.2. *Карта геномов и этнонимов исследуемой территории*

с именами династии Чингисхана, но и с именами хан Едиге и Барак хана. Вершина Едиге расположено на поверхности Улытауских гор, также один из отрогов Улытау называется гора Едиге, а в 210 км на север от города Жезказган есть озеро Барак. Среди топонимов окрестностей Улытау преемственным образом перекликаются имена таких ханов, как Чингис, Жошы, Алаша, Темир, Кутлык, Едиге, Токтамыс, Аксак Темир, Керей, Жанибек, Касым, Тауке, Болат, Абылай, Абулхайыр, Кенесары. До сегодняшних дней доказательством тому служит ряд топонимов под названием «Танбалы тас», «Хан котерген», «Дабыл корасы», «Топырак суырган», «Алтын шокы», «Хан Ордасы», «Хан қыстагы», «Хан аралы», «Хан басы», «Орда Базар», «Едиге тауы» и др. (Сейдімбек А., 1997). Кюй «Ақсақ құлан», появление которого связано с именами Чингисхана и его сына Джучи, по народной легенде, повествует о массовом уничтожении куланов. Название «*река Куланотпес*» дополняют нашу мысль. В целом, поход Чингисхана, господство монголов в Центральной Казахстане, тем не менее, не смогло распространить монголоязычные топонимы.

Летописи, легенды о погребенном в мавзолее Алаша хане нашли отражение в трудах русскоязычных исследователей, путешествовавших в казахской степи в XVIII... XX вв. Так, в XVIII веке член Петербургской академии наук Г.Ф. Миллер пишет, что имя Алаша часто упоминается в дипломатических записях 1489...1508 гг., в XIX в. исследователь Н.И. Красовский говорит о том, что три жуза распространились от трех жен Алаша (Болган ана, Талмас ана, Белен ана). Могилы этих трех матерей до сих пор сохранились на побережьях рек Сарысу, Кенгир в Центральном Казахстане (Лебедев Д.М., 1942).

Эти памятники региона являются государственными символами, а исторические места - свидетели решающих событий, места средневековых городов и укреплений - облик степной цивилизации, возведенные купола, мазары, мечети исторические знаки политической власти, а также кризиса в обществе. Отсюда, название Улытау в понимании казахского народа говорит не о высоте гор, а об историко-географической важности земли.

Академик А. Маргулан в процессе анализа карт, составленных в XIV...XV вв. итальянцами для осуществления торговли с Индией и Китаем (1375 г. Карта Каталона; 1367 г. братьями Пицигани; 1459 г. Фра-Маур), повествует о том, что на этих картах на берегу реки Нура был город «*Аксикент*» (Жартыбаев А.Е., 2008). Значение наименования Аксикент трактуется как «Город на западе». Первую карта-схему города Ботагай составили российские целители Ф. Скитин и М. Трошин (1694), посетившие ставку Тауке хана. Данная карта под названием «Казахская орда» состояла из 20 листов. На ней обозначен маршрут, проходящий через р. Нура до ставки Тауке хана на берегу реки, озеро Коргалжын город под названием Ботагай между ставкой Тауке хана и побережьем р. Нура (Мишель Хоанг., 1977). Также говорится, что город с большим населением располагался вдоль Великого Шелкового пути. Некоторые древние названия упомянутой местности также встречаются в трудах, посвященных персидским и тюркским произведениям XV...XVIII вв. Они были переведены и изданы казахскими историками. В книге Мухаммед Хайдара «Тарих-и-Рашиди» в материалах этих сборников приводятся такие гидронимы как Кокшетениз (древнее название озера Балхаш) и Артуш (Ертис), в книге Хафиз Тыныша «Шараф-намей шахи» топонимы Центрального Казахстана Сарык-су (Сарысу), Улуг-Таг (Улытау), Уч-Кунгур (Ушконыр), Иланчук (река Жыланшык), Кендирлик (река), Кырык Караклар (Кырыккаракшы – 40 разбойников), Кызыл-Как (Кызылкак), Акколь (Жартыбаев А.Е., 2008).

Улытау охватывает обширные территории, которые отличаются своеобразными природно-географическими условиями. Центром территории, занимающей регион между горами Арганаты, рекой Терисаккан на севере, Каракумы, реки Торгай и Ыргыз западе, Сарысу на востоке, пустыня Бетпакдала и долина реки Шу на юге, являются Улытауские горы. Один из важных факторов, определяющих географические особенности территории Улытау, являются водные источники – реки, озера, родники на склонах гор, которые имеют важное экономическое значение для жизнедеятельности человека. Реки Жезди, Кенгир, Терисаккан были благоприятны для хозяйствен-

ного использования. Река Сарысу, пересекающая пустыню Бетпакдала с севера на юг внесла свою лепту в развитие караванных путей, связывавших страны Средней Азии с северными регионами Казахстана. Описания Улытау средневековыми авторами Жүзжани, Хафиз Танышем как «самое благодатное место в кипчакской степи», указывают на тесные связи природы с хозяйственной деятельностью человека (Жұмабеков Ж.А., 2010).

Асан Кайгы, оседлав своего быстроного верблюда, путешествуя по просторам Сарыарки, изучал такие географические названия как Ертис, Есиль, Нура, Силети, Оленти, Шидерти, гор Баянаула, Ерейментау, Кокшетау, Каркаралы, Улытау, Шынгыстау, озера Коргалжын, края Жезказгана и др., таким образом дал характеристику природных условий и особенностей ландшафта (Көпеев М.Ж., 1992).

В книге М. Жусип Копейулы «Сарыарқаның кімдікі екендігі» и других произведениях можно встретить около 200 географических названий. Например, он пишет, что междуречье четырех рек «на западе – Сырдарии, на востоке – реки большой протяженности Ертис, на юге рек Семиречья, севере – Волга-Урал», в древние времена называлось «Дешти-и-Кипчак». Сколько народов и племен населяли территорию Сарыарки со времен кипчаков. Свою власть устанавливал один народ, но и он предавался забвению. Властвовал народ Шермиш, но и их не стало. После них в XV...XVI вв. господствовали ногаи – казахские ногаи. От них остались различные знаки и отметки. «Девяносто два озера между Есил-Нурой и Тоганасом» - были территориями ногайских посевов. Местности Кызылмола, Сулутам, Сырлытам, Кость Хана были местами захоронения ногаев. В Сарыарке также найдены глубокие арыки, которые были проложены для орошения земель, в которых протекали маловодные реки. В устье реки Шидерти были ставки Бухарских, Кокандских ханов, где были построены ногайские города в местностях Акжар, Сасай (Сапаров Қ.Т., 2013).

По археологическим и письменным источникам расположенный в междуречье рек Шидерти и Оленти Акколь-Жайылма в более поздние средние века – в период Алтын Орды и Казахского Ханства имел значение особенно важного политического, культурно-хозяйственного центра. Доказательством тому служит тот факт, что казахские ханы вместе со среднеазиатскими правителями во времена Джунгарского нашествия перекочевывали в Сарыарку на территории кочевых племен и родов. При таких условиях одна ставка Хана была в Улытау, вторая, похоже, была в местности Акколь-Жайылма: было удобно перекочевывать, с одной стороны, в краях Баянаула и Ерейментау, с другой стороны, в пойме реки Ертис (Арын Е.М., 2012). Казахские топонимы, имевшие место в XVI веке, можно найти в пояснительной книге «Большого чертежа», составленной во времена Ивана Грозного. Здесь есть название реки Бозын – Гин Чал-Илген, имевшей отношение к Центральному Казахстану. Название этой реки происходит от казахских слов. Бозинген, скорее всего имя человека. Также встречаются подобные наименования Кемпиролген, Шалсуринген, Токайказган (Гольденберг Л.А., 1962).

Впервые Сарыарка в качестве огромного плоскогорья водораздела была нанесена на географическую карту в XVIII в. В связи с тем, что Российская империя расправила свои крылья на восток, обратив свое внимание через Сибирь на казахские степи, начала собирать сведения об этих краях. 14 февраля 1697 года в царской грамоте, отправленной воеводе города Тобольск, было поручено найти дорогу вдоль казахской земли до Хивы и Бухары, начертить полный «Чертеж». На основе этих указаний в 1697 году житель города Тобольск «боярский сын» Семен Ремезов впервые составил карту казахской степи под названием «Чертеж земли всей безводной и малопроходной каменной степи». Позднее в 1812 году этот чертеж был использован при издании атласа «Чертежная книга Сибири».

С. Ремезов в своей чертежной карте показал расположение Сарыарки под названием плоскогорье «Арка», протянушейся между горами Сауыр, Тарбагатай на востоке и Торгайской низменностью на западе (Жұмабеков Ж.А., 2010). Также более или менее точно были изображены реки Сарыарки, такие, как Торгай, Есиль, Ертис, Сарысу. В «Чертежной книге Сибири» С.У. Ремезова также подписаны некоторые древние названия района

Ертис-Баянаула: реки Ертис, Аксу, Железинка, Кашыр, Тулкису, озеро Ямыш (Калатуз), названия обрывов и островов Керегежар, Аллабердыжары, Кызылжар, Сайгакжар, Шепелеужар, Туйежар, Уйирлитюп и др (Гольденберг Л.А., 1962). Среди памятников на берегу вдоль реки Ертис письменные источники часто упоминают о башне Калбасун (Калабалгасын). Если читать Калбасун – как «қала балық сағұн», то предстает значение «город династии правителей». Башня Калбасун была построена на меридиональных торговых караванных путях. По словам местных жителей на этом месте была переправа. Также можем привести предположение о том, что «Калбасун» на территории Майского района Павлодарской области был одним из городов кимакских правителей. Об этом было написано в дневниках Ф. Байкова (1654), а первые изображения этой башни были зарисованы Г. Миллером. Вместе с тем, определено месторасположение Аксарай, Куйгенсарай, Жанасарай, Сырлыкала и других городов оседлой культуры средних веков (Миллер Г.Ф., 1937).

Труды С.У. Ремезова можно отнести к начальному периоду изучения территории Казахстана в географическом (картографическом) аспекте. Тем не менее, вместе с достоинствами карт С.У. Ремезова имеется и много неточностей и ошибок. Например, реки Сырдария и Амудария вытекали из озера Балхаш, реки Шу и Талас, согласно упомянутой карте, берут начало в Сарыарке. Вместе с тем места кочевок казахов на юг ограничены междуречьями Сырдарьи и Балхаша, реки Шу (Бейсенова Ә., 1990). В книге И.П. Рычкова «Т*опография Оренбургской губернии*» приводятся сведения об озере «Аксаколь – Барты», расположенной в районе впадения рек Торгай и Иргиз. По его мнению, периметр озера превышает двести километров. Верхом от укрепления Орск этого озера можно достичь в пятидневный срок. Вода у озера пресная, чувствуется небольшое количество растворенной соли (Рычков П.И., 1899). Озеро «Аксаколь – Барты», некогда бывшее одним из самых крупных озер на казахской земле, ныне на географических картах увидеть его невозможно. В записях Я.В. Ханыкова, издавшего документы К. Миллера и его карту путешествия от города Орск до Джунгарской земли: эти документы являются первыми достоверными сведениями о землях восточнее Аральского моря. По словам автора, карта К. Миллера охватывает территорию интервалом от 66º...97º восточной долготы и 44º...52º северной широты. Дороги на всем этом протяжении показаны линиями. Среди водным систем казахской степи (земель Арки) изображены реки Большой Торгай, Иргиз, Сарысу (на карте – Сара), Кенгир, Сарыкенгир, Жездикенгир, Жыланшык, Улы-Карагай, из озер Шалкар-Тениз (Аксакал) (Ханыков Я.В., 1850). По нашему мнению, озеро «Аксакал-Барты» располагалось на месте современного озера Шалкар-Тениз. В свое время, площадь этих озер была значительно больше. Похоже, что, позднее обмелев, они разделились на части. В «*Топографии Оренбургской губернии*», написанной 1762 году и изданной в 1887, в трудах А.И. Левшина (1831), М.Красовского (1868) название Баянауыл приводится как Баин-ола, Баянаула (Благодатная земля).

Один из лучших трудов «Топография Оренбурга», в которой сосредоточены полные географические и исторические данные исследований территории Казахстана в XVIII веке, внесла значительный вклад в развитие географии. После И.П. Рычкова исследованиями минеральных богаств казахской земли, которые были организованы по инициативе Российской Академии наук, занимались известные ученые П.С. Паллас, И. Георги, И.П. Фальк, отец и сын П.И. Рычков и Н.П Рычков, А.И. Левшин, руководившие специальными экспедициями. Переход на применение научных экспедиций с участием природоведческих специалистов в качестве метода исследования придало особое значение физико-географического изучения территории Казахстана. П.С. Паллас своем известном издании «Путешествия по различным провинциям Российской империи» писал о том, что климат в значительной степени оказывает влияние на формирование природных условий, растительного и животного мира тех мест Казахстана, которые он посещал. В научных исследованиях вдоль реки Ертис пишет об увиденных им представителях косуль, маралов, куланов, кабанов в лесостепной и степной зонах (Паллас П.С., 1786). И.П. Фальк на пути в Сибирь написал краткие географические очерки об Есильских степях.

Здесь он приводит характеристики рельефа, геологии, плодородности почв и растительного покрова долины реки Есиль, а также дает полные гидрографические характеристики реки Есиль (Миллер Г.Ф., 1937). На карте Я.Б. Боувера, составленной в конце XVIII века полностью показаны водные системы территории Казахстана. В частности, изображены рукава и протоки реки Ертис, а также небольшие реки, такие, как Иргиз, Нура, Торгай, Сарысу, Силети, Оленти, Шидерти и др. М. Поспелов и Т. Бурнашев подчеркивают специфические особенности природных условий полупустынь, возвышенных и равнинных степей Центрального Казахстана. Определили расположение пустыни Бетпак дала между южными отрогами Сарыарки и долиной реки Шу. Вместе с тем, дали краткую характеристику геологии Сарыарки, определили некоторые виды минералов и горных пород (Бейсенова Ә., 1990).

Во второй половине XVII века после падения империи Чингисхана образовалось несколько феодальных монгольских ханств, независимых друг от друга. В это время основные владения ойратских феодалов располагались в Западной Монголии, их называли Джунгарией. Название «Джунгария» происходит от монгольского термина «зуун гор» (левая рука, левая сторона). Известно, что в Казахстане употребляется термин «қалмақ», который «отделившийся», «оставшийся», «остаток», «отдельно проживающий» (Сапаров Қ.Т., 2007).

Воинственные джунгарские правители изначально положили глаз на просторные казахские степи. Сначала враг пришел с востока в долину реки Ертис, оттеснив казахов на запад, завлалел некоторыми территориями Сарыарки. Таким образом, на более, чем 100 лет казахи потеряли связь с северо-востоком Казахстана, определенной части Центрального Казахстана. Возможно, именно в это время были разрушены средневековые исторические памятники Акколь-Жайылмы (вместе с ними на территории гор Баянауыл, Ерейментау, Каркаралы, вдоль рек Силети, Есиль, Нура и др.). Данное предположение обусловлено тем, что памятники на территории Улытау, датируемые этим же временем, сохранились и до наших дней (мазары Джучи хана, Алаша хана и др.) (Арын Е.М., 2012).

На просторах Сарыарки, полной исторической событий, следы джунгарского нашествия можно проследить по местным топонимам на языке захватчиков (монгольско-калмыкском). Можно встретить различные оронимы и гидронимы, комонимы, фитонимы: *Аксан, Алтуайт, Ареанатты, Аяктуайт, Ажболат, Баканас, Баксук, Бараншокы, Баргана, Баркытогай, Барын, Басбулдырык, Бастуайт, Баянаула, Баянкудык, Баянсор, Баянтогай, Баятар, Боржоктысай, Борсенгир, Булдытау, Бурхат-Архат, Дабысынтуз, Дагандели, Далконыр, Дересин, Долан, Дологой, Дурилжин, Дулыгалы, Екибас, Емел, Ерейментау, Жеке Дуан, Жетиконыр, Жошы, Жошыхан, Калгутан, Карасейир, Коянды-Толай, Кызыларай, Мерген, Молдыр, Монтык, Монке, Мукыр, Нарын, Нура[5], Обалы[10], Сайгунсор, Сайкан, Сумбетау, Силети[3], Толагай тау[2], Тотия, Шабар, Шар, Шаган3, Шарык, Шонай, Шория, Шынгыстау и другие* (Жартыбаев А.Е., 2008).

В ходе казахско-джунгарской войны было важным моментом овладение горной системой Улытау. Весной 1727 года в местности Карасиыр в междуречье Буланты и Билеути у подножия Улытау было крупное сражение, казахское войско одержало победу. Это событие, вошедшее в историю как «*Қалмаққырған шайқасы*» («сражение по истреблению калмыков») совпало со сражениями Аныракай, Елек, Курти. Названия, которые встречаются в Сарыарке, гора *Калмаккырган, Калмактобе, Калмакколь* предоставляют инфомацию о былых временах. Этимология слова Аныракай – означает «рыдать», «стонать».

В крае Ертис-Баянаула, полном исторических событий, следы джунгарского нашествия можно выявить с помощью местных топонимов. В 95 км на юго-восток от Баянаула в окрестностях аула Акшиман Олжабай батыр, окружив джунгар, предал их истреблению. С тех пор это место называется «*Қалмаққырған*», то есть значение следует понимать как «место, где истребили калмыков». В связи с тем, что в местность «*Шуршітқырған*» в верхнем течении реки Шидерти, расположенной на границе с Карагандинской областью, в середине XVIII века вторглись китайские захватчики, Олжабай батыр, Баян батыр, выдвинув лозунг всему Среднему жузу, собирают значительные войска, всту-

пив в кровопролитную схватку с незванными гостями, повергли их поражению. Казахи маньчжур называли шуршитами (шүршіттер).

В битве Буланты казахи под предводительством батыров Каракерей Кабанбай, Шакшак Жанибек, Есет, Малайсары, Ер Байгазы, Абулхайыр хан, Богенбай освободили землю Арки от джунгар. В Сарыарке в честь Жалантос (Сокыр) батыра была названа *река Сокыр, могилы, мавзолеи Жидебай, Сенкибай, Байгазы, Караменде, Бухар Жырау (в междуречье рек Токырауын и Нура), Жаксы Нияз, Жаман Нияз, Сайдалы Нияз (местное население Аюлы и Караколь назвали озером Нияза), земля Ереймен, гора Казыбек тау (Улытау), погребение Казыбек (Далба), погребение Мамаян, перевал Кушикбай (Шынгыстау), озеро и перевал Жасыбай, перевал Олжабай (Баянаула)* и другие названия часто встречаются в землях Арки. В истории казахов свидетельством того, что Ер Абылай всегда считался с народом, служит название местности «Абылай аспас Арқаның Сары белі» («Возвышенность Арки, которую не переступал Абылай») атауы. В ходе этого события Абылай хан из-за своей неосмотрительности пришел к компромиссу с батырами Бекболат, Едиге би, Алтай Жанатали, Айдабол Олжабай.

Распространение топонимов, заимствованных из русского языка, в Центральном Казахстане и северных, северо-восточных регионах Казахстана напрямую связано с историческими событиями. В результате строительства русских укреплений вдоль реки Ертис стали появляться первые искаженные географические названия, ареал которых стал расширяться. В ряду опорных пунктов официальных военных укреплений были Омск, Железинка, Ямыш, Семей и Усть-Каменогорск. Для установления связи между укреплениями воздвигались форпосты: Ачаир, Шарлак, Осьмерыжьск (Сегизжар), Чернорецк, Коряковка, Семияр, Долон. Колониальная политика Царского правительства оказала свое влияние на формирование многих географических названий вдоль реки Ертис. Появились названия Урлитюп, Железинка (Темиркаш), Пятирыжск (Бесжар), Боброва (остров Кундызды), Башмачная, Песчаная, Черноярка (Каражар), Чернорецк (Карасу), Коряковка (Курмантуз), Ямышева (Калатуз), Черное (Карасу), Лебяжье (Кийк, Кулыколь), Подпуск и др. (Сапаров Қ.Т., 2007).

Большинство современных крупных городов Казахстана были построены в XIX веке и их строительство было напрямую связано с переселением русского населения. Славянские топонимы встречаются не только среди названия городов, но и нашли отражения в названиях поселков и сел. Открытие в регионе Кокшетауского (1824), Акмолинского (1832), Костанайского (1883), Павлодарского (1868), Семипалатинского (1854), 1823 году Каркаралинского внешнего округа, позднее Баянаульского (1833), Акмолинского и Кокшетауского (1842) округов оказало определенное влияние на размещение казахских родов и племен.

Согласно реформе 1868 года в составе Западно-Сибирского генерал-губернаторства выделяются две области – Акмолинская и Семипалатинская. В состав Акмолинской области вошли Омский, Петропавловский, Акмолинский, Кокшетауский, Сарысуйский (позднее Атбасарский) уезды, в состав Семипалатинской области - Павлодарский, Семипалатинский, Каркаралинский, Усть-Каменогорский, Зайсанский уезды. Казахский народ с тысячелетней историей на протяжении нескольких столетий оказались под российским подданством. Казахи земель Арки вдоль реки Ертис лишились своих плодородных земель и были вынуждены перекочевать на неблагоприятные, безводные, пустынные земли.

Вхождение в состав организованной царской империей экспедиции, основной целью которой было исследование земельных хозяйств казахов, Алихана Букейханова дало ему возможность осуществлять свои намерения. Экспедицию, организованную в 1896 году, возглавляла ученый-статист Ф.А. Щербина. Целью, которую перед собой ставила экспедиция, являлось выявление и распределение «излишних объемов» казахских земель русским крестьянам-переселенцам (Жанұзақов Т., 1989). В конце XIX века и начале XX века в годы Столыпинской аграрной реформы переселение крестьян из России, Украины приобрело массовый характер. В начале XX века только в Павлодарском уезде появилось 220 сел переселенцев (Сапаров Қ.Т., 2007). Такая же ситуация имела место и в Акмолинской, Кокшетауской, Петропавловской уездах.

В знак Царского правительства, в честь Романовской императорской династии появились множество антропонимов, таких как *Алексеевка*[2], *Борисовка, Елизаветовка, Еленовка, Ириновка, Наташино, Николаевка, Ольгино, Павлоградка, Павлодар (дар Павлу), Романовка*[3], *Татьяновка.* В честь степных губернаторов Надарова, Галкина были названы *Надаровка, Галкина, а Милорадовка* – названа в честь губернского начальника по переселению Милорадова. *Заборовка* – связана с именем уездного начальника переселенцев Заборовского, *Домнинка и Раевка*[2] – именами дочерей Заборовского Домна и Рая, а *Софиевка*[3] – с именем его жены Софии. Немецкие переселенцы основали села *Алтенау, Келлеровка, Райнфельд, Эбенталь и Фриеденефель*. Таким же образом, названия *Андреевка, Борисовка, Бородиновка, Волгодановка, Володаровка, Гордеевка, Даниловка, Ерофеевка, Константиновка, Корнеевка, Майоровка, Макинка, Максимовка, Николаевка, Осакаровка (Сарыбел)*, *Петровка, Тарасовка, Токаревка, и др.* образуют большую группу наименований населенных пунктов, связанных с именами людей и их фамилиями. Названия мест проживания некогда переселившегося населения из

России и Украины: *Астраханка, Донской, Каховка, Кубань, Заураловка, Луганск, Полтавка*[3], *Херсонка, Ростовка, Самарка, Сочинская, Донецкое, Ярославка, Орловка, Белгородское,Новочеркасская,Новокубанская, Киевка, т.б. Діни көзқараста: Белоцерковка, Богородка, Богословка, Благовещенье, Воскресенька, Духовицкое, Крешенское, Покровка, Преображенка, Рождественка*[3], *Святогоровка, Спасовка*[3], *Сретенка, Троицкое, Успенка*[3] *и др*. (Қазақстан Республикасының физикалық картасы., 2014).

После установления советской власти, в целях превозношения советской идеологии сформировались многие исторические наименования. Появились названия населенных пунктов в честь деятелей советской власти: *Бауманское, Воздвиженка, Жданова, Калинина, Кирова, Куйбышева, Ленина*[5], *Молотова, Орджоникидзе, Сталина, Чапаева*[2], *Шорс*; в целях возвеличивания советской идеологии – *Большевик, Дружба, Интернациональная, Кенес, Коммунар, Красноармейка, Красный Рыбак, Красный Октябрь*[5], *Кызыласкер, Кызылкоғам, Кызыленбек, Кызыжулдыз, Кызылту, Мирное, Молодежное, Октябрьское, Партизанка, Первомайск, Пионерское, Пятилетка, Третье Комсомольское, Трудовое, Угит, Уйымшыл и др.* В послевоенные годы на географических картах региона стали появляться названия городов и поселков городского типа *Победа, Пограничное, Жанадауир, Жанажол, Жанакурылыс, Жанамайдан, Жанаталап, Жанатурмыс, Кызылкогам, Ынталы, Үлгили, Ынтымак, Тегистик, Тендик, Ондирис,* совхоз имени Х... XV-летия Казахстана, XVIII, XXI, XXIII, Партсъезда, во время освоения целинных и залежных земель возник город *Целиноград, названия Целинное, Целинный,* в связи с освоением полезных ископаемых и развитием крупных промышленных центров в Центральном и Северном Казахстане возникли *Степногорск, Степняк, Шахтинск, Спасский завод, Сарань (Соран), Пришахтинск и др.* (Құсайынұлы Қ., 2001). Каждое политико-экономическое изменение в обществе оставило глубокие следы в его топонимической системе. Отсюда можно отметить, что топонимика также выполняет и идеологическую функцию. В некоторых случаях встречается и прямой перевод без изменения казахских названий: *Беловодск (от слова Аксу), Горькое (Ашыколь), Горчинка (Ашылы), Глубокое (Шункырколь), Грабово (Косагаш), Котельниково (Оймаколь), Травянка (Шоптиколь) и др.* Некоторые географические названия в связи с фонетическими особенностями русского языка в корне менялись. Так, населенный пункт Сораң – Сарань, Кушоқы – Кучек, Өзен – Узенка, Күліс – Кульса, Құрма – Курминка, Шилі – Чайли, Алты үй – Ялта и др. Часть названий была скопирована методом кальки: Көкшетау – Синюха, озеро Шортанды – город Щучинск и озеро Щучье, озеро Бурабай, курорт – Боровое, Большое и Малое Чебачье (Үлкен және Кіші Шабақты) и др. В отношении названия Боровое (Қарағайлы) в связи с вышеупомянутыми обстоятельствами возникли значительные проблемы при унификации и стандартизации важнейших казахских названий на русском и др. языках. Таким образом, доказано возникновение различных стратиграфических особен-

полной глубоких исторических событий, с помощью конкретных источников различных исторических периодов.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Бескрайняя степь не только связана со всеми регионами Казахстана благодаря своему географическому положению, но и знаменательна на географической карте своей древней историей, в особенности, историей кочевников. Поэтому, мы считаем, что при изучении проявлений быта и образа жизни народов Сарыарки в языковом аспекте, необходимо рассматривать в тесной взаимосвязи с историко-культурным наследием Великой степи с древнейших времен до наших дней, с соседними народами и их историей.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Қазақстан Республикасының физикалық картасы (Масштабы 1 : 1 500 000). – Алматы: «Ұлттық картографиялық-геодезиялық қоры» РМҚК, 2014. – 1 б.
2. Қарағанды. Қарағанды облысы: энциклопедия / ред. Р.Н. Нургалиев. – Алматы, 1990. – 632 б.
3. Маргулан А.Х. Бегазы-Дандыбайская культура Центрального Казахстана. – Алма-Ата, 1979. – 360 с.
4. Бияров Б.Н. Жер-су аттарының сөзжасамдық үлгілері: монография. – Алматы, 2012. – 460 б.
5. Лун-ли Е. Цидан го чжи /пер. В.С. Таскина. – М., 1979. – 350 с.
6. Астана: энциклопедия / ред. И.Н. Тасмағамбетов. – Алматы: Атамұра, 2008. – 576 б.
7. Мишель Хоанг. Чингис хан. – Р-на-Д.: Феникс, 1977. – 313 с.
8. Кашкари М. Түрік тілінің сөздігі (Диуани-луғат-аттурк): 3 т. / ауд. А. Егеубай. – Алматы: ХАНТ, 1997. – Т. 3. – 1353 б.
9. Жартыбаев А.Е. Орталық Қазақстан аймақтық топонимиясы. – Қарағанды: «Болашақ-баспа» РББ, 2008. – 379 б.
10. Маргулан А.Х. Останки оседлых поселений в Центральном Казахстане // В кн.: Археологические памятники Казахстана. – Алма-Ата: Наука, 1978. – 211 с.
11. Әбілғазы Б. Түрік шежіресі / ауд. Б. Әбілқасымов. – Алматы: Ана тілі, 1991. – 208 б.
12. Смаилов Ж.Е. Памятники археологии Западной Сары-арки (Средневековые городища и поселения). – Балхаш, 1997. – 63 с.
13. Кумеков Б.Е. Государство кимаков IX-XI вв. по арабским источникам. – Алма-ата, 1972. – 156 с.
14. Артықбаев Ж.О., Ермеков А.Т., Жәнетов Ә.Т. Орта Ертіс өңірі Қимақ дәуірінде (Темір жауынгер құпиясы). – Астана: Фолиант, 2004. – 48 б.
15. Сейдімбек А. Қазақ әлемі. Этномәдени пайымдау: оқу құралы. – Алматы: Санат, 1997. – 464 б.
16. Гумилев Л.Н. Древняя Русь и Великая степь. – М.: Мысль, 1989. – 764 с.
17. Қорқыт ата кітабы / ауд. Б. Ысқақов. – Алматы: Жазушы, 1994. – 160 б.
18. Короглы Х. Огузский героический эпос. – М.: Наука, 1976. – 239 с.
19. Марғұлан Ә. Ежелгі жыр, аңыздар: ғылыми-зерттеу мақалалар / ред. Р. Бердібаев. – Алматы: Жазушы, 1985. – 368 б.
20. Айқынбай Б.Ә., Ештанаев Ғ.Е. Ұлытау-Жезқазған өңірінің жер-су аттары / Ө.А. Байқоңыров ат. Жезқазған универ. – Алматы: «Эверо», 2007. – 220 б.
21. Кудайбердыулы Ш. Родословная тюрков, киргизов, казахов и ханских династий. – Алма-Ата: Жазушы, 1990. – 118 с.
22. Дорожные заметки на пути в Монголию в 1847 и 1865 гг. / под ред. Ю.В. Арсенева / Зап. РГО по отд. Этнографии. – СПб., 1882. – Т. 10, вып. 1. – 164 с.
23. Лебедев Д.М. География России XVIII века. – М.; Л., 1942. – 340 с.
24. Жұмабеков Ж.А. Ұлытау өңірінің тарихи-географиясы (XV-XIX ғғ. соңы): тарих ғыл. кан. ... автореф. – Қарағанды, 2010. – 30 б.
25. Көпеев М.Ж. Асан Қайғы туралы // Ақиқат. – Алматы, 1992. – №7. – Б. 79-84.
26. Сапаров Қ.Т. Мәшһүр Жүсіп еңбектерінде жер-су атаулары көп кездеседі // Аңыз адам. – Алматы, 2013. – №19. – Б. 26-27.
27. Аққөл-Жайылма. Деректі публистикалық шығарма / ред. Е.М. Арын. – Павлодар «ЭКО» баспасы, 2012. – 324 б.
28. Гольденберг Л.А. «Хорографическая книга чертежной Сибири С.У. Ремезова» // Вопросы истории. – М., 1962. - №6. – С. 183-185.
29. Миллер Г.Ф. История Сибири.– М., Л.: Акад. наук СССР, 1937. – Ч. 3. – 466 с.
30. Бейсенова Ә. Қазақстан табиғатын зерттеу және физикалық география идеяларының дамуы. – Алматы: Рауан, 1990. – 247 б.
31. Рычков П.И. Топография Оренбургской губернии. – Уфа, 1899. – 154 с.
32. Ханыков Я.В. О карте Миллера маршрута от Орска до Зюнгарского владения и обратно // Географические известия. – СПб., 1850. – 320 с.
33. Паллас П.С. Путешествие по разным провинциям российской империи. – СПб., 1786. – Ч. 2, кн. 2. – 344 с.
34. Сапаров Қ.Т. Павлодар облысының топонимикалық кеңістігі. – Павлодар: «ЭКО» ҒӨФ, 2007. – 308 б.
35. Жанұзақов Т. Орталық Қазақстанның жер-су аттары. – Алматы: Ғылым, 1989. – 256 б.
36. Құсайынұлы Қ. Қазақ шаруашылығы отаршылдық дәуірінде (XIX-XX ғғ.). – Алматы: Дәнекер, 2001. – 120 б.

REFERENCES

1. Kazakstan Respublikasynyn fizikalyk kartasy (Masshtaby 1 : 1 500 000). (2014) [Physical map of the Republic of Kazakhstan (scale 1 : 1 500 000)]. Almaty: RSE «National cartographic and geodetic fund» - [in Kazakh]
2. Karagandy. Karagandy oblysy: enciklopediya / red. R.N. Nurgaliev. (1990) [Karaganda. Karaganda region: encyclopedia / Ed. R. N. Nurgaliyev]. Almaty: p.602 - [in Kazakh].

3. Margulan A.H. (1979). Begazy-Dandybajskaya kultura Centralnogo Kazahstana [Begazy-Dandybai culture of Central Kazakhstan]. Almaty: p.360 - [in Russian]
4. Biyarov B.N. (2012). Zher-su attarynyn sozzhasamdyk ulgileri: monografiya [Word-forming patterns of land and water names: monograph]. Almaty: p.460 - [in Kazakh]
5. Lun-lee Ye. (1979). Qidan guo zhi /trans. by V.S. Taskin. Moscow: p.350 - [in Russian]
6. Astana: enciklopediya / red. I.N. Tasmagambetov. (2008). [Astana: encyclopedia / Ed. I. N. Tasmagambetov]. Almaty: Atamura. p.576 - [in Kazakh]
7. Michelle Hoang. (1977). Chingis han [Genghis Khan]. Rostov-on-don: «Phoenix». p.313 - [in Russian]
8. Kashkari M. (1997). Turik tilinin sozdigi (Diuani-lugat-at-turk): 3 t. / aud. A. Egeubaj [Dictionary of the Turkish language (Diwani-lugat-at-Turk): 3 Vol. / aud. A. Egegbay]. Almaty: «HUNT». Vol. 3. p.576 - [in Kazakh]
9. Zhartybaev A.E. (2008). Ortalyk Kazakstan ajmaktyk toponimiyasy [Central Kazakhstan regional toponymy]. Karaganda: RSE «Bolashak-publishing house». p.379 - [in Kazakh]
10. Margulan A.H. (1978). Ostanki osedlyh poselenij v Centralnom Kazahstane // V kn.: Arheologicheskie pamyatniki Kazahstana [The remains of settled settlements in Central Kazakhstan//In the book: Archaeological monuments of Kazakhstan]. Alma-Ata: Science. p.211 - [in Russian]
11. Abilgazy B. (1991).Turik shezhiresi / aud. B. Abilkasymov [Turkish chronicle / translated by. B. Abylkasimov]. Almaty: native language. p.208 - [in Kazakh]
12. Smailov Zh.E. (1997). Pamyatniki arheologii Zapadnoj Sary-arki (Srednevekovye gorodisha i poseleniya) [Archaeological monuments of Western Sary-Arki (Medieval settlements and settlements)]. Balkhash: p.63 - [in Russian]
13. Kumekov B.E. (1972). Gosudarstvo kimakov IX-XI vv. po arabskim istochnikam [The state of the Kimaks of the IX-XI centuries. according to Arabic sources]. Almaty: p.156 - [in Russian]
14. Artykbayev Zh.O., Ermekov A.T., Zhanetov A.T. (2024). Orta Ertis oniri Kimak dauirinde (Temir zhauynger kupiyasy) [Middle Irtysh region in the Kimak era (the secret of the Iron Warrior)]. Astana: Folio. p.48 - [in Kazakh]
15. Seidimbek A. (1997). Kazak alemi. Etnomadeni pajymdau: oku kuraly [Ethnocultural reasoning: a training manual]. Almaty: Sanat. p.464 - [in Kazakh]
16. Gumilev L.N. (1989). Drevnyaya Rus i Velikaya step [Ancient Russia and the Great Steppe]. M.: Thought. p.764 - [in Russian]
17. Korkyt ata kitaby / aud. B. Yskakov (1989). [The book of korkyt Ata / translated by. B. Iskakov]. Almaty: Writer. p.160 - [in Kazakh]
18. Korogly Kh. (1976). Oguzskij geroicheskij epos [The Oguz Heroic Epic]. M.: Science. p.239 - [in Russian]
19. Margulan A. (1985). Ezhelgi zhyr, anyzdar: gylymi-zertteu makalalar / red. R. Berdibaev [Ancient Psalms, legends: research articles / Ed. R. Berdibayev]. Almaty: Writer. p.368 - [in Kazakh]
20. Aikynbay B. A., Eshtanayev G. E. (2007). Ulytau-Zhezkazgan onirinin zher-su attary [Land and water names of ulytau-Zhezkazgan region]. Almaty: «Evero». p.220 - [in Kazakh]
21. Kudaiberdiuly Sh. (1990). Rodoslovnaya tyurkov, kirgizov, kazahov i hanskih dinastij [The family tree of the Turks, Kirghiz, Kazakhs and Khan dynasties]. Almaty: Writer. p.118 - [in Kazakh]
22. Dorozhnye zametki na puti v Mongoliyu v 1847 i 1865 gg. / pod red. Yu.V. Arseneva (1882)[Travel notes on the way to Mongolia in 1847 and 1865 / edited by Yu.V. Arsenev]. Zap. RGO on otd. Ethnography. Saint-Petersburg: Vol. 10, issue 1. – p.164 - [in Russian]
23. Lebedev D.M. (1942). Geografiya Rossii XVIII veka [Geography of Russia of the XVIII century]. M.; L. p.340 - [in Russian]
24. Zhumabekov J.A. (2010). Ulytau onirinin tarihi-geografiyasy (XV-XIX gg. sony): tarih gyl. kan. ... avtoref [Historical and geography of the ulytau region (XV-XIX centuries. end): abstract of the candidate of historical sciences]. Karaganda. p.30 - [in Kazakh]
25. Kopeyev M. Zh. Asan Kajgy turaly // Akikat (1992) [Asan About Grief//The Truth]. Almaty: No.7. pp.79-84 - [in Kazakh]
26. Saparov K. T. (2013). Mashhur Zhusip enbekterinde zher-su ataulary kop kezdesedi // Anyz adam [There are many names of places and water in the works of mashhur Joseph // legendary man]. Almaty: No.19. pp. 26-27 - [in Kazakh]
27. Akkol-Zhajylma. Derekti publistikalyk shygarma / red. E.M. Aryn (2012) [Akkol-Zhayilma. Documentary non-fiction / Ed. E. M. Aryn]. Pavlodar: publishing house «ECO». p.324 - [in Kazakh]
28. Goldenberg L.A. (1962). «Horograficheskaya kniga chertezhnoj Sibiri S.U. Remezova» // Voprosy istorii [«The chorographic book of drawing Siberia by S.U. Remezov» // Questions of history]. M., - No.6. pp.183-185 - [in Russian]
29. Miller G.F. (1937). Istoriya Sibiri [The History of Siberia]. M., L.: Academy of Sciences of the USSR, – Part 3. p.460 - [in Russian]
30. Beisenova A. (1990). Kazakstan tabigatyn zertteu zhane fizikalyk geografiya ideyalarynyn damuy [The study of the nature of Kazakhstan and the development of ideas of physical geography]. Almaty: Rauan. p.247 - [in Kazakh]
31. Rychkov P.I. (1899). Topografiya Orenburgskoj gubernii [Topography of the Orenburg province]. Ufa: p.154 - [in Russian]
32. Khanykov Ya.V. (1850). O karte Millera marshruta ot Orska do Zyungarskogo vladeniya i obratno // Geograficheskie izvestiya [About Miller's map of the route from Orsk to the Zyungar domain and back // Geographical News]. St. Petersburg: p.320 - [in Russian]
33. Pallas P.S. (1786). Puteshestvie po raznym provinciyam rossijskoj imperii [Travel to different provinces of the Russian Empire]. St. Petersburg: – Part 2, book 2. p.344 - [in Russian]
34. Saparov K.T. (2007). Pavlodar oblysynyn toponimikalyk kenistigi [Toponymic space of Pavlodar region]. Pavlodar: «ECO». p.308 - [in Kazakh]
35. Zhanuzakov T. (1989). Ortalyk Kazakstannyn zher-su attary [Land and water names of central Kazakhstan]. Almaty: Science. p.256 - [in Kazakh]
36. K. Kusainovich. (2001). Kazak sharuashylygy otarshyldyk dauirinde (XIX-XX gg.) [Kazakh economy in the colonial era (XIX-XX centuries.)]. Almaty: Solder. p.120 - [in Kazakh]

САРЫАРҚА ТОПОЖҮЙЕСІН ЗЕРТТЕУ ТАРИХЫ

А.Е. Егинбаева[1]* *PhD, доцент м.а.,* **К.Т. Сапаров**[1] *г.ғ,д., профессор,* **А.М Сергеева** [2] *г.ғ.к., қауымдастырылған профессор,* **А.Г. Абдуллина**[2] *PhD,* **Н.Ж. Женсикбаева**[3] *PhD, қауымдастырылған профессор,* **Е. К. Кейкин**[1]

[1]*Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті, Астана қ., Қазақстан*
[2]*Қ.Жұбанов атындағы Ақтөбе өңірлік университеті, Ақтөбе қ., Қазақстан*
[3]*С.Аманжолов атындағы Шығыс Қазақстан университеті, Өскемен қ., Қазақстан*
E-mail:aeginbaeva@mail.ru

Мақалада Сарыарқада кездесетін топонимикалық жүйелердің даму тарихы қарастырылған және топонимдік атауларды зерттеудің материалдары мен әдістері ұсынылған. Сарыарқадағы географиялық атаулар атауларының қалыптасуы тарихи оқиғалармен байланысты. Сарыарқа өңірін зерттеген зерттеушілердің еңбектері және бұл еңбектердегі ескі топонимдік атаулар мен қазіргі атаулары жан-жақты қарастырылған. Мақалада топонимдік атаулардың шығу тегі анықталып зерттелді. Қазақ даласында өткен әртүрлі тарихи соғыстар баяндалып және бұл оқиғаларға байланысты сақталып қалған топонимдік атаулар жайлы айтылған. Шыңғыс хан дәуірі, Алтын Орда заманы, Патшалық дәуір, Ресей империясы кезінен пайда болған топонимдік атаулар терең талданды. Сарыарқа топонимдік жүйелерін зерттеу терең зерттеуді қажет ететін өзекті мәселелердің бірі. Сарыарқада өсімдіктер мен жануарлардың атаулары, адамның, тайпалардың және ұрпақтардың атаулары негізінде қалыптасқан топонимдер кең таралған. Зерттеу барысында тарихи топонимдік атаулар мен терминдер жүйесі топтастырылып, нақты деректер негізінде Сарыарқа генонимдері мен этнонимдерінің картасы жасалды.

Түйін сөздер: Сарыарка, топоним, топожүйе, тарих, топонимдердің қалыптасуы, зерттеу әдістері, географиялық атаулар.

THE HISTORY OF THE STUDY OF THE SARYARKA TOPOSYSTEM

A. Yeginbayeva[1]* *PhD, associate Professor,* **K. Saparov**[1] *Doctor of Geography, Professor,* **A. Sergeyeva**[2] *Candidate of Geography Sciences, associate professor,* **A. Abdullina**[2] *PhD,* **N. Zhensikbayeva**[3] *PhD, Associate Professor,* **Ye. Keikin**.[1]

[1]*L.N. Gumilyov Eurasian National University, Astana, Kazakhstan*
[2]*K. Zhubanov Aktobe Regional State University, Aktobe, Kazakhstan*
[3]*S. Amanzholov East Kazakhstan University, Ust-Kamenogorsk, Kazakhstan*
E-mail: aeginbaeva@mail.ru

The article describes the development of toponymic systems in the territory of Saryarka. The materials and methods of toponymic research are considered. The formation of geographical names in Saryarka is connected with historical events. The article presents the achievements of researchers who studied the Saryarka region, where old toponymic and modern names are considered in detail. The article describes in detail the origin of toponyms in the context of outstanding historical events, such as the reign of Genghis Khan, the Era of the Golden Horde, the period of tsarist Russia. The toponymic systems of Saryarka are analyzed, which requires in-depth study in the future. Toponyms based on the names of plants and animals, names of people, tribes and genera are common on the territory of Saryarka. In the course of the research, a map of the genonyms and ethnonyms of Saryarka was compiled on the basis of actual data.

Keywords: Saryarka, toponym, toposystem, history, formation of toponyms, research methods, geographical names.

Сведения об авторах/Авторлар туралы мәліметтер/Information about authors:

Егинбаева Айгуль Есенгалиевна – PhD, и.о. доцента кафедры физической и экономической географии, НАО «Евразийский национальный университет им. Л.Н. Гумилева», Астана, Казахстан, *aeginbaeva@mail.ru*
Сапаров Куат Табылдинович - д.г.н., профессор кафедры физической и экономической географии, НАО «Евразийский национальный университет им. Л.Н. Гумилева», Астана, Казахстан, *k.sapar67@yandex.ru*
Сергеева Айгуль Максатовна - к.г.н., ассоциированный профессор кафедры географии и туризма, Актюбинский региональный университет имени К.Жубанова, Актобе, Казахстан, *asergeyeva@zhubanov.edu.kz*
Абдуллина Акжунус Гафуровна – PhD, старший преподаватель кафедры географии и туризма, Актюбинский региональный университет имени К.Жубанова, Актобе, Казахстан, akzhunus_a@mail.ru
Женсикбаева Назгуль Жаныбековна – PhD, ассоциированный профессор кафедры экологии и географии, Восточно-Казахстанский государственный университет имени С.Аманжолова, Усть-Каменогорск, Казахстан, *naz_zanibek@mail.ru*
Кейкин Ернар Қуатұлы – докторант 1 курса образовательной программы География кафедры физической и экономической географии, НАО «Евразийский национальный университет им. Л.Н. Гумилева», Астана, Казахстан, *erk-09@mail.ru*

Егинбаева Айгуль Есенгалиевна - PhD, доцент м.а., «Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті» КеАҚ, «Физикалық және экономикалық география» кафедрасы, Астана, Қазақстан, aeginbaeva@mail.ru
Сапаров Куат Табылдинович - география ғылымдарының докторы, профессор, «Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті» КеАҚ, «Физикалық және экономикалық география» кафедрасы, Астана, Қазақстан, *k.sapar67@yandex.ru*
Сергеева Айгуль Максатовна – г.ғ.к., қауымдастырылған профессор, Қ.Жұбанов атындағы Ақтөбе өңірлік университеті, «География және туризм» кафедрасы, Ақтөбе, Қазақстан, *asergeyeva@zhubanov.edu.kz*
Абдуллина Акжунус Гафуровна - PhD, аға оқытушы, Қ. Жұбанов атындағы Ақтөбе өңірлік университеті, «География және туризм кафедрасы», Ақтөбе, Қазақстан, *akzhunus_a@mail.ru*
Женсикбаева Назгуль Жаныбековна - PhD, қауымдастырылған профессор, С.Аманжолов атындағы Шығыс Қазақстан мемлекеттік университеті, «Экология және география» кафедрасы, Өскемен, Қазақстан, *naz_zanibek@mail.ru*
Кейкин Ернар Қуатұлы – «География» білім беру бағдарламасының 1 курс докторанты, «Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті» КеАҚ, «Физикалық және экономикалық география» кафедрасы, Астана, Қазақстан, *erk-09@mail.ru*

Yeginbayeva Aigul — PhD, Associate Professor, L.N. Gumilyov Eurasian National University, Department of Physical and Economical Geography, Astana, Kazakhstan, aeginbaeva@mail.ru
Saparov Kuat — Doctor of Geography, Professor. L.N. Gumilyov Eurasian National University, Department of Physical and Economical Geography, Astana, Kazakhstan, *k.sapar67@yandex.ru*
Sergeyeva Aigul - Candidate of Geographical Sciences, Associate Professor, Aktobe Regional University named after K.Zhubanov, Department of Geography and Tourism, Aktobe, Kazakhstan, *asergeyeva@zhubanov.edu.kz*
Abdullina Akzhunus – PhD, Senior lecturer, Aktobe Regional University named after K.Zhubanov, Department of Geography and Tourism, Aktobe, Kazakhstan, *akzhunus_a@mail.ru*
Zhensikbayeva Nazgul – PhD, Associate Professor, S.Amanzholov East Kazakhstan State University, Department of Ecology and Geography, Ust-Kamenogorsk, Kazakhstan, *naz_zanibek@mail.ru*
Keikin Yernar – PhD, 1st year doctoral student of the educational program «Geography», L.N. Gumilyov Eurasian National University, Department of Physical and Economical Geography, Astana, Kazakhstan, *erk-09@mail.ru*

Вклад авторов/ Авторлардың қосқан үлесі/ Authors contribution

Егинбаева Айгуль Есенгалиевна – разработка концепции, разработка методологии, проведение анализа
Сапаров Куат Табылдинович – подготовка и редакцирование текста
Сергеева Айгуль Максатовна – валидация, проведение анализа
Абдуллина Акжунус Гафуровна – визуализаци, общее руководство
Женсикбаева Назгуль Жаныбековна – проведение исследования, ресурсы
Кейкин Ернар Қуатұлы – программное обеспечение, администрирование работы

Егинбаева Айгуль Есенгалиевна – тұжырымдаманы әзірлеу, әдістемені әзірлеу, талдау жүргізу
Сапаров Куат Табылдинович – мәтінді дайындау және өңдеу
Сергеева Айгуль Максатовна – валидация, талдау жүргізу
Абдуллина Акжунус Гафуровна – көрнекілік, жалпы басқару
Женсикбаева Назгуль Жаныбековна – зерттеу жүргізу, ресурстар
Кейкин Ернар Қуатұлы – бағдарламалық жасақтама, жұмысты реттеу

Yeginbayeva Aigul — concept development, methodology development, conducting analysis
Saparov Kuat — preparing and editing the text
Sergeyeva Aigul – validation, conducting analysis
Abdullina Akzhunus – visualization, supervision
Zhensikbayeva Nazgul – conducting research, resources
Keikin Yernar – software, project administration

УДК 502.330.15:502.63(2) **МРНТИ 68.31.26**

ОЦЕНКА АГРОБИОЛОГИЧЕСКИХ РЕСУРСОВ ЛАНДШАФТОВ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ТУРКЕСТАНСКОЙ ОБЛАСТИ РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН В УСЛОВИЯХ ИЗМЕНЯЮЩЕГОСЯ КЛИМАТА

Ж.С. Мустафаев[1] *д.т.н., профессор*, **И.Б. Скоринцева[1]** *д.г.н.*, **А.Н. Омаров[1]**, **А.Б. Тулетаев[2]**

[1] АО «Институт географии и водной безопасности», Алматы, Казахстан
[2] Казахский национальный университет им. аль-Фараби, Алматы, Казахстан
Email: omaraidos@inbox.ru

В статье представлены результаты оценки агробиологических ресурсов ландшафтов сельскохозяйственного использования Туркестанской области в условиях изменяющегося климата, которые основывались на разработанной концепции эталонных урожаев Х.Г. Тооминга. Для разработки алгоритма оценки агробиологических ресурсов области была создана климатическая база исследования за 1941…2020 годы по 18 метеорологическим станциям расположенных в различных природных зонах, что позволило определить особенности формирования различных категорий урожайности сельскохозяйственных угодий, обусловленных изменением климата. Полученные результаты исследования по состоянию агробиологических ресурсов ландшафтов области по потенциальной продуктивности сельскохозяйственных угодий, по приходу фотосинтетически активной радиации (ФАР) с использованием концепции эталонных урожаев в пространственно-временных масштабах показали, что наблюдается устойчивый тренд на повышение потенциальной продуктивности сельскохозяйственных угодий по приходу фотосинтетически активной радиации, климатической потенциально-возможной продуктивности и снижение потенциальной продуктивности сельскохозяйственных угодий – максимально-возможной, действительно-максимально-возможной, действительно-возможной, возможной и производственно-хозяйственной во всех природных (ландшафтных) зонах области.
Ключевые слова: ландшафт, агробиологические ресурсы, категория урожая, методика, алгоритм, климатические показатели, оценка.

Поступила:27.05.24
DOI: 10.54668/2789-6323-2024-113-2-113-127

ВВЕДЕНИЕ

Агробиологические ресурсы ландшафтов сельскохозяйственного использования, являющимися базисом продуцирования биомассы растительного покрова, направлены на удовлетворение жизненных потребностей человека и животного мира. Эту важную задачу для человека и животного мира выполняют климатические и почвенные ресурсы ландшафтов, являющиеся отражением в совокупности биологических законов, то есть закона единства организма и среды (Вернадский В.И., 1965).

Биологическая ценность почвенных ресурсов характеризуется через функциональную деятельность почвенного покрова, обеспечивающего развитие растительных организмов, и является основой деятельности сельскохозяйственного производства, определяется показателями плодородия почв (запасами гумуса и элементов минерального питания, а также гидролитической кислотностью).

Природная ценность климатических ресурсов, включающая в себя солнечную энергию, обусловлена способностью растений к фотосинтезу и почвообразовательному процессу, обеспечивающему производство биомассы, является ресурсо-поддерживающим и средообразующим компонентом природной системы. При этом природная (ландшафтная) среда, характеризуется особенностями формирования климатических и почвенных ресурсов, выполняющих важные средообразующие функции (Mustafayev Zh. and et al., 2023), требует всесторонней оценки для стабилизации окружающей среды жизни человека и восстановления биологических

ресурсов в условиях изменения климата (Mustafayev Zh., Tuletayev A, Kuderin A, 2023).

Целью данного исследования являлось оценка агробиологических ресурсов ландшафтов сельскохозяйственного использования Туркестанской области в условиях изменения климата.

Оценка агробиологических ресурсов, которая базируется на концепции эталонных урожаев сельскохозяйственных культур (Тооминг Х.Г., 1977, 1984) является направлением, где сформирован новый метод (Жуков В.А., 1998) в оценке агроклиматических ресурсов – создание комплекса моделей распознания образов «климат-урожай, которые позволяют вести учет агроклиматических ресурсов территории путем определения степени риска и потери урожайности конкретной культуры из-за неблагоприятных условий погоды». Разработанные математические модели (Полевой А.Н., Флоря Л.В., 2015), позволяющие определить различные агроэкологические категории урожайности сельскохозяйственных культур в различных элементах рельефа, формирующихся под влиянием почвенно-климатических условий. Предложена прикладная модель (Мустафаев Ж.С., Козыкеева А.Т., Жидекулова Г.Е., 2017) формирования продуктивности сельскохозяйственных культур с целью управления и регулирования основных факторов их жизнедеятельности, связанных с агроклиматическими и почвенными ресурсами, а также почвенно-мелиоративными процессами в гидро-агроландшафтных системах.

Изучение влияния климатических факторов (Howden, S. M. and Meinke, H., 2003) на агробиологические ресурсы ландшафтов сельскохозяйственного использования, где разработаны и приведены результаты анализов, показывающие влияние изменения климата на продуктивность сельскохозяйственных культур в Австралии. Следует отметить исследования, где показано влияние изменения климата на расширения границ системы тройного земледелия (TCS) (Hui J. and et al., 2008) на 200…300 км и биологической продуктивности сельскохозяйственных культур от долины р. Янцзы до бассейна р. Хуанхэ. Обоснована взаимосвязь (Kang Y., Khan S., Ma X., 2009) между урожайностью сельскохозяйственных культур и всеми климатическими показателями в сочетании с моделью SLR в Акуре, штат Онда Нигерия. Дан анализ, как изменение климата потенциально влияет на биологическую продуктивность сельскохозяйственных культур (J. Gornall, and et al., 2023) с использованием климатических моделей. Отражены возможные последствия изменения климата для водопотребности и продуктивности сельскохозяйственных культур в Саудовской Аравии (Chowdhury S, Al-Zahrani M, Abbas A., 2013) и Африке (Enete A.A., Amusa T.A., 2010).

Создана модель «погода-урожай» для оценки агробиологических ресурсов ландшафтов сельскохозяйственного использования (Shawcroft, R.W., 1974), где разработана модель «почва-растение-атмосфера» (SPAM) на основе различных подмоделей, изображающих почвенно-растительные и климатические взаимодействия. Создан блок базовой математической модели «погода-урожай» (Дмитренко В.П., 1976), включающий показатели – хозяйственного потенциала, тренда урожайности и гидрометеорологических показателей для комплексной оценки влагообеспеченности сельскохозяйственных культур, а так же предложена (Baier W., 1979) математическая модель «погода-урожай», состоящих из трех групп подмоделей: механический стимулятор роста сельскохозяйственных культур, статистический анализ погод-ных условий и модель доходности с множественной регрессией. Представлена математическая модель имитационной системы «климат-почва-урожай» (Сиротенко О.Д., 1981), как инструмент исследования коэволюции климата и агроэкосистем. Исследователями для прогнозирования урожайности сельскохозяйственных уго-дий в Индии (Kandiannan K. and et al., 2002), на основе многолетних временных рядов метеорологических данных и данных урожайности угодий разработана множественная регрессионная модель с коэффициентом детерминации 0,89.

На основе эволюционной тенденции в методологиях математического моделирования системы «климат-почва-урожай» и оценки биологической продуктивности сельскохозяйственных культур в условиях изменения климата как в Индии, так и за рубежом

исследователи (Kirtti R. P., Phanindra G., 2018) констатируют, что трудно разработать идеальную специфическую модель для оценки агробиологических ресурсов ландшафтов сельскохозяйственного использования связанную с использованием климатических показателей.

Одним из фундаментальных направление по оценке агробиологических ресурсов ландшафтов используемых под сельскохозяйственное производство является направление, развиваемое в работах В.И. Филина (2005, 2014), Трубилина А.И., Петрика Г.Ф., Прущникова А.Г. (2017), И.Н. Романова, С.М. Князева (2019), Т. Н. Троян, С. А. Терещенко (2023), О.З. Арова, Л.А. Шевхужева (2023), связанное с оценкой продуктивности земель в рамках прогнозирования потенциального, действительно возможного и хозяйственного урожая сельскохозяйственных культур. На основе развития концепции максимальной продуктивности сельскохозяйственных культур В.А. Духовный, С.А. Нерозин, Г.В. Стулина, Г.Ф. Солодкий (2015), разработали основные уровни продуктивности земель: максимально возможный, потенциальный, действительно возможный, хозяйственный и реальный урожай, учитывающие агроклиматические ресурсы и производственные риски.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Для изучения и оценки агробиологических ресурсов ландшафтов сельскохозяйственного использования Туркестанской области создана база исследований климатических ресурсов на основе многолетних данных РГП «Казгидромет», Всемирной Метеорологической Организации (ВМО) и справочно-информационного портала «Погода и климат». Для изучения и оценки почвенных ресурсов использованы данные мониторинга земель и лабораторных исследований Департамента земельного кадастра по Туркестанской области, охатывающиеся 1996...2020 годы.

Теоретической основой оценки агробиологических ресурсов ландшафтов сельскохозяйственного использования, является метод эталонных урожаев, разработанный Х.Г. Тоомингом являющийся логическим выходом принципа максимальной продуктивности и предложенный Ж.С. Мустафаевым в рамках определенной категориально-понятийной структуры вокруг понятия «продуктивность», разработаны следующие категории продуктивности сельскохозяйственных угодий:

– потенциальная продуктивность ландшафтов сельскохозяйственного использования ($PPAL_i$, ц/га) определяется по формуле (1) (Ничипорович А.А. и др., 1961):

$$(PPAL_i) = \alpha \cdot R \cdot 10^8 / 4{,}19 \cdot C_i \cdot 100, \quad (1)$$

где R_i – радиационный баланс деятельной поверхности приземного слоя воздуха и почвы, кДж/см^2; α – коэффициент использования свободной энергии: $\alpha = K_{ФАР}/100$; $K_{ФАР}$ – коэффициент использования активной фотосинтетической радиации (ФАР) растениями сельскохозяйственных угодий, равен 1,0 %; 100 – для учета процента усвоения ФАР; С – калорийность единицы урожая органического вещества в ландшафтах, равная 4100 ккал/кг; 4,19 – перевод ккал/кг на кДж/кг; 100 – перевод данных в ц/га;

– климатическая потенциально-возможная продуктивность (CPP_i, ц/га), которая будет ограничена влиянием одного из неуправляемых факторов природной системы, температурного режима почвенного и растительного покрова, определяется по разработанной формуле (2):

$$CPP = PPALi \cdot FT, \quad (2)$$

где FT – функция влияния температурного режима;

– максимально-возможная продуктивность (MPP_i, ц/га), при условии лимитирования затрат энергии на почвообразовательный процесс, определяется по формуле (3):

$$MPP = CPP \cdot FW_Q, \quad (3)$$

где FW_Q – функция влияния затраты энергии на почвообразование и продуктивность сельскохозяйственных угодий: $FW_Q = \{\exp[-(1-F_Q)]\}$, здесь F_Q – функция потенциально-возможного использования радиационного баланса: $F_Q = [\exp(-\alpha \cdot \overline{R}_i)]/[\exp(-\alpha)]$; α – показатель полноты использования радиационной энергии в почвообразовательных

процессах, численно равный 0,47; $\overline{R}_i$ – «радиационный индекс сухости» или комплексный гидротермический показатель;

– действительно-максимально-возможная продуктивность *(RMPP$_i$, ц/а)* в ландшафтах сельскохозяйственного использования, при условии лимитирования агрометеорологическими условиями увлажнения почвенного и растительного покрова, определяется по формуле (4):

$$RMPP=MPP\cdot FW, \quad (4)$$

где FW – функция воздействия условий увлажнения на продуктивность посевов (влажностный коэффициент), безразмерная: $FW=1-[1-(E_i/E_{opt})]^2$; E_i – суммарное водопотребление сельскохозяйственных угодий; E_{opt} – оптимально суммарное водопотребление сельскохозяйственных угодий;

– действительно-возможная продуктивность (*RPP$_i$, ц/га*), в ландшафтах сельскохозяйственного использования ограничивается степенями засоления почвы и определяется по формуле (5):

$$RPP=RMPP\cdot exp[-k(S_н/S_{доп}-1)^b], \quad (5)$$

где $S_н$ – содержания солей в почве; $S_{доп}$ – предельно-допустимый уровень засоления почвы, обеспечивающий максимально-возможную продуктивность ландшафтов, используемых под сельскохозяйственные угодья; k – параметр, характеризующий отзывчивость растений к токсичным солям; b – параметр, характеризующий тип засоления почвы;

– возможная продуктивность (VP_i, ц/га) в ландшафтах сельскохозяйственного освоения ограничивается уровнем естественного плодородия почвы и применением минеральных удобрений, определяется по формуле (6):

$$VP=RPP\cdot FW_{Gum}\cdot FW_{\varepsilon f}, \quad (6)$$

где FW_{Gum} – функция влияния содержания гумуса в почве на продуктивность ландшафтов: $FW_{Gum}=\{\cdot\exp[-(1-F_{Gum})]\}$; F_{Gum} – отношение содержания гумуса в почве к величине оптимальной для выращивания сельскохозяйственной культуры, выраженная в относительных единицах: $F_{Gum}=G_m/G_{opt}$, где G_m – содержание гумуса в почве, %; G_{opt} – содержание гумуса в почве, которое обеспечивает высокий уровень урожайности сельскохозяйственных культур в зависимости от типа почв, %; $FW_{\varepsilon f}=\{\exp[-(1-F_{NKP})]\}$ – обобщенная функция эффективности внесения минеральных удобрений на сельскохозяйственных угодьях, рассчитывается по принципу Ю. Либиха (Водные ресурсы России и их использование, 2008), то есть по закону минимума в виде уравнения: $FW_{\varepsilon f}=\min[FW_N,FW_P,FW_K]$; F_{NKP} - отношение содержания минеральных удобрений в почве к величине оптимальной для выращивания сельскохозяйственной культуры, выраженных в относительных единицах;

– производственно-хозяйственная продуктивность сельскохозяйственных угодий (PEP_i, ц/га) в различных ландшафтах сельскохозяйственного использования ограничивается реально существующим уровнем технологического риска, присущего организационно-хозяйственной деятельности и определяется по формуле (7):

$$PEP=VP\cdot CTR, \quad (7)$$

где CTR – коэффициент, характеризующий уровень технологического риска, присущий организационно-хозяйственной деятельности; PEP – производственно-хозяйственная продуктивность сельскохозяйственных угодий, ц/га (> 50,0 – очень высокая (7 баллов); 49,0…41,0 – высокая (6 баллов); 40,0…32,0 – повышенная (5 баллов); 31,0…23,0 – выше средней (4 балла); 23,0…15,0 – средняя (3 балла); 14,0…6,0 – низкая (2 балла); < 6,0 – очень низкая (1 балл).

При выполнении расчетов продуктивности сельскохозяйственных угодий в ландшафтах сельскохозяйственного использования Туркестанской области приняты следующие условия: если значения функциии влияния температурного режима (FT_i) или коэффициента теплообеспеченности (K_{ti}), больше 1,0 в расчетах принимается 1,0; F_{Si} – значение функции оптимальности содержания солей в почве сельскохозяйственных угодий, приняты следующие показатели: для горной (низкогорье и среднегорья) зоны – 1,0; горной (предгорья) полупустынной зоны – 0,95; пустынной горной (предгорья) зоны 0,85 и пустынной равнинной (низменной и возвышенной) зоны – 0,75.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЯ

Агробиологические ресурсы (АБР) агроресурсного потенциала (АРП) ландшафтов сельскохозяйственного использования, совместно с агроклиматическими (АКР) и почвенно-земельными ресурсами (ПЗР), выполняют средообразующую или экологическую функцию в природной системе, обеспечивают формирование продукции растительного покрова, что является важнейшим свойством природы, заключающимся в синтезе органических веществ. Эти функции агроресурсного потенциал, определяют природную ценность агробиологических ресурсов и научно-практическую целесообразность их нормирования, для выявления условий роста и развития, обеспечивающих формирование продукционного потенциала (урожайности) растительного покрова сельскохозяйственных угодий в различных ландшафтах сельскохозяйственного использования, как в естественных условиях, так и в условиях агроценозов.

В рамках нормирования продукционного потенциала (урожайности) растительного покрова ландшафтов сельскохозяйственного использования (сельскохозяйственных угодий) Туркестанской области определены: потенциальная продуктивность ($PPAL_i$), климатическая потенциально-возможная продуктивность (CPP_i), максимально-возможная продуктивность (MPP_i), действительно-максимально-возможная продуктивность ($RMPP_i$), действительно- возможная продуктивность (RPP_i), возможная продуктивность (VP_i) и производственно-хозяйственная продуктивность сельскохозяйственных угодий (PEP_i), с использованием метеорологических и агрохимических показателей.

Для выявления изменений в продуктивности сельскохозяйственных угодий ландшафтов сельскохозяйственного использования Туркестанской области за 1941…2020 гг. выполнен сравнительный анализ с базовыми периодами за 1941…1960 и 2001…2020 годы на основе климатических показателей по 18 метеорологическим станциям, расположенных в различных природных зонах. Фрагмент расчетов по оценке агробиологических ресурсов ландшафтов сельскохозяйственного использования области представлен в таблице 1.

Таблица 1

Фрагмент оценки агробиологических ресурсов ландшафтов сельскохозяйственного использования (сельскохозяйственных угодий) Туркестанской области (по данным метеорологических станций)

Период наблюдений	Метеорологические станции					
	Шуылдак	Тасарык	Ащисай	им. Т. Рыскулова	Шымкент	Казыгурт
1	2	3	4	5	6	7
Информационно-аналитическая база исследования						
Сумма биологически активных температур выше 10°С ($\sum t_{ci}C^o$)						
Среднее 1941...1960	3172,2	3461,3	3877,3	4054,0	4179,5	3977,6
Среднее 2001...2020	2281,3	3594,9	4009,3	4163,8	4454,2	4435,8
Разница средних	-890,9	133,6	131,7	109,8	274,7	458,2
Радиационный баланс за биологически активный период года (R_i), кДж/см^2						
Среднее 1941...1960	161,0	170,5	184,3	190,2	194,3	187,6
Среднее 2001...2020	131,5	175,0	190,7	193,8	203,4	202,8
Разница средних	-29,5	4,5	6,4	3,6	9,1	15,2
Суммарная испаряемость за биологически активный период года (CE_{oi}), мм						
Среднее 1941...1960	911,0	993,0	1385,0	1405,0	1359,0	1280,0
Среднее 2001...2020	707,0	1114,0	1403,0	1438,0	1526,0	1553,0
Разница средних	-204,0	121,0	46,0	33,0	167,0	273,0
Суммарное водопотребление сельскохозяйственных угодий (ET_{ci}), мм						
Среднее 1941...1960	644,0	682,0	737,0	761,0	777,0	750,0
Среднее 2001...2020	526,0	700,0	763,0	775,0	814,0	811,0
Разница средних	-118,0	18,0	26,0	14,0	37,0	61,0

Период наблюдений	Метеорологические станции					
	Шуылдак	Тасарык	Ащисай	им. Т. Рыскулова	Шымкент	Казыгурт
1	2	3	4	5	6	7
Информационно-аналитическая база исследования						
Годовые атмосферные осадки ($О_{ci}$), мм						
Среднее 1941...1960	602,0	816,0	500,0	855,0	640,0	517,0
Среднее 2001...2020	601,0	754,0	552,0	786,0	615,0	524,0
Разница средних	-0,1	-62,0	52,0	-69,0	-25,0	7,0
Оценка агробиологических ресурсов ландшафтов сельскохозяйственного использования						
Коэффициент теплообеспеченности (K_{ti})						
Среднее 1941...1960	0,93	1,02	1,14	1,19	1,23	1,17
Среднее 2001...2020	0,68	1,06	1,2	1,22	1,31	1,3
Разница средних	-0,25	0,04	0,06	0,03	0,08	0,13
Коэффициент естественного увлажнения Н.Н. Иванова ($К_{yi}$)						
Среднее 1941...1960	0,66	0,82	0,37	0,61	0,47	0,40
Среднее 2001...2020	0,85	0,68	0,39	0,55	0,40	0,34
Разница средних	0,19	-0,14	0,02	-0,06	-0,07	-0,06
Радиационный индекс сухости М.И. Будыко ($\overline{R_i}$)						
Среднее 1941...1960	1,07	0,84	1,47	0,89	1,21	1,45
Среднее 2001...2020	0,88	0,93	1,38	0,99	1,32	1,55
Разница средних	-0,19	0,09	-0,09	0,1	0,11	0,1
Потенциальная продуктивность сельскохозяйственных угодий по приходу фотосинтетически активной радиации (ФАР) ($PPAL_i$), ц/га						
Среднее 1941...1960	93,7	99,2	107,3	110,7	113,1	109,2
Среднее 2001...2020	76,5	101,9	111,0	112,8	118,4	118,0
Разница средних	-17,2	2,7	3,7	2,1	5,3	8,8
Климатическая потенциально-возможная продуктивность (CPP_i)						
Среднее 1941...1960	87,1	99,2	107,3	110,7	113,1	109,2
Среднее 2001...2020	52,0	101,9	111	112,8	118,4	118,0
Разница средних	-35,1	2,7	3,7	2,1	5,3	8,8
Функция влияния затраты энергии на почвообразование и на продуктивность сельскохозяйственных угодий (FW_{Qi})						
Среднее 1941...1960	0,97	1,083	0,820	0,763	0,919	0,811
Среднее 2001...2020	1,06	1,03	0,847	0,756	0,870	0,811
Разница средних	0,09	-0,053	0,27	-0,007	-0,049	0
Максимально-возможная продуктивность сельскохозяйственных угодий (MPP_i)						
Среднее 1941...1960	84,5	107,5	88,0	84,5	103,9	88,5
Среднее 2001...2020	81,1	105	93,2	85,3	103,0	95,6
Разница средних	-3,4	-2,5	5,2	0,8	-0,9	7,1
Функция воздействия условий увлажнения на продуктивность сельскохозяйственных угодий (влажностный коэффициент) (FW_i) или коэффициент влагообеспеченности сельскохозяйственных угодий (K_{vi})						
Среднее 1941...1960	0,88	0,97	0,60	0,85	0,72	0,64
Среднее 2001...2020	0,98	0,9	0,63	0,8	0,64	0,56
Разница средних	0,10	-0,07	0,03	-0,05	-0,08	-0,08
Действительно-максимально-возможная продуктивность сельскохозяйственных угодий ($RMPP_i$)						
Среднее 1941...1960	74,4	104,2	52,8	71,8	74,8	56,7
Среднее 2001...2020	79,5	94,5	58,7	68,2	65,9	53,6
Разница средних	5,1	-9,7	5,9	-3,6	-8,9	-3,1

Период наблюдений	Метеорологические станции					
	Шуылдак	Тасарык	Ащисай	им. Т. Рыскулова	Шымкент	Казыгурт
1	2	3	4	5	6	7
Информационно-аналитическая база исследования						
Действительно-возможная продуктивность сельскохозяйственных угодий (RPP_i)						
Среднее 1941...1960	76,6	104,2	50,2	68,2	71,1	48,2
Среднее 2001...2020	51,0	94,5	55,8	64,8	62,9	45,5
Разница средних	25,6	-9,7	5,6	-3,4	-8,2	-2,7
Возможная продуктивность сельскохозяйственных угодий (VP_i)						
Среднее 1941...1960	76,6	104,2	47,7	64,8	67,5,0	40,9
Среднее 2001...2020	51,0	94,5	53,0	61,6	59,8	38,7
Разница средних	25,6	-9,7	5,3	-3,2	-7,7	-2,2
Производственно-хозяйственная продуктивность сельскохозяйственных угодий (PEP_i)						
Среднее 1941...1960	76,6	104,2	45,3	61,6	64,1	34,8
Среднее 2001...2020	51,0	94,5	50,3	58,5	56,8	32,9
Разница средних	25,6	-9,7	5,0	-3,1	-7,3	-1,9

Для оценки изменения агробиологических ресурсов в ландшафтах сельскохозяйственного использования Туркестанской области использованы методы прогнозирования изменчивости и тренда эталонных урожаев в пространственно-временном масштабе разработанные на основе концепции Х.Г. Тооминга, которые являются логическим выходом принципа максимальной продуктивности посевов, основанного на функциях потенциально-возможного использования радиационного баланса, влияние затрат энергии на почвообразование и продуктивность сельскохозяйственных угодий, воздействие условий увлажнения на продуктивность сельскохозяйственных угодий (коэффициент влагообеспеченности сельскохозяйственных угодий). Проведенная оценка показала, что:

– в горной (низкогорье и среднегорье) зоне, в районах расположения метеостанций Шуылдак и Тасарык, за 1941...2020 гг., потенциальная продуктивность сельскохозяйственных угодий увеличилась по – приходу фотосинтетически активной радиации от 99,2 до 101,9 ц/га, климатической потенциально-возможной продуктивности от 99,2 до 101,9 ц/га. Наблюдается уменьшение продуктивности сельскохозяйственных угодий по – максимально-возможной продуктивности от 107,5 до 105,0 ц/га, действительно-максимально-возможной от 104,2 до 94,5 ц/га, действительно-возможной от 104,2 до 94,5 ц/га, возможной 104,2 до 94,5 ц/га и производственно-хозяйственной от 104,2 до 94,5 ц/га, данные показатели указывают на очень высокую продуктивность сельскохозяйственных угодий на территории ландшафтов данной зоны, хотя за данный период наблюдалось уменьшение по некоторым видам продуктивности;

– в горной (низкогорье и среднегорье) зоне, в районах расположения метеорологических станций Ащысай и Т. Рыскулова, охватывающей части территорий района Т. Рыскулова и г.а. Кентау за 1941...2020 гг. потенциальная продуктивность сельскохозяйственных угодий увеличилась по – приходу фотосинтетически активной радиации (ФАР) от 107,3 до 112,8 ц/га, климатической потенциально-возможной продуктивности от 107,3 ц/га до 112,8 ц/га. За данный период в данной зоне наблюдается уменьшение потенциальной продуктивности сельскохозяйственных угодий по – максимально-возможной от 88,0 до 93,2 ц/га, действительно-максимально-возможной от 71,8 до 68,2 ц/га, действительно-возможной от 68,2 до 64,8 ц/га, возможной от 64,8 до 61,6 ц/га и производственно-хозяйственной от 61,6 до 58,5 ц/га, не смотря на уменьшение потенциальной продуктивности сельскохозяйственных угодий в данной зоне остается высокий уровень продуктивности низкогорных и среднегорных ландшафтов;

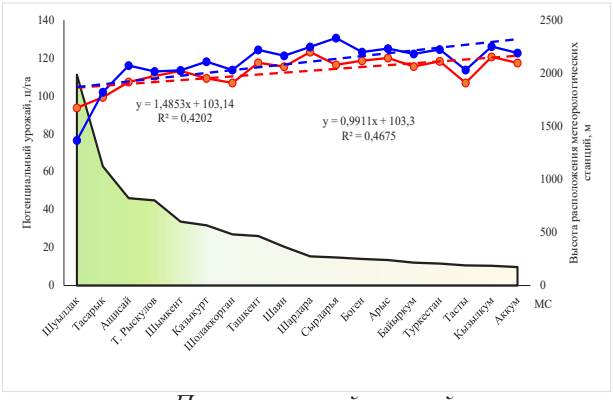
– в горной (предгорье) полупустынной зоне (метеорологические станции Шымкент и Казыгурт), охватывающей территории Сайрамского и Казыгуртского районов за 1941...2020 гг. потенциальная продуктивность сельскохозяйственных угодий увеличилась по – приходу фотосинтетически активной радиации от 113,1 до 118,4 ц/га, климатической потенциально-возможной продуктивности от 109,2 до 118,4 ц/га, максимально-возможной от 88,5 ц/га до 95,6 ц/га. Наблюдается уменьшение продуктивности сельскохозяйственных угодий по – действительно-максимально-возможной от 74,8 до 65,9 ц/га, действительно-возможной от 71,1 до 62,9 ц/га, возможной от 67,5 до 59,8 ц/га и производственно-хозяйственной от 64,1 до 56,8 ц/га, согласно шкале уровня продуктивности сельскохозяйственных угодий данная территория входит в зону повышенной продуктивности;

– в пустынной горной (предгорье) и равнинной (низменной и возвышенной) зонах, (метеорологические станции Шолаккорган, Ташкент, Сырдария, Шаян, Шардара, Боген, Арыс, Байыркум, Туркестан, Тасты, Кызылкум и Аккум) охватывающих территории Махтааральского, Жетысайского, Сарыагашского, Келесского, Отырарского, Ордабасынского, им. Байдибека, Шардаринского, Созакского районов и г.а. Арыс и Кентау за 1941...2020 гг. в целом потенциальная продуктивность сельскохозяйственных угодий изменялась по – приходу фотосинтетически активной радиации от 106,8 до 126,5 ц/га, климатической потенциально-возможной продуктивности от 106,8 до 126,5 ц/га, максимально-возможной от 20,2 до 113,7 ц/га, действительно-максимально-возможной от 3,04 до 53,4 ц/га, действительно-возможной от 2,28 до 43,6 ц/га, возможной от 1,71 до 32,7 ц/га и производственно-хозяйственной от 1,28 до 24,5 ц/га. В данной зоне наблюдается низкий уровень продуктивности сельскохозяйственных угодий.

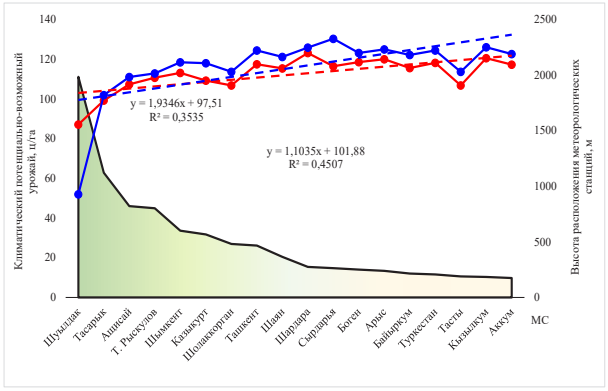
Для выявления зависимости продуктивности ландшафтов сельскохозяйственного использования от агроклиматических условий природных зон построены совместные графики, характеризующие высоту расположения метеорологических станции влияющих на формирование потенциальной ($PPAL_i$) и климатической (CPP_i) продуктивности сельскохозяйственных угодий (рисунок 1).

Особенности природных условий Туркестанской области наложили определенный отпечаток на формирование агробиологических ресурсов в природных зонах. Влияние изменения климата на продуктивность ландшафтов сельскохозяйственного использования области выявляется практически для всех категорий урожая сельскохозяйственных угодий в пространственно-временных масштабах, что определяет научную и практическую целесообразность районирования природной системы по агробиологическим ресурсам, в рамках которых открывается возможность для оценки пригодности территории для развития сельскохозяйственной деятельности.

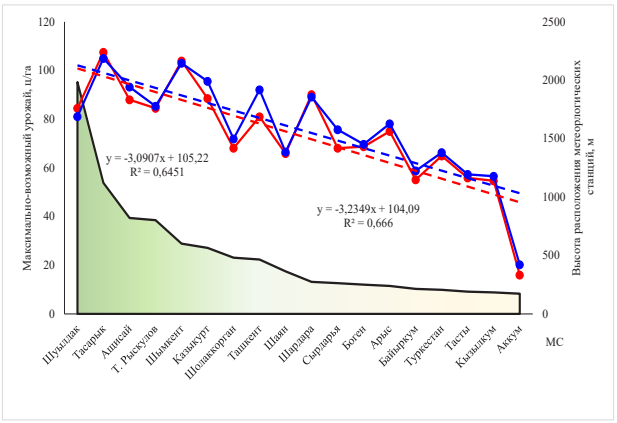
На основе проведенной оценки создана карта производственно-хозяйственной продуктивности ландшафтов сельскохозяйственного использования Туркестанской области (рисунок 2).



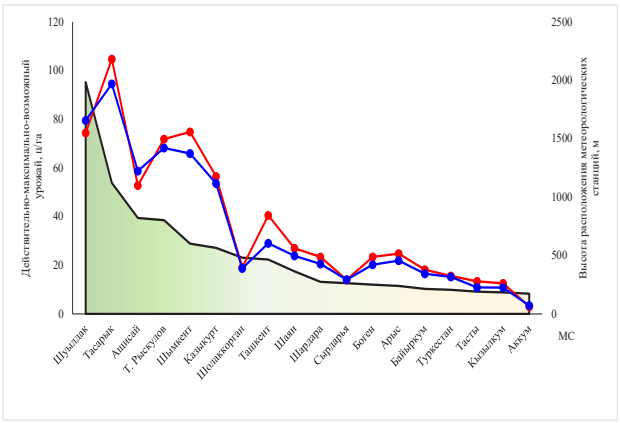
Потенциальный урожай



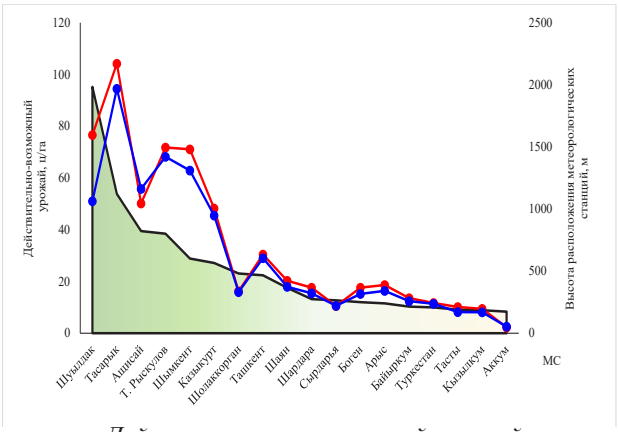
Климатический потенциально-возможный урожай



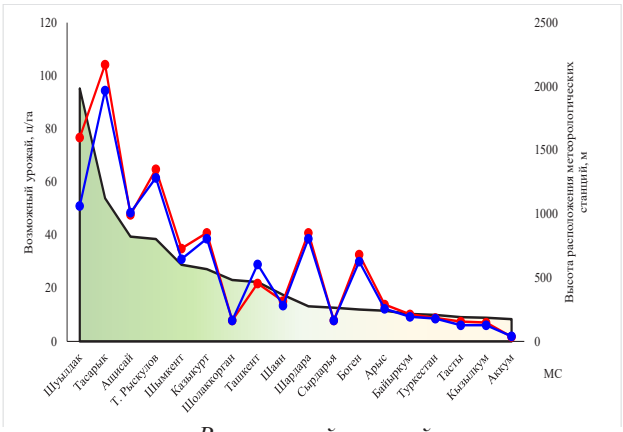
Максимально-возможный урожай



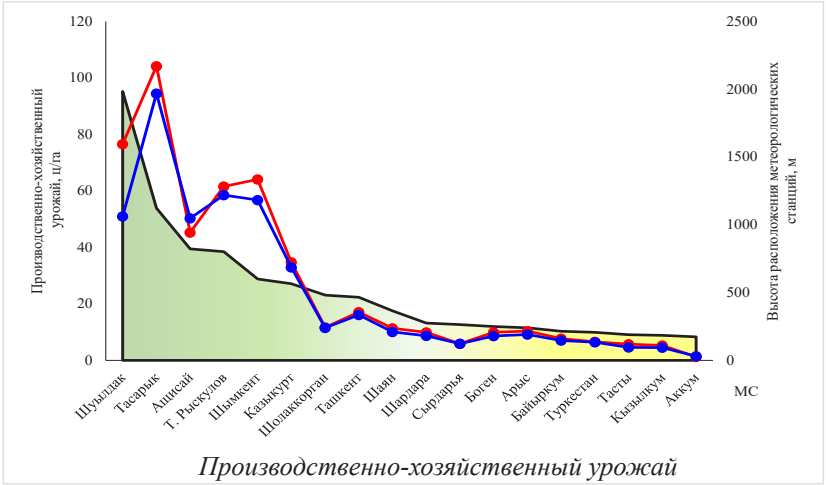
Действительно-максимально-возможный урожай



Действительно-возможный урожай



Возможный урожай



Производственно-хозяйственный урожай

Рис. 1. *– График изменения урожайности агробиологических ресурсов ландшафтов сельскохозяйственного использования (сельскохозяйственных угодий) Туркестанской области по метеорологическим станциям (1 – высота расположения метеорологических станций, м; 2 – урожай в 1941...1960 гг., ц/га; 3 – урожай в 2001...2020 гг., ц/га)*

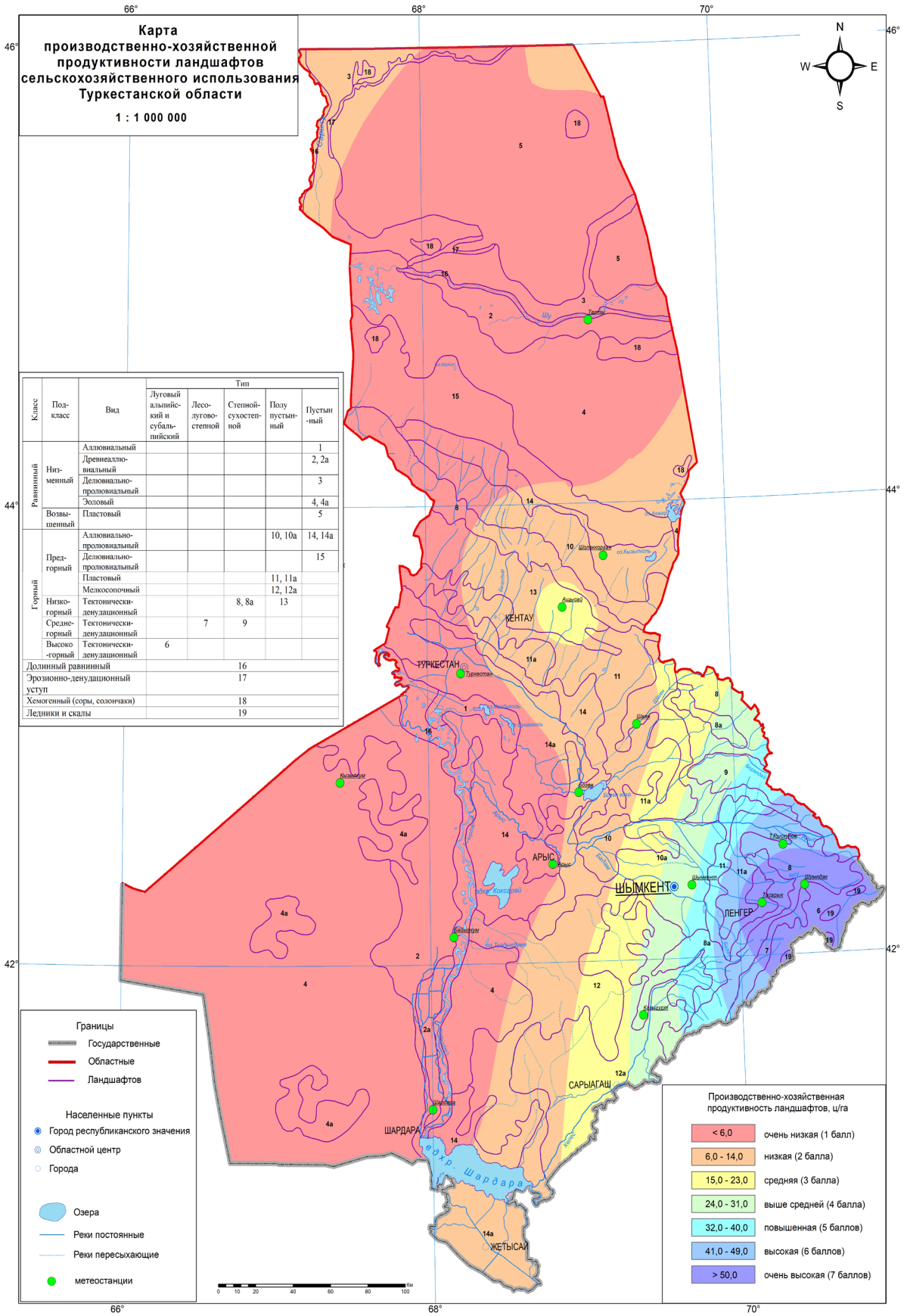


Рис. 2. *- Карта производственно-хозяйственной продуктивности ландшафтов сельскохозяйственного использования Туркестанской области*

Следует отметить, что агробиологические ресурсы в ландшафтах сельскохозяйственного использования Туркестанской области формируются под воздействием высоких энергетических ресурсов (суммы биологически активных температур выше 10 °С, радиационного баланса дневной поверхности, суммарной испаряемости почвенного и растительного покрова, относительно небольшого количества годовых атмосферных осадков, низкой естественной влагообеспеченности), что способствовали формированию в пределах 70 % территории региона достаточно низкой продуктивности сельскохозяйственных угодий.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Предложенный методологический подход оценки агробиологических ресурсов ландшафтов используемых в сельскохозяйственном производстве, базируется на потенциальной продуктивности ($PPAL_i$), климатической потенциально-возможной продуктивности (CPP_i), максимально-возможной продуктивности (MPP_i), действительно-максимально-возможной продуктивности ($RMPP_i$), действительно-возможной продуктивности (RPP_i), возможной продуктивности (VP_i) и производственно-хозяйственной продуктивности (PEP_i) сельскохозяйственных угодий. В сравнении с существующими методами прогнозирования продуктивности сельскохозяйственных культур, данный подход учитывает все имеющие природные ресурсы и факторы жизнедеятельности растений, которые позволяют рассчитать количественные и качественные аспекты исследуемого процесса, получить ценную научную информацию, необходимую для территориальной организации сельскохозяйственного производства, как основного инструмента инновационного обеспечения, анализа, оценки, контроля и управления агроресурсного потенциала на основе адаптивно-ландшафтного земледелия.

В результате проведенной оценки агробиологических ресурсов ландшафтов сельскохозяйственного использования (продуктивности сельскохозяйственных угодий) Туркестанской области установлен устойчивый тренд на повышение потенциальной продуктивности сельскохозяйственных угодий по – приходу фотосинтетически активной радиации, климатической потенциально-возможной продуктивности во всех природных (ландшафтных) зонах области и снижение потенциальной продуктивности сельскохозяйственных угодий – максимально-возможной, действительно-максимально-возможной, действительно-возможной, возможной и производственно-хозяйственной.

Проведенная оценка агробиологических ресурсов ландшафтов сельскохозяйственного использования Туркестанской области в разрезе административных районов с учетом особенностей формирования ландшафтного разнообразия и использования многолетних информационно-аналитических материалов, позволила объективно оценить продуктивность сельскохозяйственных угодий, как применительно к фактическим условиям, так и к прогнозируемым сценариям, как инструмента научного, информационного и инновационного обеспечения, оценки и управления, осуществления контроля и прогноза агроресурсного потенциала региона.

Данное исследование выполнено в рамках Грантового финансирования Комитета науки Министерства науки и высшего образования Республики Казахстан (№AP14869663 «Разработать научно-прикладные основы ландшафтно-агроэкологического районирования Туркестанской области для целей сбалансированного землепользования») (2022-2024 годы).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Вернадский В.И. Химическое строение биосферы Земли и ее окружение. – М.: Наука, 1965.– 374 с.
2. Дмитренко В.П. Динамическая теория максимальной урожайности сельскохозяйственных культур // Труды УкрНИГМИ. – 1976. – Вып. 148. – С. 3–12.
3. Жуков В.А. Моделирование, оценка и рациональное использование агроклиматических ресурсов России: Автореф. диссерт. доктора географических наук. – М., 1998. – 54 с.
4. Мустафаев Ж.С., Козыкеева А.Т., Жидекулова Г.Е. Модель формирования продуктивности сельскохозяйственных культур в гидроагроландшафтных системах // Международный технико-экономический журнал. – 2017. – № 4. – С. 100–120. https://doi:10.37801/ajad2018.15.1.3
5. Ничипорович А.А., Строганова Л.Е., Чмора С.Н., Власова Н.П. Фотосинтетическая деятельность растения в посевах. – М., изд. АН СССР, 1961. – 160 с.
6. Полевой А.Н., Флоря Л.В. Моделирование агроклиматических ресурсов производительности урожая и формирования продуктивности сельскохозяйственных культур // Гидрометеорология и экология. – 2015.-31. – С. 36–49.

7. Сиротенко О.Д. Математическое моделирование водно-теплового режима и продуктивности агроэкосистем. – Ленинград: Гидрометеоиздат, 1981. – 167 с.
8. Тооминг Х.Г. Солнечная радиация и формирование урожая. – Л.: Гидрометеоиздат, 1977. – 197 с.
9. Тооминг Х.Г. Экологические принципы максимальной продуктивности посевов. - Л.: Гидрометеоиздат, 1984. – 264 с.
10. Baier, W. Note on the terminology of crop-weather models / W. Baier // Agriculture and food security. – 1979. – Vol. 2. – P. 137–145.
11. Chowdhury S, Al-Zahrani M, Abbas A (2013) Implications of climate change on crop water requirements in arid region: An example of Al-Jouf, Saudi Arabia // Journal of King Fahd University – Engineering Sciences 54(1), – P. 21–31. https://doi:10.1016/j.jksues.2013.11.001
12. Enete AA, Amusa TA (2010) Challenges of Agricultural Adaptation to Climate Change in Nigeria: A Synthesis from the Literature // Field Actions Science Reports, –Vol. 4.–P.1–11.
13.Gornall J, Betts R, Burke E, Clark R, Camp J, et al. (2010) Implications of climate change for agricultural productivity in the early twenty-first century. Philos Trans R Soc Lond B Biol Sci 365(554): – P. 2973–2989. https://doi:10.1098/rstb.2010.0158
14. Howden, S. M. and Meinke, H. (2003). Climate change: challenges and opportunities for Australian agriculture. In: Proceedings of the Conference on Climate Impacts on Australia's Natural Resources: Current and Future Challenges, Queensland, Australia, Canberra, – P.53–55.
15. Hui J. and et al. 2008. Impacts of Climate Change on Chinese Agriculture–Phase II Adaptation Framework and Strategy Part 2: Application of the Adaptation Framework: A Case Study of Ningxia, Northwest China. AEA Technology. – P. 56–69.
16. Kang Y, Khan S, Ma X (2009) Climate change impacts on crop yield, crop water productivity and food security - A review. Progress in Natural Science 19(12): – P. 1665–1674. https://doi:10.1016/j.pnsc.2009.08.001
17. Kandiannan K., Chandaragiri K. K., Sankaran N., Balasubramanian T. N., Kailasam C., Crop-weather model for turmeric yield forecasting for Coimbatoredistrict, Tamil Nadu, India // Agric. Forest Meteorol. 112 (2002), – P. 133–137. https://doi.org/10.1016/S0168-1923(02)00125-9
18. Kirtti R. P., Phanindra G. (2018). «Statistical Modeling of Crop-Weather Relationship in India: A Survey on Evolutionary Trend of Methodologies», Asian Journal of Agriculture and Development, Southeast Asian Regional Center for Graduate Study and Research in Agriculture (SEARCA), vol. 15(1), – P. 42-60. https://doi:10.37801/ajad2018.15.1.3
19. Mustafayev Zh., Skorintseva I., Toletayev A., Bassova T., & Aldazhanova G. (2023). Assessment of climate change in natural areas of the Turkestan region of the republic of Kazakhstan for the purposes of sustainable agricultural and recreational nature management // GeoJournal of Tourism and Geosites, 46(1), P. 70–77. https://doi.org/10.30892/gtg.46108-1002
20. Mustafayev Zh., Tuletayev A, Kuderin A. Assessment of thermal and natural moisture provision in territory of Turkestan region of the republic of Kazakhstan in changing climate conditions // Journal of Geography and Environmental Management 68(1). 2023. – №1 (68). – P. 74-84. https://doi:10.26577/JGEM.2023.v68.i1.06
21. Shawcroft, R.W. The soil - plant - atmosphere model and some of its predictions / R.W. Shawcroft, E.R. Lemon // Agric. Met. – 1974. – Vol. 14, No. 12. – P. 287–307.
22. Филин В.И. Теория программирование урожая в приложении к современному земледелию // Ученые записки агрономического факультета ВГСХА. – Волгоград: Изд–во ВГСХА, 2005. – С. 97–122.
23. Филин В.И. Программирование урожая: от идеи к теории и технологиям возделывания сельскохозяйственных культур // Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: наука и высшее профессиональное образование. – 2014. – № 3 (35) – С. 26–36.
24. Трубилин А.И., Петрик Г.Ф., Прущников А.Г. Прогнозирование урожайности сельскохозяйственных культур: учебное пособие. – Краснодар: КубГАУ, 2017. – 95 с.
25. Романова И.Н., Князева С.М. Основы программирования урожаев сельскохозяйственных культур: Рабочая тетрадь и методические указания для выполнения практических работ. – Смоленск: ФГБОУ ВО Смоленская ГСХА, 2019 – 87с.
26. Троян Т. Н., Терещенко С. А. Планирование урожаев сельскохозяйственных культур: учебно– методическое пособие по изучению дисциплины для студентов бакалавриата по направлению подготовки 35.03.04 Агрономия. – Калининград: Изд–во ФГБОУ ВО «КГТУ», 2023. – 40 с
27. Арова, О. З., Шевхужева Л.А. Программирование урожаев сельскохозяйственных культур: учебное пособие для обучающихся по направлению подготовки 35.03.04 Агрономия. – Черкесск: БИЦ СКГА, 2023. – 172 с.
28. Духовный В.А., Нерозин С.А., Стулина Г.В., Солодкий Г.Ф. Программирование урожая сельскохозяйственных культур (системный подход в приложении к мелиорации). – Ташкент: НИЦ МКВК. – 2015. –184 с.
29. Водные ресурсы России и их использование / Под ред. И.А. Шикломанова. СПб.: ГГИ, 2008. – 600 с.

REFERENCES

1. Vernadskii V.I. Khimicheskoe stroenie biosfery Zemli i ee okruzhenie. – M.: Nauka, 1965.– 374 p.
2. Dmitrenko V.P. Dinamicheskaya teoriya maksimal'noi urozhainosti sel'skokhozyaistvennykh kul'tur // Trudy UkrNIGMI. – 1976. – Vyp. 148. – P. 3–12.
3 Zhukov V.A. Modelirovanie, otsenka i ratsional'noe ispol'zovanie agroklimaticheskikh resursov Rossii: Avtoref. dissert. doktora geograficheskikh nauk. – M., 1998. – 54 p.
4. Mustafaev Zh.S., Kozykeeva A.T., Zhidekulova G.E. Model' formirovaniya produktivnosti sel'skokhozyaistvennykh kul'tur v gidroagrolandshaftnykh sistemakh // Mezhdunarodnyi tekhniko-ekonomicheskii zhurnal. – 2017. – № 4. – P. 100–120.
5. Nichiporovich A.A., Stroganova L.E., Chmora S.N., Vlasova N.P. Fotosinteticheskaya deyatel'nost' rasteniya v posevakh. – M., izd. AN SSSR, 1961. – 160 p.
6. Polevoi A.N., Florya L.V. Modelirovanie agroklimaticheskikh resursov proizvoditel'nosti urozhaya i formirovaniya produktivnosti sel'skokhozyaistvennykh kul'tur // Gidrometeorologiya i ekologiya. – 2015.-31. – P. 36–49.

7. Sirotenko O.D. Matematicheskoe modelirovanie vodno-teplovogo rezhima i produktivnosti agroekosistem. – Leningrad: Gidrometeoizdat, 1981. – 167 p.
8. Tooming Kh.G. Solnechnaya radiatsiya i formirovanie urozhaya. – L.: Gidrometeoizdat, 1977. – 197 p.
9. Tooming Kh.G. Ekologicheskie printsipy maksimal'noi produktivnosti posevov. – L.: Gidrometeoizdat, 1984. – 264 p.
10. Baier, W. Note on the terminology of crop-weather models / W. Baier // Agriculture and food security. – 1979. – Vol. 2. – P. 137–145.
11. Chowdhury S, Al-Zahrani M, Abbas A (2013) Implications of climate change on crop water requirements in arid region: An example of Al–Jouf, Saudi Arabia // Journal of King Fahd University – Engineering Sciences 54(1). – P. 21–31. https://doi:10.1016/j.jksues.2013.11.001
12. Enete AA, Amusa TA (2010) Challenges of Agricultural Adaptation to Climate Change in Nigeria: A Synthesis from the Literature // Field Actions Science Reports, –Vol. 4.– P. 1–11.
13. Gornall J, Betts R, Burke E, Clark R, Camp J, et al. (2010) Implications of climate change for agricultural productivity in the early twenty-first century. Philos Trans R Soc Lond B Biol Sci 365(554): – P. 2973-2989. https://doi:10.1098/rstb.2010.0158
14. Howden, S. M. and Meinke, H. (2003). Climate change: challenges and opportunities for Australian agriculture. In: Proceedings of the Conference on Climate Impacts on Australia's Natural Resources: Current and Future Challenges, Queensland, Australia, Canberra, – P. 53–55.
15. Hui J. and et al. 2008. Impacts of Climate Change on Chinese Agriculture–Phase II Adaptation Framework and Strategy Part 2: Application of the Adaptation Framework: A Case Study of Ningxia, Northwest China. AEA Technology. – P. 56–69.
16. Kang Y, Khan S, Ma X (2009) Climate change impacts on crop yield, crop water productivity and food security – A review. Progress in Natural Science 19(12): – P. 1665–1674. https://doi:10.1016/j.pnsc.2009.08.001
17. Kandiannan K., Chandaragiri K. K., Sankaran N., Balasubramanian T. N., Kailasam C., Crop–weather model for turmeric yield forecasting for Coimbatoredistrict, Tamil Nadu, India // Agric. Forest Meteorol. 112 (2002), – P. 133–137. https://doi.org/10.1016/S0168-1923(02)00125-9
18. Kirtti R. P., Phanindra G. (2018). «Statistical Modeling of Crop-Weather Relationship in India: A Survey on Evolutionary Trend of Methodologies», Asian Journal of Agriculture and Development, Southeast Asian Regional Center for Graduate Study and Research in Agriculture (SEARCA), vol. 15(1), – P. 42–60. https://doi:10.37801/ajad2018.15.1.3
19. Mustafayev Zh., Skorintseva I., Toletayev A., Bassova T., & Aldazhanova G. (2023). Assessment of climate change in natural areas of the Turkestan region of the republic of Kazakhstan for the purposes of sustainable agricultural and recreational nature management // GeoJournal of Tourism and Geosites, 46(1) – P. 70–77. https://doi.org/10.30892/gtg.46108-1002
20. Mustafayev Zh., Tuletayev A, Kuderin A. Assessment of thermal and natural moisture provision in territory of Turkestan region of the republic of Kazakhstan in changing climate conditions // Journal of Geography and Environmental Management 68(1). 2023. – №1 (68). – P. 74–84. https:// doi:10.26577/JGEM.2023.v68.i1.06
21. Shawcroft, R.W. The soil - plant – atmosphere model and some of its predictions / R.W. Shawcroft, E.R. Lemon // Agric. Met. – 1974. – Vol. 14, No. 12. – P. 287–307.
22. Filin V.I. The theory of crop programming as applied to modern agriculture // Scientific notes of the agronomic faculty of the VGSHA. – Volgograd: Publishing House of the All-Russian State Academy of Agricultural Sciences, 2005. – P. 97–122.
23. Filin V.I. Crop programming: from idea to theory and technologies for cultivating agricultural crops // News of the Nizhnevolzhsky Agro–University Complex: science and higher professional education. – 2014. – No. 3 (35) – p. 26–36.
24. Trubilin A.I., Petrik G.F., Prushchnikov A.G. Forecasting crop yields: a tutorial. – Krasnodar: KubGAU, 2017. – 95 p.
25. Romanova I.N., Knyazeva S.M. Basics of programming agricultural crops: Workbook and guidelines for performing practical work. – Smolensk Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education Smolensk State Agricultural Academy, 2019 – 87 p.
26. Troyan T. N., Tereshchenko S. A. Planning of agricultural crop yields: a teaching aid for studying the discipline for undergraduate students in the field of preparation 03/35/04 Agronomy. – Kaliningrad: Publishing house of the Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education "KSTU", 2023. – 40 p.
27. Arova, O. Z., Shevkhuzheva L.A. Programming of agricultural crop yields: a textbook for students in the field of training 03/35/04 Agronomy. – Cherkessk: BIC SKGA, 2023. – 172 p.
28. Dukhovny V.A., Nerozin S.A., Stulina G.V., Solodkiy G.F. Programming of crop yields (systematic approach as applied to land reclamation). – Tashkent: SIC ICWC. – 2015. –184 p.
29. Vodnye resursy Rossii i ikh ispol'zovanie / Pod red. I.A. Shiklomanova. SPb.: GGI, 2008. – 600 p.

КЛИМАТТЫҢ ӨЗГЕРУІ ЖАҒДАЙЫНДА ҚАЗАҚСТАН РЕСПУБЛИКАСЫ ТҮРКІСТАН ОБЛЫСЫНЫҢ АУЫЛ ШАРУАШЫЛЫҒЫН ПАЙДАЛАНУ ЛАНДШАФТТАРЫНЫҢ АГРОБИОЛОГИЯЛЫҚ РЕСУРСТАРЫН БАҒАЛАУ

Ж.С. Мустафаев[1] *т.ғ.д., профессор,* **И.Б. Скоринцева**[1] *г.ғ.д.,* **А.Н. Омаров**[1*,] **А.Б. Тулетаев**[2]

[1]*«География және су қауіпсіздігі институты» АҚ, Алматы, Қазақстан*
[2]*әл-Фараби атындағы Қазақ Ұлттық Университеті, Алматы, Қазақстан*
Email: omaraidos@inbox.ru

Мақалада Х.Г. Тоомингтің эталондық дақылдарының әзірленген тұжырымдамасына негізделген климаттың өзгеруі жағдайында Түркістан облысының ауыл шаруашылық пайдалану ландшафттарының агробиологиялық ресурстарын бағалау нәтижелері келтірілген. Облыстың агробиологиялық ресурстарын бағалау алгоритмін әзірлеу үшін 1941...2020 жылдары әртүрлі табиғи аймақтарда орналасқан 18 метеорологиялық бекет бойынша зерттеудің климаттық базасы құрылды, бұл климаттың өзгерісі мәнмәтінінде ауыл шаруашылық жерлерінің өнімділігінің әртүрлі санаттарының қалыптасу ерекшеліктерін анықтауға мүмкіндік берді. Облыс ландшафттарының агробиологиялық ресурстарының жай-күйі бойынша, ауыл шаруашылығы алқаптарының әлеуетті өнімділігі бойынша, кеңістіктік-уақыттық масштабта эталондық дақылдар тұжырымдамасын пайдалана отырып, фотосинтетикалық белсенді радиацияның (ФБР) келуі бойынша зерттеудің алынған нәтижелері - фотосинтетикалық белсенді радиацияның, климаттың ықтимал өнімділігінің және ауыл шаруашылық жерлерінің ықтимал өнімділігінің төмендеуі, облыстың барлық табиғи (ландшафтық) аймақтарында мүмкін болатын, іс жүзінде мүмкін болатын, мүмкін болатын және өндірістік-шаруашылық ауыл шаруашылығы алқаптарының әлеуетті өнімділігін арттыруға тұрақты тренд байқалғанын көрсетті.

Түйін сөздері: ландшафт, агробиологиялық ресурстар, егін санаты, әдістеме, алгоритм, климаттық көрсеткіштер, бағалау.

ASSESSMENT OF AGROBIOLOGICAL RESOURCES OF AGRICULTURAL LANDSCAPES IN THE TURKESTAN REGION OF THE REPUBLIC OF KAZAKHSTAN UNDER CHANGING CLIMATE CONDITIONS

Zh. Mustafayev[1] *Doctor of Technical Sciences, Professor*, **I. Skorintseva[1]** *Doctor of Geographical Sciences.*, **A. Omarov[1], A. Tuletayev[2]**

[1]JSC "Institute of Geography and Water Security", Almaty, Kazakhstan
[2]Al-Farabi Kazakh National University, Almaty, Kazakhstan
Email: omaraidos@inbox.ru

The article presents the results of assessment of agrobiological resources of landscapes of agricultural use of Turkestan region under conditions of changing climate, which were based on the developed concept of reference yields of H. Tooming. To develop an algorithm for assessing the agrobiological resources of the region, a climatic research base for 1941...2020 was created for 18 meteorological stations located in different natural zones, which made it possible to determine the peculiarities of the formation of different categories of agricultural yields due to climate change. The obtained results of the research on the state of agrobiological resources of landscapes of the region on potential productivity of agricultural lands, on photosynthetically active radiation (PAR) input using the concept of reference yields in spatial and temporal scales have shown that there is a stable trend to increase the potential productivity of agricultural lands on photosynthetically active radiation input, climatic potential-possible productivity and decrease the potential productivity of agricultural lands on - photosynthetically active radiation input, climatic potential-possible productivity and decrease the potential productivity of agricultural lands on - photosynthetically active radiation input.

Keywords: landscape, agrobiological resources, crop category, methodology, algorithm, climatic indicators, assessment.

Сведения об авторе /Автор туралы мәліметтер/Information about author:

Мустафаев Жумахан Сулейменович – профессор, доктор технических наук, главный научный сотрудник лаборатории ландшафтоведения и проблем природопользования АО «Институт географии и водной безопасности», Алматы, ул. Пушкина, 99, *z-mustafa@rambler.ru*
Скоринцева Ирина Борисовна – д.г.н., руководитель лаборатории ландшафтоведения и проблем природопользования АО «Институт географии и водной безопасности», Алматы, ул. Пушкина, 99, *skorintseva@mail.ru*
Омаров Айдос Нурланович – магистр естественных наук, научный сотрудник лаборатории ландшафтоведения и проблем природопользования АО «Институт географии и водной безопасности», Алматы, ул. Пушкина, 99, *omaraidos@inbox.ru*
Тулетаев Асхат Боромбаевич – PhD докторант факультета географии и природопользования КазНу им. Аль-Фараби, Алматы, ул. Пушкина, 99, *hat_0512@mail.ru*

Мустафаев Жумахан Сулейменович – профессор, техникалық ғылымдарының докторы, «География және су қауіпсіздігі институты» АҚ ландшафттану және табиғатты пайдалану мәселелері зертханасының бас ғылыми қызметкері қауіпсіздігі институты» АҚ ландшафттану және табиғатты пайдалану мәселелері зертханасының бас ғылыми қызметкері, Алматы, Пушкин к-і, 99, *z-mustafa@rambler.ru*
Скоринцева Ирина Борисовна – география ғылымдарының докторы, қауымдастырылған профессор, «География және су қауіпсіздігі институты» АҚ-ның ландшафттану және табиғатты пайдалану мәселелері зертханасының меңгерушісі, Алматы, Пушкин к-і, 99, *skorintseva@mail.ru*
Омаров Айдос Нурланович – жаратылыстану ғылымдарының магистрі, «География және су қауіпсіздігі институты» АҚ-ның ландшафттану және табиғатты пайдалану мәселелері зертханасының ғылыми қызметкері, Алматы, Пушкин к-і, 99, *omaraidos@inbox.ru*
Тулетаев Асхат Боромбаевич – әл-Фараби атындағы ҚазҰУ, география және табиғатты пайдалану факультетінің география кафедрасының докторанты, «География және су қауіпсіздігі институты» АҚ-ның ландшафттану және табиғатты пайдалану мәселелері зертханасының ғылыми қызметкері, Алматы, Пушкин к-і, 99, *hat_0512@mail.ru*

Mustafayev Zhumakhan – Doctor of Technical Sciences, Professor , Chief Researcher, Laboratory of Landscape Science and Environmental Management Problems of JSC «Institute of Geography and Water Security», Almaty, 99, Pushkin str, *z-mustafa@rambler.ru*
Irina Skorintseva – Doctor of Geographical Sciences, Associate Professor, Head of the Laboratory of landscape science and nature management of JSC «Institute of geography and water security», Almaty, 99, Pushkin str., *skorintseva@mail.ru*
Aidos Omarov – master of Natural Sciences, Researcher of the Laboratory of landscape science and nature management of JSC «Institute of geography and water security», Almaty, 99, Pushkin str., *omaraidos@inbox.ru*
Askhat Tuletayev – PhD student of the Department of geography of the Faculty of geography and environmental management of Al-Farabi Kazakh National University, Researcher of the Laboratory of landscape science and nature management of JSC «Institute of geography and water security», Almaty, 99, *Pushkin str., hat_0512@mail.ru*

Вклад авторов/ Авторлардың қосқан үлесі/ Authors contribution:

Мустафаев Жумахан Сулейменович – разработка концепции, разработка методологии
Скоринцева Ирина Борисовна – разработка концепции, разработка методологии, подготовка и редактирование текста
Омаров Айдос Нурланович – проведение статистического анализа, картографирование, визуализация
Тулетаев Асхат Боромбаевич – проведение статистического анализа

Мустафаев Жумахан Сулейменович – тұжырымдаманы әзірлеу, әдістемені әзірлеу
Скоринцева Ирина Борисовна – тұжырымдаманы әзірлеу, әдістемені әзірлеу, мәтінді дайындау және өңдеу
Омаров Айдос Нурланович – статистикалық талдау жүргізу, картографиялық жұмыстар, көрнекілік
Тулетаев Асхат Боромбаевич – статистикалық талдау жүргізу

Mustafayev Zhumakhan – concept development, methodology development
Irina Skorintseva – concept development, methodology development, preparing and editing the text
Aidos Omarov – conducting statistical analysis, mapping, visualization
Askhat Tuletayev – conducting statistical analysis

УДК 504.3.054 **МРНТИ 37.21**

МОНИТОРИНГ КАЧЕСТВА АТМОСФЕРНОГО ВОЗДУХА ЗАПАДНО-КАЗАХСТАНСКОГО РЕГИОНА: ПРИНЦИПЫ, МЕТОДЫ, ПОДХОДЫ

В.Г. Сальников[1]*д.г.н., профессор*, **С.Е. Полякова[1]***к.г.н., доцент*, **А.А. Ульман[1]***к.г.н., доцент,* **А.М. Кауазов[1]***к.г.н.,* **М.О. Турсумбаева[1]***Phd,* **Д.К. Кисебаев[2]**, **Д.И. Миськив[1]**, **Е.Е. Белдеубаев[1]***, **Г.Т. Мусралинова[1]**, **С.О. Кожагулов[1]**

[1]Казахский национальный университет им. аль-Фараби, г. Алматы, Казахстан
[2]РГП «Казгидромет», г. Алматы, Казахстан
E-mail: yerkebulan.beldeubayev@kaznu.edu.kz

Рассмотрены основные подходы и методы исследования особенностей и условий загрязнения атмосферы на примере Западного Казахстана. Проведена классификация и группировка применяемых подходов по темам, методам, временным интервалам и другим релевантным критериям. Проведен анализ имеющейся информации об источниках и объемах выбросов в атмосферу, а также о системах мониторинга загрязнения воздушного бассейна. Показано, что для повышения эффективности системы управления качеством атмосферного воздуха целесообразно применение комплексного подхода с учетом влияния метеорологических факторов и синоптических условий, определяющих различные уровни загрязнения. Аналитический обзор современных методов моделирования распространения загрязняющих веществ в атмосферном воздухе показал целесообразность применения статистических методов, интегрированных с глубоким машинным обучением и эйлеровой континуальной модели турбулентной диффузии. Полученные выводы позволят в дальнейшем использовать комплексный подход для совершенствования системы управления качеством атмосферного воздуха исследуемого региона.

Ключевые слова: экология, мониторинг, атмосферный воздух, источники загрязнения, загрязняющие вещества, метеорологические условия, моделирование, Западный Казахстан.

Поступила:11.12.23
DOI: 10.54668/2789-6323-2024-113-2-128-149

ВВЕДЕНИЕ

В современных условиях стремительного развития общества, промышленности и технологий, вопросы экологии приобретают все большее значение и охватывают все аспекты жизнедеятельности ноосферы.Одним из ключевых аспектов экологического равновесия является качество атмосферного воздуха. Особенно актуальной становится проблема оценки качества воздуха в регионах с высокой промышленной активностью, где различные источники загрязнения оказывают серьезное воздействие на окружающую среду и здоровье населения.

Западный Казахстан является мировым лидером по запасам хрома, его объемы превышают 400 миллионов тонн. В недрах разведано 40 % общереспубликанских запасов титана и 55 % никеля (https://qazindustry.gov.kz/). В западном регионе Казахстана сосредоточено более 90 % всех балансовых запасов углеводородов. В том числе 13466,9 млн. т геологических и 4457,3 млн. т извлекаемых запасов нефти, а также 1322,6 млрд. м^3 свободного газа. При этом на Атыраускую область приходится 73 % запасов нефти, а на Западно-Казахстанскую - 62 % запасов свободного газа. На территории последней находится и 79 % конденсата, геологические запасы которого составляют 865,4 млн. т, а извлекаемые - 330,5 млн. т. С Западным регионом Казахстана также связана и большая часть прогнозных ресурсов, которые в целом по республике оцениваются в 12...15 млрд. т нефти и 7...8 трлн. м^3 газа (http://www.investkz.com/journals/38). Здесь также расположены крупные месторождения золота, серебра, меди, цинка, кобальта, каолина, фосфоритов и нефтебитумных пород, а также сырья для производства строительных

материалов. Таким образом, регион Западного Казахстана обладает огромным экономическим и стратегическим значением для нашей республики. Однако, это также приводит к повышенному риску загрязнения окружающей среды, включая атмосферу, что создает угрозу для окружающей среды и здоровья населения. Создание актуальной информационной базы данных о загрязнении атмосферы Западно-Казахстанского региона и разработка методологических основ для оценки качества воздуха становится актуальной задачей не только для управления качеством окружающей среды, но и для обеспечения устойчивого развития региона.

Мониторинг, анализ данных и их интерпретация, моделирование, раннее предупреждение о высоких уровнях загрязнения является методической основой для управления качеством атмосферного воздуха.

В свою очередь мониторинг является основным компонентом оценки качества атмосферного воздуха, который включает систематический сбор данных о загрязнителях воздуха в течение различных временных интервалов (Национальный доклад, 2021). Существует множество методов мониторинга уровня атмосферного загрязнения, каждый из которых предназначен для измерения конкретных загрязняющих веществ, таких как твердые частицы (ТЧ), диоксид азота (NO_2), диоксид серы (SO_2), озон (O_3), угарный газ (CO) и летучие органические соединения (ЛОС) и др. Станции мониторинга стратегически размещены таким образом, чтобы регистрировать изменения уровня загрязняющих веществ в различных географических районах, в городской и сельской местности, а также вблизи источников загрязнения.

Во основе анализа данных лежат критерии уровня загрязнения, которые определяются в соответствии с международными стандартами, рекомендациями Всемирной организации здравоохранения (ВОЗ) и национальными нормативными документами. Такие критерии обеспечивают основу для оценки санитарно-экологической обстановки и принятия соответствующих мер по улучшению качества воздуха. Также критически важен в управлении качеством атмосферного воздуха учет неблагоприятных метеорологических условий из-за их прямого влияния на распространение и концентрацию загрязнителей. Ветер, температура, влажность и осадки могут значительно варьироваться, влияя на формирование атмосферных условий и соответственно на диффузию примесей в атмосфере. Комплексный учёт этих факторов необходим для оценки текущего состояния загрязнения атмосферы, корректировки выбранных прогностических моделей и разработки эффективных стратегий управления.

Моделирование качества воздуха дополняет процесс мониторинга и анализа данных, предоставляя прогностическую основу для оценки концентраций загрязняющих веществ в исследуемых регионах. Ключевыми аспектами моделирования играющими важную роль в изучении загрязнения атмосферы, являются: понимание динамики перемещения загрязнителей в атмосфере, их распространение, рассеивание и осаждение на земную поверхность; прогнозирование уровня загрязнения на основе текущих данных о выбросах загрязняющих веществ, метеорологических условиях и других факторах; оценка эффективности различных мер по снижению загрязнения воздуха; принятие обоснованных решений в области охраны окружающей среды и здравоохранения. В целом, математическое моделирование является мощным инструментом для изучения загрязнения воздуха, повышения осведомленности о его последствиях и разработки эффективных мер.

Особое значение моделирование приобретает для тех территорий, где отсутствуют регулярная сеть станций мониторинга.

Комплексный подход оценки качества атмосферного воздуха является междисциплинарным и опирается на принципы различных научных областей, включая науку об атмосфере, инженерной экологии, химии и статистики. Этот подход обеспечивает комплексное понимание процессов, влияющих на качество воздуха, начиная от физических и химических процессов в атмосфере и заканчивая методами анализа и интерпретации данных.

Взаимодействие различных научных дисциплин позволяет разрабатывать эффективные методы анализа, моделирования и управления качеством атмосферного воздуха, а также принимать обоснованные решения для сохранения здоровья человека и окружающей среды.

В настоящий момент в системах мониторинга применяются самые разнообразные методики, подходы, в частности стационарные лабораторные наблюдения, автоматизированные наблюдения с помощью датчиков с ежечасными данными, наряду с точечными наземными данными в городах, большое распространение приобретают геопространственные данные дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ), как приземные, так и на различных высотах. Все эти системы наблюдения находятся как в руках государственного уполномоченного органа (РГП «Казгидромет») (Информационные бюллетени о состоянии окружающей среды Республики Казахстан), так и в руках частных энтузиастов (проект А.Александрова) или станций мониторинга качества воздуха посольства США.

Цель статьи заключается в попытке систематизации и обобщения общих принципов, методов и подходов к мониторингу качества воздуха и его адаптация к Западно-Казахстанскому региону.

Для достижения цели можно выделить основные задачи:

1. Рассмотреть основные текущие подходы и методы организации мониторинга Западно-Казахстанского региона.

2. Провести анализ современных критериев качества атмосферного воздуха.

3. Провести аналитический обзор современных методов математического анализа на основе использования машинного обучения, искусственного интеллекта и нейронных сетей,

4. Оценить возможности применения моделирования распространения поллютантов для более детального изучения пространственно-временных особенностей загрязнения атмосферы ЗКР.

Полученные результаты могут быть использованы для усовершенствования системы мониторинга за состоянием атмосферного воздуха и оптимизации процессов управления его качеством.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Для изучения современных подходов мониторинга и управления качеством атмосферного воздуха использованы данные Бюро национальной статистики Республики Казахстан и информационные бюллетени о состоянии окружающей среды Республики Казахстан за период с 2015 по 2021 годы. Использовались результаты исследования зарубежных и отечественных исследователей по данной тематике.

В работе использовались следующие методы и подходы:

– систематический анализ современных научных исследований по рассматриваемой тематике из высоко цитируемых баз данных;

– сопоставление различных точек зрения и методологий;

– процедурный обзор, позволяющий изучить и оценить применяемые современные методологии исследований, представленных в современных научных статьях;

– мета-анализа использовался для систематического объединения искомых данных из различных исследований для получения общих выводов и дальнейшего их применения;

– контент-анализа для выделения ключевых концепций исследования;

– методы метасинтеза, позволяющие синтезировать данные из различных качественных исследований для создания нового, обобщенного понимания предмета.

Перечисленные выше методы и подходы позволили авторам выделить наиболее значимые и перспективные тренды исследования загрязнения атмосферного воздуха Западно-Казахстанского региона.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЯ

В Западном Казахстане, обладающем богатыми природными ресурсами и развитой промышленностью, остро столкнулись с проблемами сохранения экологического баланса. Промышленные комплексы, энергетика и транспорт играют ключевую роль в экономике региона, однако, являются основными источниками выбросов

загрязняющих веществ в атмосферу.

В таблице 1 представлены данные Бюро национальной статистики Республики Казахстан (Бюро национальной статистики Республики Казахстан) о выбросах загрязняющих веществ в атмосферу от стационарных источников за период с 2015 по 2021 годы по четырем областям Западно-Казахстанского региона (ЗКР). В целом по региону годовые выбросы загрязняющих веществ от стационарных источников составляют 359,9... 450,6 тыс. т. за рассматриваемый период. Наибольшие значения выбросов наблюдались с 2016 по 2018 гг. и составили 431,0...450,6 тыс. т. В 2020 году наблюдались минимальные искомые значения (392,4 тыс. т.), а в 2021 году отмечается повышение выбросов на 1,7 %.

Вклад областей в общее загрязнение воздушного бассейна ЗКР различен. Так, наибольшее количество выбросов загрязняющих веществ от стационарных источников в 2021 г. приходится на Атыраускую (160,3 тыс.т.) и Актюбинскую (137,4 тыс.т.) области (таблица 1), что составляет 74,6 % от общего количества выбросов рассматриваемого региона. Загрязнение в Мангыстауской (75,2 тыс.т.) и Западно-Казахстанской (26,0 тыс.т.) областях в 2...6 раз меньше (соответственно). Эти различия в объемах выбросов не могут быть объяснены только различием количества источников загрязнения в соответствующих областях, а вероятнее всего связаны с природоохранными мероприятиями.

Таблица 1

Количество стационарных источников выбросов загрязняющих веществ и объем выбросов по областям ЗКР 2019...2021 гг.

Область	Количество стационарных источников, шт			Объем выбросов, тыс. т.		
	2019	2020	2021	2019	2020	2021
Атырауская	25 548	28 654	28 904	164,5	154	160,3
Актюбинская	22 615	22 988	23 382	136,6	135,1	137,4
Мангистауская	24 881	24 825	24 584	64,5	72,5	75,2
Западно-Казахстанская	11 619	11 735	11 958	41,2	30,8	26,0
ИТОГО	84 663	88 202	88 828	406,8	392,4	398,9

Важной составляющей системы управления качеством атмосферного воздуха, является мониторинг. Основная его цель заключается в раннем обнаружении и контроле уровня загрязнения воздуха, что позволяет принимать соответствующие меры для улучшения качества воздуха и защиты здоровья населения. Мониторинг также служит основой для разработки политики и стратегий по снижению выбросов загрязняющих веществ и соблюдению нормативов и стандартов качества воздуха.

В настоящее время уполномоченным государственным органом, осуществляющим мониторинг состояния атмосферного воздуха на территории Казахстана, является РГП «Казгидромет». При этом, согласно экологическому Кодексу РК РГП «Казгидромет» проводит мониторинг только в селитебной зоне. Необходимо отметить, что мониторинг загрязнения атмосферы Западно-Казахстанский региона проводится на небольшом количестве станций наблюдения, из которых 7 являются станциями отбора проб в ручном режиме (РПНЗ), и 27 - станции наблюдения за загрязнением в автоматическом режиме (АПНЗ) (рисунок 1).

На автоматических станциях измерения загрязняющих веществ проводятся каждые 20 минут, в то время как на станциях ручного контроля пробы отбираются 3...4 раза в сутки (в 07:00, 13:00, 19:00, 01:00) в соответствии с установленной программой. Анализ пространственного распределения постов показывает, что они расположены преимущественно вблизи основных источников загрязнения атмосферы.

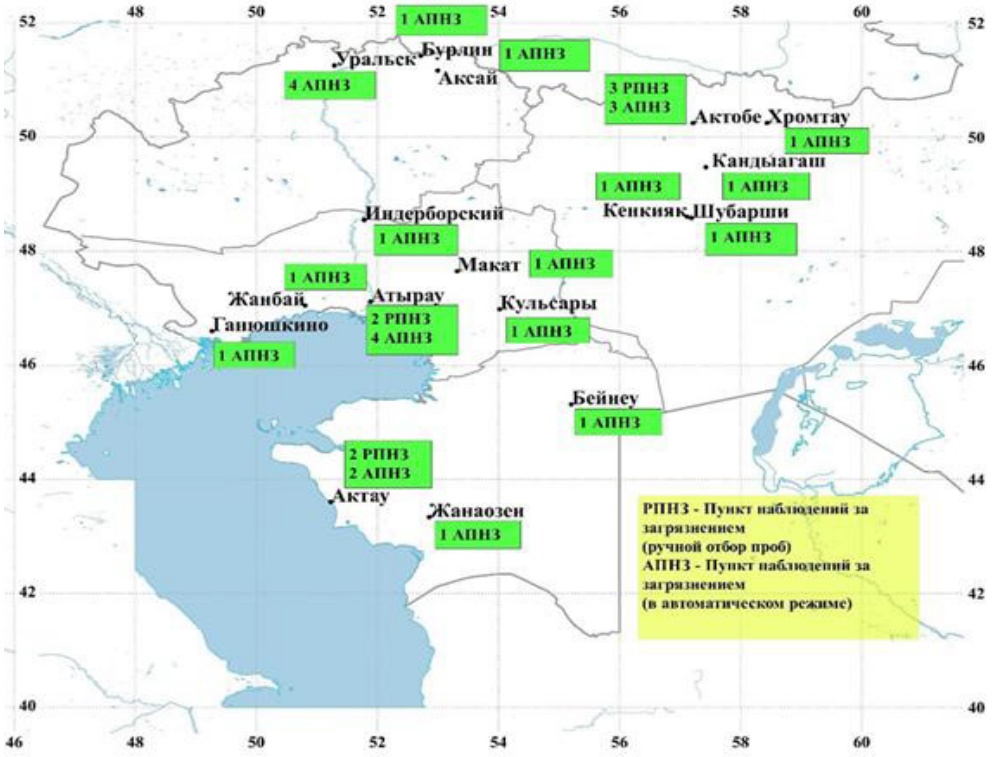


Рис.1. *Расположение постов наблюдений за загрязнением атмосферного воздуха в Западно-Казахстанском регионе*

В таблице 2 представлен перечень станций мониторинга загрязнения атмосферного воздуха Западно-Казахстанского региона.

Анализ показывает, что ручной отбор проб воздуха для последующего анализа в химической лаборатории осуществляется лишь на семи постах мониторинга, расположенных в Актобе (3 поста), Атырау (2 поста) и Актау (2 поста).В Западно-Казахстанской области наблюдения за концентрациями примесей проводится только с использованием автоматических станций

На большинстве станций мониторинга проводятся наблюдения за основными (пылевые частицы PM-2.5, PM-10, SO_2, CO, NO_2) и специфическими или маркерными загрязнителями, например на многих пунктах измеряются концентрации сероводорода (H_2S), фенолами (CH_2O), различными углеводородами и т.д.

Первичная информация с сети мониторинга загрязнения атмосферного воздуха является основой для определения качества атмосферы. Определяется совокупностью его физических, химических и биологических свойств, которые отражают степень соответствия заданным гигиеническим и экологическим нормативам. Гигиенические нормативы качества атмосферного воздуха устанавливают критерии, определяющие максимально допустимое содержание вредных (загрязняющих) веществ в атмосфере. Эти нормативы обеспечивают отсутствие вредного воздействия на здоровье человека и окружающую среду.

Таким образом, можно сделать вывод о том, что количество постов наблюдений за основными и специфическими компонентами атмосферного воздуха не дает возможность провести комплексный мониторинг для всей исследуемой территории.

Одним из наиболее часто используемых методов изучения загрязнения воздушного бассейна является расчет индексов и показателей качества воздуха. В таблице 3 приведены основные индексы, которые применяются в настоящее время в различных странах (Сальников В.Г., 2006; Adilet, 2021; IQAir, 2022;. United States Air Quality Index (AQI) Live). При этом в основе всех критериев лежат нормированные значения загрязняющих веществ, имеющих страновую специфику. Так в Казахстане используются следующие индексы: стандартный (СИ), наибольшей повторяемости (НП), загрязнения атмосферы (ИЗА), параметр «Р». Анализ индексов показывает, что полученные значения характеризуют качество воздуха в локальной точке

(ограничиваясь ПНЗ). Соответственно эти индексы не дают полного охвата исследуемой территории. Поэтому для детального изучения качества воздуха необходимо совместное использование данных наземного и космического (https://www.tropomi.eu/) мониторинга.

Таблица 2

Сеть станций мониторинга РПНЗ и АПНЗ Западно-Казахстанского региона

Область	Город/ поселок	Пост	Категория поста	Измеряемые показатели**
Актюбинская	г. Актобе	ПНЗ №2	A*	PM-2.5, PM-10, SO_2, CO, NO_2, NO, H_2S
		ПНЗ №3	A	
		ПНЗ №6	A	
		ПНЗ №1	P*	пыль, SO_2, CO, NO_2, NO, H_2S, CH_2O, Cr
		ПНЗ №4	P	
		ПНЗ №5	P	
	г. Хромтау	ПНЗ №1	A	PM-2.5, PM-10, SO_2, CO, NO_2, H_2S
	г. Кандыагаш	ПНЗ №1	A	PM-2.5, PM-10, SO_2, CO, NO_2, H_2S
	п. Шубарши	ПНЗ №1	A	PM-2.5, PM-10, SO_2, CO, NO_2, H_2S
	п. Кенкияк	ПНЗ №1	A	PM-2.5, PM-10, SO_2, CO, NO_2, H_2S
Атырауская	г. Атырау	ПНЗ №6	A	PM-2.5, PM-10, O_3
		ПНЗ №8	A	PM-2.5, PM-10, SO_2, CO, NO_2, NO
		ПНЗ №9	A	PM-2.5, PM-10, CO, NO_2, NO, O_3
		ПНЗ №10	A	SO_2, CO, NO_2, H_2S
		ПНЗ №1	P	пыль, SO_2, CO, NO_2, NO, H_2S, C_6H_5OH, NH_3, CH_2O, C_6H_6, CH_3, C_8H_{10}, C_2H_6
		ПНЗ №5	P	пыль, SO_2, CO, NO_2, NO, H_2S, C_6H_5OH, NH_3, CH_2O
	г. Кульсары	ПНЗ №7	A	PM-10, SO_2, CO, NO_2, NO, O_3, NH_3
	с. Жанбай	ПНЗ №1	A	PM-2.5, PM-10, SO_2, CO, NO_2, H_2S
	с. Макат	ПНЗ №1	A	PM-2.5, PM-10, SO_2, CO, NO_2, H_2S
	п. Индерборский	ПНЗ №1	A	PM-2.5, PM-10, SO_2, CO, NO_2, H_2S
	п. Ганюшкино	ПНЗ №1	A	PM-2.5, PM-10, SO_2, CO, NO_2, H_2S
Западно-Казахстанская	г. Уральск	ПНЗ №2	A	SO_2, CO, NO_2, NO, H_2S
		ПНЗ №3	A	SO_2, CO, NO_2, O_3
		ПНЗ №5	A	SO_2, CO, NO_2, NO, H_2S, O_3
		ПНЗ №6	A	CO, NO_2, NO
	г. Аксай	ПНЗ №4	A	SO_2, CO, NO_2, NO, H_2S
	п. Бурлин	ПНЗ №7	A	SO_2, O_3, H_2S
Мангистауская	г. Актау	ПНЗ №5	A	SO_2, CO, NO_2, NO, H_2S
		ПНЗ №6	A	PM-2.5, PM-10, SO_2, CO, NO_2, NO, H_2S, O_3
		ПНЗ №3	P	пыль, SO_2, CO, NO_2, NO, H_2SO_4
		ПНЗ №4	P	пыль, SO_2, CO, NO_2, NO, H_2SO_4
	г. Жанаозен	ПНЗ №1	A	PM-10, CO, O_3
		ПНЗ №2	A	PM-10, SO_2, CO, NO_2, NO, H_2S
	п. Бейнеу	ПНЗ №7	A	PM-10, SO_2, CO, NO_2, NO, H_2S, O_3

Примечание: A – автоматического отбора проб за состоянием атмосферного воздуха; P – ручного отбора проб за состоянием атмосферного воздуха;*
*** PM-2,5 – взвешенные частицы диаметром 2,5 мкм; PM-10 – взвешенные частицы диаметром 10 мкм; SO_2 – диоксид серы, CO – оксид углерода, NO_2 – диоксид азота, NO – оксид азота, H_2S – сероводород, CH_2O формальдегид, Cr – хром, O_3 – озон, C_6H_5OH – фенол, NH_3 – аммиак, C_6H_6 – бензол, CH_3 – толуол, C_8H_{10} –этилбензол, C_2H_6 – ортоксилол, H_2SO_4 – серная кислота*

Таблица 3

Современные индексы параметризации качества атмосферного воздуха

Название индекса	Страна	Описание	Метод расчета	Градация
Параметр «Р»	Казахстан, страны СНГ	Параметр Р определяется, как сумма отношений концентраций примесей к ПДК этой примеси. https://adilet.zan.kz/rus/docs/V2100023517	$P = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}\frac{C}{\text{ПДК}}$ где, С - значение измеренной концентрации загрязняющего вещества (примеси) в воздухе, мг/м^3, n - количество измерений примесей в городе по всем постам за все сроки наблюдений.	Градации параметра «Р» следующие: пониженный, повышенный, высокий, очень высокий. Границы градаций для каждого города РК индивидуальны и рассчитываются на основе многолетних данных. https://www.kazhydromet.kz/ru/ecology/ezhednevnyy-byulleten-sostoyaniya-vozdushnogo-basseyna-nmu
Стандартный индекс (*СИ*)	Казахстан, страны СНГ	Наибольшая измеренная в городе максимальная разовая концентрация любого загрязняющего вещества, деленная на ПДК.	$q_i = C_i^* / \text{ПДК}_i$ C_i^* - значение максимальной или средней концентрации, ПДКi – предельно-допустимая концентрация i-той примеси	Уровень загрязнения при: СИ >10, НП > 50%-очень высокий СИ – 5-10, НП – 20-49% -высокий СИ – 2-4, НП – 1-19% - повышенный СИ – 0-1, НП – 0% - низкий
Наибольшая повторяемость (*НП*)	Казахстан	Наибольшая повторяемость превышения разовыми концентрациями примеси ПДК (выражается в %).	$g=(m/n)\cdot 100\%$ где n - число наблюдений за рассматриваемый период, m - число случаев превышения разовыми концентрациями на посту.	
Индекс загрязнения атмосферы (*ИЗА*)	Казахстан, страны СНГ	Комплексный индекс загрязнения атмосферы, учитывающий несколько примесей (диоксид серы, оксид углерода, диоксид азота, фенол, формальдегид), представляющий собой сумму концентраций выбранных загрязняющих веществ в долях ПДК.	$ИЗА_5 = \sum(q_{ср}/\text{ПДК}_{сс})^{Ci}$ ci - константа, принимающая значения 1,7; 1,3; 1,0; 0,9 для соответственно классов опасности веществ 1, 2, 3, 4 и учитывающая степень вредности i-ой примеси к вредности SO_2; $q_{ср}$- среднее арифметическое значение среднесуточных концентраций, измеренных в течение года; ПДКс.с – значение допустимой среднесуточной вредного вещества.	Уровень загрязнения при ИЗА: <=5 - низкий 5-7 - повышенный высокий 7-14 - очень высокий >14 – экстремальный
Air quality index (*AQI*)	США	Числовая шкала, которая используется для измерения и оценки уровня загрязнения атмосферного воздуха и его воздействия на здоровье людей.	AQI = (I - B) / (M - B) * 100 I - измеренное значение концентрации загрязнителя воздуха, B - нижний предел диапазона концентраций. Определяется как значение ПДК (предельно допустимой концентрации) загрязняющего вещества M - верхний предел диапазона концентраций. Определяется как значение ПДК загрязняющего вещества, умноженное на определенный коэффициент.	Качество воздуха при AQI: 0-50 - хорошее, 51-100 - приемлемое, 101-150 - умеренное, 151-200 - плохое, 201-300 - очень плохое, 301-500 - опасное.

Каждая страна находит и предлагает свои индексы и подходы по расчету искомой величины, при этом в основе всех критериев лежат нормированные значения загрязняющих веществ, имеющих страновую специфику. Следует отметить, что наиболее распространенным является Air quality index (AQI), который используется во многих странах (США, Китай, Индия, Европейские страны, Канада, Австралия и др.). Однако в каждой стране могут быть свои особенности и методики расчета индекса.

Решение задачи анализа и прогнозирования загрязнения атмосферного воздуха в Западно-Казахстанском регионе затруднено рядом причин (Lawrence M.G., Rasch P.J., von Kuhlmann R., 2003; Li Q., Jiang J.H., Wu D.L., 2005), к которым можно отнести неопределенность метеорологических условий, сложность химических процессов, динамику изменения параметров выбросов от стационарных и особенно от передвижных источников, ограниченность данных, неоднородность задач и др., что требует совершенствования подходов к моделированию.

На сегодняшний день методы анализа и дальнейшего прогнозирования загрязнения атмосферного воздуха можно разделить на три классические категории: статистические, численные и в последние годы методы искусственного интеллекта. Кроме того, сегодня в научном потенциале имеется и ряд гибридных моделей, которые могут улучшить точность прогноза (Sokhi R.S., Baklanov A.A., Shlunzen K.H., 2018; Волошин В.Г., 2013).

Статистические методы анализируют события, не обладая подробным пониманием механизмов изменений. Таким образом, этот метод не зависит от физических, химических или биологических процессов. Статистические прогнозы включают в себя как параметрические, так и непараметрические методы статистики. Параметрические модели представляют собой традиционные статистические модели, такие как линейная регрессия и анализ главных компонентов. В то время как непараметрические модели не ограничены определенной функциональной формой. Например, непараметрическая регрессия включает в себя модели нейронных сетей, регрессию гауссовских процессов и т.д. (Zhang, Y.; Bocquet, M.; Mallet, V, 2012; Shahraiyni H., Sodoudi S., 2016).

Наиболее известный из статистических методов анализа и прогнозирования является регрессионный анализ. Это метод, который пытается определить взаимосвязь между зависимой переменной (уровень загрязнения воздуха) и одной или несколькими независимыми переменными (метеорологические факторы, транспортные потоки, промышленные выбросы и т.д.), соответственно метод основан на предположении, что существует линейная или нелинейная функция, которая связывает эти переменные.

Цель регрессионного анализа - оценить параметры этой функции и использовать ее для прогнозирования будущих значений зависимой переменной (Sykes, A.O., 1993; Mendenhall W., 2011).

Существует много типов регрессионных моделей, которые могут быть использованы и до сих пор находят свое применение в анализе и прогнозировании загрязнения воздуха (Волошин В.Г., 2013).

Так, линейная регрессия — это модель, которая предполагает, что зависимая переменная линейно связана с независимыми переменными. Данный тип модели прост в использовании и интерпретации, но может быть неадекватна для сложных данных. Примером использования линейной регрессии является модель, которая прогнозирует уровень загрязнения воздуха в Дели на основе температуры, влажности, скорости ветра и давления (Mohammad Ahmad, Weihu Cheng, Zhao Xu, 2023; Vikas Singh, Shweta Singh, Akash Biswal, 2020).

Нелинейная регрессия определяет, что зависимая переменная нелинейно связана с независимыми переменными. Эта модель может быть более гибкой и точной, но также более сложной в оценке и интерпретации. Примером использования в научных метеорологических исследованиях нелинейной регрессии является модель, которая прогнозирует уровень загрязнения воздуха в Пекине на основе экспоненциальной функции от температуры, влажности, скорости ветра и давления (Chen Z. и др. 2018; Meng C. и др., 2019).

Множественная регрессия - модель, в которой зависимая переменная связана с несколькими независимыми переменными. Эта модель может учитывать влияние разных факторов на загрязнение воздуха, но также может быть зависима от проблемы мультиколлинеарности, когда независимые переменные сильно коррелируют друг с другом. В свою очередь когда мультиколлинеарность присутствует в модели, это может вызывать

следующие проблемы:

− Несостоятельные оценки параметров, т.е., мультиколлинеарность может сделать оценки параметров модели нестабильными и ненадежными.

− Завышенные стандартные ошибки, когда мультиколлинеарность приводит к увеличению стандартных ошибок коэффициентов регрессии, что затрудняет определение статистической значимости этих коэффициентов.

− Неоднозначность интерпретации - не всегда можно точно сказать, какие факторы действительно влияют на объект изучения, потому что эти факторы слишком похожи друг на друга.

Примером использования множественной регрессии является модель, которая былы использована для прогноза уровня загрязнения воздуха в Мадриде с учетом температурных условий, влажности, скорости ветра, давления, солнечной радиации и осадков (Kai Wang и др., 2023; Elena Cerezuela-Escudero и др., 2023).

Регрессия с переменными сдвига - модель, в которой вводятся дополнительные переменные, отражающие изменения в структуре данных. Эта модель может улучшить качество прогноза, когда есть разрывы или скачки в данных. Примером регрессии с переменными сдвига является модель, которую разработали для прогноза уровня загрязнения воздуха в Нью-Йорке также при различных условиях температуры, влажности, скорости ветра, давления и переменных сдвига, которые учитывают сезонность, выходные дни и праздники (Shelby Zangari и др., 2020).

Регрессионный анализ имеет свои преимущества и недостатки. Среди преимуществ можно отметить простоту, интерпретируемость, низкую вычислительную сложность и возможность проверки гипотез. Среди недостатков можно отметить низкую гибкость, чувствительность к выбросам и мультиколлинеарности, а также необходимость выбора подходящей функции и проверки ее адекватности. Применение регрессионного анализа для территории ЗКР показал неустойчивые связи между выбросами и загрязняющими компонентами.

С целью минимизации недостатков статистических моделей в последние годы стали применяться комбинированные подходы, объединяющие их с методами машинного обучения. Примером такого подхода может служить модель Projection Pursuit (PP), которая является одним из методов прогнозирования загрязнения воздуха и предназначена для выявления сложных, нелинейных структур в данных. В отличие от многих статистических методов Projection Pursuit в своей основе несет подход в формате - «анализ данных-моделирование-прогноз» (Deng, J.L., 1982). Основная идея этого метода заключается в том, чтобы выявить оптимальные проекции (проецирования) данных из высокоразмерного пространства в пространство меньшей размерности. Применение модели Projection Pursuit особенно полезно, когда данные содержат сложные взаимосвязи, которые трудно выявить с использованием традиционных методов.

Ключевые моменты модели Projection Pursuit(PP)можноописатьследующим образом:

− Проецирование данных. Основная задача состоит в том, чтобы автоматически выбрать такие проекции данных, которые максимизируют определенный целевой критерий. Этот целевой критерий обычно связан с выявлением интересных, неочевидных структур в данных.

− Нелинейность и сложные структуры. В отличие от традиционных статистических методов, которые часто предполагают линейные взаимосвязи, модель PP спроектирована для обнаружения нелинейных отношений и сложных структур в данных.

− Эксплоративный анализ данных. PP часто используется в качестве инструмента для исследования данных, выявления новых закономерностей и получения выводов, особенно в тех случаях, когда структура данных может быть сложной и трудно понимаемой.

Модель PP очень хорошо подходит для анализа сложных взаимосвязей между различными переменными, например такими как метеорологические условия, выбросы загрязняющих веществ и качество воздуха. Таким образом, модель Projection Pursuit является гибким и мощным инструментом для анализа и прогнозирования загрязнения воздуха, который может учитывать нелинейные и сложные зависимости между переменными. Предполагается,

что именно эта модель будет являться базовой при первичном анализе взаимосвязи факторов и исследуемого явления в ЗКР.

Другим мощным инструментом в исследованиях качества атмосферного воздуха, который в последние годы нашел широкое применение, является метод анализа главных компонент (Principal Components Analysis, PCA). PCA позволяет снизить размерность данных, выделить основные факторы и идентифицировать наиболее значимые переменные, влияющие на загрязнение воздуха.

Одним из ключевых преимуществ использования PCA является его способность выявлять структуру в многомерных наборах данных, что особенно важно в контексте анализа атмосферного загрязнения. Уменьшая количество предикторных переменных и преобразуя их в новые переменные, (они называются главными компонентами (Mishra, D.; Goyal, P., 2015), данный метод сохраняет максимально возможную дисперсию исходных данных, таким образом, такое преобразование исходных переменных позволяет выделить наиболее значимые факторы, в нашем случаи - источники загрязнения, сезонные изменения, или географические особенности.

Применение PCA в моделировании загрязнения воздуха также является хорошей основой в процессе разработки эффективных стратегий управления качеством воздуха и принятию мер по улучшению экологической ситуации (Lu W.Z. и др., 2003).

Метод анализа главных компонент является мощным инструментом для анализа данных, однако имеет свои ограничений:

− PCA чувствителен к масштабированию данных. Различные масштабы переменных могут исказить результаты анализа, поскольку PCA будет учитывать переменные с большими значениями с большим весом.

− Иногда интерпретация главных компонент может быть неочевидной, особенно если в данных присутствует большое количество компонентов. Определение, какие именно переменные вносят наибольший вклад в каждую главную компоненту, может быть сложным.

− PCA не учитывает временную структуру данных. Если временные зависимости важны для анализа, PCA может не справиться с этой задачей.

− PCA может быть чувствителен к выбросам в данных. Одиночные аномальные значения могут сильно влиять на результаты анализа. Кроме того, PCA склонен учитывать вариации в данных, в том числе и случайные шумы. Это может привести к тому, что некоторые компоненты будут недостаточно информативными.

− PCA приводит к сокращению размерности данных, что может привести к потере части информации, особенно если малочисленные главные компоненты не являются существенными для анализа.

В связи с развитием, в последние годы, машинного обучения и внедрением искусственного интеллекта (ИИ) новую жизнь приобрели вероятностные статистические модели (Крамарева Л.С., Андреев А.И., Блощинский В.Д., 2019). Возможность обрабатывать достаточно быстро и точно большие объемы накопленных за многие десятилетия метеорологических данных, а также подключая большие массивы данных по параметрам загрязнения с космических снимков позволяет строить вероятностные модели полей концентрации загрязняющих веществ в атмосферном воздухе. Формирования единой совокупности полей загрязнения с учетом множественности агентов загрязнения на следующем этапе позволяет строить ряд прогностических вероятностных моделей на базе апостериорной вероятности, т.е. модели, основанные на байесовском подходе (Shankar Subramaniam, Naveenkumar Raju, Abbas Ganesan, 2022;
A. Alimissis, Kostas Philippopoulos, Chris Tzanis, 2018; Tanisha Madan, Shrddha Sagar, Deepali Virmani, 2020; Huixiang Liu, Qing Li, Dongbing Yu, 2019).

Модели, основанные на байесовском подходе, имеют ряд значимых преимуществ:

1. Учёт неопределённости - учитывает неопределенность в данных и параметрах модели. Вместо того чтобы давать точечные оценки параметров, он предоставляет их распределение вероятностей, что позволяет более реалистично отображать наши знания о данных.

2. Интеграция априорных знаний - позволяет интегрировать априорные знания или предположения о параметрах модели.

3. Гибкость в управлении сложностью модели - обеспечивает возможность построения сложных моделей, которые могут учитывать различные источники неопределенности и быть более гибкими в случае изменения структуры модели.

4. Обновление модели с учетом новых данных - способствует обновлению модели с учётом новых данных, пересматривая апостериорное распределение параметров.

5. Учёт различных источников неопределенности - учитывает различные источники неопределенности, включая случайность данных, ограниченность выборки, структуру модели и т.д.

В целом, байесовский подход обеспечивает более гибкие, адаптивные и информативные модели, которые могут учитывать сложные аспекты данных и приносить больше пользы в реальных задачах прогнозирования, классификации и принятия решений, а это именно то, что необходимо сегодня в экологических исследованиях (Katharine M. Banner, Kathryn M. Irvine, Thomas J. Rodhouse, 2021).

С появлением машинного обучения и внедрением в научных поиск нейронных сетей процесс моделирования экологически неблагоприятных процессов претерпел значительные изменения. Способность нейронных сетей обрабатывать большие массивы сложных нелинейных зависимостей делает их привлекательным инструментом для задач прогностического моделирования.

Выделяют следующие архитектуры нейронных сетей (Обухов А.Д., Краснянский М.Н., 2019) которые используются в прогнозировании загрязнения атмосферного воздуха:

− Рекуррентные нейронные сети (RNN) - подходят для прогнозирования временных рядов, включая данные о качестве воздуха. Они способны учитывать временные зависимости и последовательности в данных.

− Сверточные нейронные сети (CNN) - используются для анализа изображений, но они также могут быть применены к прогнозированию качества воздуха, особенно если данные содержат пространственные шаблоны или структуры.

− Глубокие нейронные сети (DNN) - представляют собой многослойные нейронные сети, которые могут быть эффективны в анализе сложных данных о загрязнении воздуха, предсказывая концентрации различных загрязнителей.

− Гибридные модели - комбинации различные типы нейронных сетей с классическими методами статистического анализа или физическими моделями атмосферы.

− LSTM (Long Short-Term Memory) - специальный тип рекуррентных нейронных сетей, который учитывает долгосрочные зависимости в данных. Они часто применяются в прогнозировании временных рядов, таких как временные данные о качестве воздуха.

Эти различные архитектуры нейронных сетей предоставляют инновационные способы анализа и прогнозирования данных о загрязнении воздуха, в зависимости от характеристик и особенностей набора данных, а также требований конкретной задачи прогнозирования.

Используя LSTM метод получены достаточно интересные данные, позволяющие в пределах ЗКР выявить территории, в которых вероятность встреч максимальных концентраций наибольшая.

Для выявления взаимосвязи распространения загрязняющих веществ в атмосферном воздухе от источников выбросов и метеорологических условий кроме статистических методов, нейронных сетей и машинного обучения применяются методы математического моделирования (Svozilík V., Svozilíková Krakovská A., Bitta J., 2021), которые стали надежным инструментом при научных и прикладных исследованиях (Sokhi R.S., Baklanov A.A., Shlunzen K.H.).

Математические модели загрязнения воздуха классифицированы в соответствии с различными критериями (Волошин В.Г., 2013; Guideline on air quality models; Leelossy A. и др., 2014; Старченко А.В. и др., 2022) и приведены в таблице 4.

Одной из наиболее известных систем моделирования, использующая методику гауссова факела, является AERMOD, которая основана на рассеивании загрязняющих веществ с учетом структуры турбулентности пограничного слоя атмосферы и концепции масштабирования (Aermod implementation guide, 2023). Модель AERMOD учитывает загрязнение от трех типов факелов (основного, косвенного, проникающего), способная обрабатывать как приземные, так и надземные источники, а также работать в условиях простого и сложного рельефа местности (Melo A., Santos J.M., Mavroidis I., 2012). Модель гауссова факела широко используется в различных программных продуктах для моделирования загрязнения атмосферы, включая CALINE4, HIWAY2, CAR-FMI, AEROPOL, ADMS5 и другие (Рашевский Н.М., 2019). В VSB - Техническом университете Остравы (VSB-TUO) разработана супер компьютерная

система аналитического дисперсионного моделирования (ADMOSS), использующая методологию SYMOS'97 для математического моделирования загрязнения воздуха. Эта методика способна оценить степень загрязнения атмосферного воздуха газами и твердыми загрязняющими веществами, выбрасываемыми точечными, линейными и площадными источниками (Svozilík V. и др., 2021).

Таблица 4

Классификация моделей математического моделирования

Критерий	Классификация	Описание
Природа модели	физические;	отражают физические законы и параметры реальных объектов
	эмпирические;	основаны на экспериментальных данных, без явного описания физических законов
	аналитические;	имеют аналитические решения, часто используют уравнения и математические методы
Виды переменных	дискретные;	описывают системы с дискретными состояниями и переменными
	непрерывные;	описывают системы с непрерывными переменными
Времени применения	статические;	описывают систему в конкретный момент времени, без учета временных изменений
	динамические;	учитывают изменения системы во времени, представляя динамику процесса
Степень детализации	простые;	упрощенные, часто используемые для общего представления системы
	сложные;	учитывают больше деталей и факторов для более точного описания системы
Степень определенности	детерминистические;	предсказывают результаты с высокой степенью уверенности
	стохастические	учитывают случайные факторы и предсказывают вероятностные результаты
Пространственный и временной масштаб	локальные;	временной масштаб от нескольких минут до несколько часов, пространственный масштаб от нескольких десятков метров до нескольких десятков километров
	региональные;	временной масштаб от нескольких часов до нескольких дней, пространственный масштаб от нескольких десятков до нескольких сотен километров
	глобальные (трансграничные);	временной масштаб более недели, пространственный масштаб от нескольких сотен до нескольких тысяч километров
Описания процесса диффузии	гауссовы;	распределение определяется двумя параметрами - средним (математическим ожиданием) и стандартным отклонением.
	лагранжевы;	применение лагранжевых уравнений для описания системы
	эйлеровы	рассматриваются уравнения, связанные с дифференциальным и интегральным исчислением

Модель лагранжева облака представляет собой последовательность облаков, внутри каждого из которых загрязняющее вещество имеет определенное распределение, что позволяет учитывать нестационарность процесса во времени и пространстве, изменения направления ветра, сложный рельеф местности и химические трансформации вещества. Данный подход гибче, чем принцип гауссова факела, так как он точнее отражает физическую сущность рассеивания в атмосфере.

Существует несколько программных реализаций модели лагранжева облака:

1. Модельная система высокого разрешения GRAMM/GRAL (https://gral.tugraz.at/) - подходит для условий слабого ветра и сложного рельефа, учитывает влияние зданий на рассеивание загрязняющих веществ (Recommendations when using the GRAL/GRAMM modelling system, 2020).

2. Модель загрязнения воздуха TAPM CSIRO - предназначена для прогнозирования метеорологических параметров и и концентрации загрязняющих веществ (Hurley P., 2008).

Одним из примеров реализации модели лагранжева облака является CALPUFF (California Puff Model) - многослойная, нестационарная, Лагранжа-Гауссова модель распространения загрязняющих веществ (CALPUFF Modeling System, 2019; Kim G. и др., 2020).
Эйлерова континуальная модель турбулентной диффузии основана на предположении, что турбулентные потоки могут быть описаны с помощью уравнений Навье-Стокса. В этой модели турбулентная диффузия представляет собой процесс перемешивания частиц вещества в турбулентном потоке. Этот процесс приводит к распределению вещества в пространстве в результате хаотического движения турбулентных вихрей (Волошин В.Г., 2013; Marchuk G.I., 1986; Пененко В.В., Алоян А.Е., 1985).

Существенным преимуществом эйлерова континуального подхода по сравнению с моделью лагранжева облака является использование балансных уравнений одного типа для обеих фаз, что позволяет применять единый алгоритм решения всей системы уравнений. В целом, данные методы моделирования дополняют друг друга: каждый из них имеет свои преимущества и недостатки, а следовательно, свои области применения. Лагранжев метод подходит для неравновесных течений (крупные инерционные частицы, разреженные дисперсные среды), а эйлеров - эффективен в условиях, близких к равновесным (например, мелкие малоинерционные частицы, концентрированные дисперсные среды). Эффективность эйлеровых моделей для расчета газодисперсных течений в трубах и струйных потоках, в частности, подтверждается научными исследованиями (Дробышевский Н.И. и др., 2009).

В настоящее время существует множество моделей, предназначенных для расчета концентраций загрязняющих веществ в приземном слое атмосферы вблизи промышленных источников. Данные модели отличаются по уровню сложности и решаемым задачам, среди них можно выделить: ISC (США), ADMS (Англия), AERMOD (Канада, США), SILAM (Финляндия), MARS (Греция), DISPERSION21 (Швеция), EURAD (Германия), MERCURE (Франция), MILORD (Италия), SLP-2D (Испания), OPS (Нидерланды) и другие (Волошин В.Г., 2013).

Еще одно различие основано на временном масштабе: краткосрочные и долгосрочные модели. Краткосрочные модели применяются для оценки кратковременных эпизодов, характеризующихся высокими уровнями загрязнения воздуха, а долгосрочные модели проводят моделирование на длительный период (1 год), чтобы обеспечить оценку среднегодового значения для сравнения со стандартами качества воздуха.

Современные технологии прогнозирования загрязнения воздуха базируются на разработке региональных моделей атмосферы. Эти модели учитывают текущее состояние атмосферы, процессы рассеивания и осаждения основных загрязняющих веществ, включая воздействие автотранспорта. Примером такой системы в Европе является Enviro-HIRLAM (Environment – High Resolution Limited Area Model). Данная система представляет собой комбинированную модель численного прогноза погоды и атмосферного химического переноса, которая учитывает перенос и дисперсию загрязняющих веществ, химические процессы в атмосфере, динамику и осаждение аэрозолей, а также метеорологические параметры (Baklanov A и др., 2017).

Многие страны используют разработанную в США систему моделирования WRF-Chem (Weather Research and Forecasting), которая обеспечивает одновременное моделирование выбросов, переноса, смешивания и

химического преобразования газовых примесей и аэрозолей в сочетании с метеорологическими процессами (Srivastava I. и др., 2020; Grell, G. и др., 2005; Powers J.G и др., 2017). Наряду с WRF-Chem широко используется модель многомасштабного качества воздуха CMAQ (Community Multiscale Air Quality Modeling System), которая представляет собой комплексную систему моделирования качества воздуха с множеством загрязнителей, разработанную и поддерживаемую Управлением исследований и разработок Агентства по охране окружающей среды США (Hu J. и др., 2016; Shahrokhishahraki N. и др., 2022; Giovannini L. и др., 2020).

Модель SILAM (System for Integrated modeLling of Atmospheric coMposition) используется для моделирования и прогнозирования качества воздуха. Модель применима как на региональном, так и на глобальном уровне, отличается высокой адаптивностью, способной обрабатывать данные о различных типах атмосферных загрязнителей и включает инструменты для оценки здоровья и экологических рисков, что делает её особенно полезной для прикладных задач и планирования экологической политики.

Национальная гидрометеорологическая служба Казахстана размещает текущие и прогнозные данные качества атмосферного воздуха Республики Казахстан (http://ecodata.kz:3838/app_dem_visual/) на базе модели SILAM (https://silam.fmi.fi/roux/KAZ/) при поддержке Финского метеорологического института (рисунок 2).

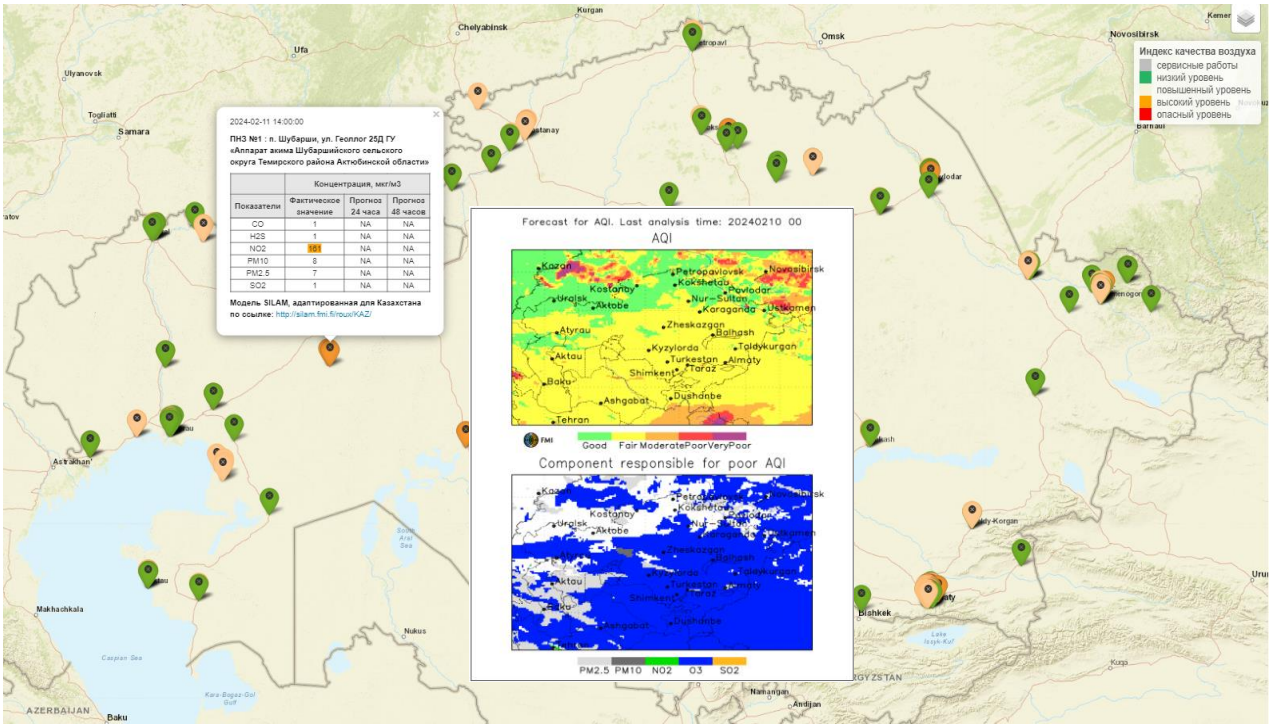


Рис.2. *Текущие и прогнозные данные качества атмосферного воздуха Республики Казахстан (https://www.kazhydromet.kz/ru/interactive_cards)*

Текущие данные по качеству воздуха представлены в виде фактических концентраций загрязняющих веществ по ПНЗ, прогностические данные представлены на 24 и 48 часов. Кроме того, можно посмотреть распространение загрязняющих веществ по территории Казахстана в режиме реального времени.

Использование SILAM сопряжено с некоторыми ограничениями: распространение ЗВ учитывается в слое, а не на конкретной поверхности, результаты моделирования в значительной степени зависят от качества входных данных (Sofiev M. и др., 2014).

Проведенный анализ современных математических моделей показал, что одной из передовых инструментальных систем для моделирования качества воздуха в исследуемом регионе является модель WRF-Chimere, которая объединяет прогноз погоды и химическое моделирование в одной системе, что позволяет точно оценивать воздействие метеорологических условий на распространение и трансформацию загрязнителей. Модель учитывает страновые кадастровые данные загрязнения

по секторам экономики из глобальной базы данных EDGAR (https://edgar.jrc.ec.europa.eu/). EDGAR предоставляет независимые оценки выбросов используя международную статистику и последовательную методологию МГЭИК.

WRF-Chimere легко интегрируется с различными наборами данных о выбросах и метеорологии, что упрощает адаптацию модели под конкретные исследовательские нужды региона исследования. Эффективность модели в прогнозировании последствий внедрения различных мер по контролю за загрязнением делает Chimere ценным инструментом для планирования экологической политики.

Модель представляет значительную ценность для научного сообщества и политиков, предоставляя надежные данные для принятия обоснованных решений в области экологии и управления качеством атмосферного воздуха.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Проведенное исследование демонстрирует, что мониторинг качества атмосферного воздуха Западно-Казахстанского региона представляет собой один из важнейших аспектов управления качеством окружающей среды.

При этом очевидно, что исследуемый регион сталкивается со значительными проблемами в отношении качества воздуха. Недропользование, промышленная деятельность, транспорт, методы ведения сельского хозяйства и природные факторы способствуют выбросам различных загрязняющих веществ, включая твердые частицы, оксиды азота, диоксид серы, аммиак, летучие органические соединения и др. Эти загрязняющие вещества не только ухудшают качество воздуха, но и создают серьезные риски для здоровья человека, экосистем и климата.

Учитывая незначительный охват изучаемой территории сетью наземного мониторинга, которая преимущественно концентрируется вокруг областных центров и крупных промышленных предприятий для уточнения пространственно-временных особенностей качества атмосферного воздуха на всей территории ЗКР использовались технологии мониторинга загрязнения с помощью дистанционного зондирования. Что дает возможность осуществлять мониторинг атмосферного загрязнения на всей территории ЗКР включая труднодоступные и отдаленные районы. Спутниковые системы способны детектировать различные типы загрязняющих веществ, что позволяет получить комплексное представление о качестве воздуха и его динамики.

Сочетание дистанционного зондирования, наземных станций государственной сети мониторинга, автоматических станций производственного мониторинга, моделирования качества воздуха с применением методов машинного обучения и искусственного интеллекта предлагает комплексный подход к оценке динамики качества воздуха ЗКР.

Моделирование качества воздуха с применением нейронных сетей и искусственного интеллекта позволяет более качественно прогнозировать будущие тенденции и сценарии возможного загрязнения воздушного бассейна в условиях социально-экономического развития Западно-Казахстанского региона.

Достижения в области диверсификации источников информации о качестве атмосферного воздуха, анализа данных и информационно-коммуникационных технологий предлагают инновационные решения для мониторинга в режиме реального времени, визуализации данных. Кроме того, международное сотрудничество и партнерства могут способствовать обмену знаниями, наращиванию потенциала и передаче технологий, позволяя региону использовать глобальный опыт и ресурсы для решения местных проблем с качеством воздуха.

Интеграция результатов мониторинга в экологическую политику ЗКР, инициативы в области регионального планирования и стратегии устойчивого развития может способствовать синергизму и совместным выгодам между секторами экономики. Уделяя приоритетное внимание переходу на экологически чистую энергетику, инвестициям в зеленую инфраструктуру и мерам по предотвращению загрязнения, регион может одновременно улучшить качество воздуха, укрепить здоровье населения и смягчить последствия изменения климата.

Комплексный подход для совершенствования системы управления качеством

атмосферного воздуха позволит минимизировать риски негативных последствий. В связи с этим, в 2023 году указом Президента Республики Казахстан утверждена Стратегии достижения углеродной нейтральности Республики Казахстан до 2060 года.

Благодарности: Работа выполнена при поддержке Комитета науки Министерства науки и высшего образования Республики Казахстан (грант № BR21882122). Авторы благодарят анонимных рецензентов и редакционную коллегию журнала за конструктивные замечания, предложения и рекомендации.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Национальный доклад о состоянии окружающей среды и об использовании природных ресурсов Республики Казахстан за 2021 год. – Электронный ресурс: https://www.gov.kz/memleket/entities/ecogeo/documents/details/383692?lang=ru (дата обращения 15.01.2024 г.).
2. Информационные бюллетени о состоянии окружающей среды Республики Казахстан. – Электронный ресурс: https://www.kazhydromet.kz/ru/ecology/ezhemesyachnyy-informacionnyy-byulleten-o-sostoyanii-okruzhayuschey-sredy (дата обращения 24.01.2024 г.).
3. Бюро национальной статистики Республики Казахстан. – Электронный ресурс: https://stat.gov.kz/ru/(дата обращения 10.01.2024 г.).
4. Сальников В.Г. Эколого-климатический потенциал Казахстана. - Алматы: Қазақ университеті, 2006. - 230 с.
5. Adilet, 2021. Environmental code of the Republic of Kazakhstan. – URL: https://adilet.zan.kz/rus/docs/V2100023517 (дата обращения 15.01.2024 г.).
6. IQAir, 2022a. World's Most Polluted Countries & Regions (Historical Data 2018-2021). – URL: https://www.iqair.com/world-most-polluted-countries
7. United States Air Quality Index (AQI) Live. – URL: https://www.aqi.in/us/dashboard/united-states
8. Lawrence M.G., Rasch P.J., von Kuhlmann R., Williams J., Fischer H., de Reus M., Lelieveld J., Crutzen P.J., Schultz M., Stier P., Huntrieser H., Heland J., Stohl A., Forster C., Elbern H., Jakobs H., Dickerson R.R. Global chemical weather forecasts for field campaign planning: predictions and observations of large-scale features during MINOS, CONTRACE and INDOEX // Atmospheric Chemistry & Physics. – 2003. – V. 3. – №1. – P. 267-289. https://doi.org/10.5194/acp-3-267-2003
9. Li Q., Jiang J.H., Wu D.L., Read W.G., Livesey N.J., Waters J.W., Zhang Y., Wang B., Filipiak M.J., Davis C.P., Turquety S., Wu S., Park R.J., Yantosca R.M., Jacob D.J. Convective outflow of South Asian pollution: A global CTM simulation compared with EOS MLS observations // Geophysical Research Letters. – 2005. – V. 32. – №14. – DOI: 10.1029/2005GL022762
10. Sokhi R.S., Baklanov A.A., Shlunzen K.H. Mesoscale modelling for meteorological and air pollution application. Anthem Press, 2018. 376 p.
11. Волошин В.Г. Динамическая модель загрязнения атмосферы с метеорологическим препроцессором. – Одесса: Экология, 2013. – 296 с.
12. Zhang, Y.; Bocquet, M.; Mallet, V.; Seigneur, C.; Baklanov, A. Real-time air quality forecasting, part I: History, techniques, and current status. Atmos. Environ. 2012, 60, p. 632–655.
13. Taheri Shahraiyni, H.; Sodoudi, S. Statistical Modeling Approaches for PM10 Prediction in Urban Areas; A Review of 21st-Century Studies. Atmosphere 2016, 7, 15.
14. Sykes, A.O. An Introduction to Regression Analysis. Am. Stat. 1993, 61, 101.
15. Mendenhall, W. Second Course in Statistics, A: Regression Analysis. Int. J. Gynaecol. Obstet. Off. Organ. Int. Fed. Gynaecol. Obstet. 2011, 78 (Suppl. 1), 1–5.
16. Mohammad Ahmad, Weihu Cheng, Zhao Xu, Abdul Kalam Outlier Detection of Air Quality for Two Indian Urban Cities Using Functional Data Analysis, Open Journal of Air Pollution, 2023, 12, 79-91.
17. Vikas Singh a, Shweta Singh, Akash Biswal, Amit P. Kesarkar, Suman Mor, Khaiwal Ravindra Diurnal and temporal changes in air pollution during COVID-19 strict lockdown over different regions of India. Environmental Pollution 266 (2020).
18. Chen Z., Zhuang Y., Xie X., Chen D., Cheng N., Yang L., Li R. Understanding long-term variations of meteorological influences on ground ozone concentrations in Beijing During 2006–2016 // Environmental Pollution. – 2019. – V. 245. – P. 29–37. DOI: 10.1016/j.envpol.2018.10.117.
19. Meng C., Cheng T., Gu X., Shi S., Wang W., Wu Y., Bao F. Contribution of meteorological factors to particulate pollution during winters in Beijing // Science of the Total Environment. – 2019. – V. 656. – P. 977–985. – DOI: 10.1016/j.scitotenv.2018.11.365
20. Kai Wang, · Chengxiu Ling· Ying Chen · Zhengjun Zhang Spatio-temporal joint modelling on moderate and extreme air pollution in Spain,Environmental and Ecological Statistics (2023) 30:601–624.
21. Elena Cerezuela-Escudero, Juan Manuel Montes-Sanchez, Juan Pedro Dominguez-Morales·Lourdes Duran-Lopez1 · Gabriel Jimenez-Moreno A systematic comparison of different machine learning models for the spatial estimation of air pollution, Applied Intelligence, 2023.
22. Shelby Zangari, Dustin T. Hill, Amanda T. Charette, Jaime E. Mirowsky Air quality changes in New York City during the COVID-19 pandemic. Science of The Total Environment, Volume 742, 10 November 2020, 140496. – URL: https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.140496.
23. Deng, J.L. Control problems of grey system. Syst. Control Lett. 1982, 1, 288–294.
24. Mishra, D.; Goyal, P. NO2 forecasting models Agra. Atmos. Pollut. Res. 2015, 6, 99–106.
25. Lu W.Z., Wang W.J., Wang X.K., Xu Z.B., Leung A.Y.T. Using improved neural network model to analyze RSP, NOx and NO2 levels in urban air in Mong Kok, Hong Kong Environmental Monitoring and Assessment, 87 (2003), p. 235-254.
26. Крамарева Л.С., Андреев А.И., Блощинский В.Д., Кучма М.О., Давиденко А.Н., Пустатинцев И.Н., Шамилова Ю. А., Холодов Е.И., Королёв С.П. Использование нейронных сетей в задачах гидрометеорологии // Вычислительные технологии. – 2019. – Т. 24. – № 6. – С. 50-59.

27. Shankar Subramaniam, Naveenkumar Raju, Abbas Ganesan, Nithyaprakash Rajavel, Maheswari Chenniappan, Chander Prakash Alokesh Pramanik, Animesh Kumar Basak and Saurav Dixit Artificial Intelligence Technologies for Forecasting Air Pollution and Human Health: A Narrative Review, Sustainability, 2022. – URL: https://doi.org/10.3390/su14169951.
28. A. Alimissis, Kostas Philippopoulos, Chris Tzanis, Despina Deligiorgi Spatial estimation of urban air pollution with the use of artificial neural network models, Atmospheric Environment, Volume 191, October 2018, Pages 205-213.
29. Tanisha Madan, Shrddha Sagar, Deepali Virmani Air Quality Prediction using Machine Learning Algorithms –A Review. Published in 2nd International Conference 18 December 2020, Environmental Science, Computer Science2020 2nd International Conference on Advances in Computing, Communication Control and Networking (ICACCCN).
30. Huixiang Liu, Qing Li, Dongbing Yu, Yu Gu Air Quality Index and Air Pollutant Concentration Prediction Based on Machine Learning Algorithms. Appl. Sci. 2019, 9(19), 4069. – URL: https://doi.org/10.3390/app9194069
31. Katharine M. Banner, Kathryn M. Irvine, Thomas J. Rodhouse The use of Bayesian priors in Ecology: The good, the bad and the not great. Ecology and Evolution, 2020. Volume11, Issue8. – URL: https://doi.org/10.1111/2041-210X.13407
32. Обухов А.Д., Краснянский М.Н. Нейросетевая архитектура информационных систем // Компьютерные науки. - 2019. - Т. 29. - Вып. 3. - С. 438–455.
33. Svozilík V., Svozilíková Krakovská A., BittaJ., Jančík P. Comparison of the Air Pollution Mathematical Model of PM10 and Moss Biomonitoring Results in the Tritia Region // Atmosphere 2021, 12(6), 656. URL: https://doi.org/10.3390/atmos12060656
34. EPA, U.S. EPA OAQPS Guideline Series - GUIDELINE ON AIR QUALITY MODELS. Available online: https://nepis.epa.gov/Exe/ZyPDF.cgi/ 91005584.PDF?Dockey=91005584.PDF
35. Leelossy A., Molnar Jr. F., Izsak F., Havasi A., Lagzi I., Meszaros R. Dispersion modeling of air pollutants in the atmosphere: a review // Central European Journal of Geosciences. 2014. - V. 6. - P. 257-278. DOI:10.2478/s13533-012-0188-6
36. Старченко А.В., Шельмина Е.А., Кижнер Л.И., Одинцов С.Л. Численное моделирование качества воздуха над городом Томском при слабом ветре // Вестник Томского государственного университета. - 2022. - №79. - С. 25-43. – doi: 10.17223/19988621/79/3.
37. Aermod implementation guide EPA-454/B-23-009 / United States Environmental Protection Agency. - 2023. URL: https://gaftp.epa.gov/Air/aqmg/SCRAM/models/preferred/aermod/aermod_implementation_guide.pdf.
38. Melo A., Santos J.M., Mavroidis I., Reis Jr N.C. Modelling of odour dispersion around a pig farm building complex using AERMOD and CALPUFF. Comparison with wind tunnel results // Building and environment. – 2012. – V. 56. – P. 8-20.
39. Рашевский Н.М. Поддержка принятия решений в процессе мониторинга загрязнения атмосферного воздуха городских территорий. Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук. - Волгоград, 2019. - 144 с.
40. Recommendations when using the GRAL/GRAMM modelling system. 2020. – URL: https://github.com/GralDispersionModel/GRALRecommendations
41. Hurley P. TAPM V4. Part 1: Technical Description // CSIRO Marine and Atmospheric Research. – 2008. – №25. – 59 p. – URL: https://www.cmar.csiro.au/research/tapm/docs/tapm_v4_technical_paper_part1.pdf
42. CALPUFF Modeling System. - Exponent Inc. - 2019. - 226 p. – URL: https://www.src.com/calpuff/download/CALPUFF_UsersGuide.pdf
43. Kim G., Lee M.I., Lee S., Choi S.D., Kim S.J., Song C.K. Numerical modeling for the accidental dispersion of hazardous air pollutants in the urban metropolitan area // Atmosphere. - 2020. - V. 11(5), 477. doi:10.3390/atmos11050477.
44. Marchuk G.I. Mathematical Models in Environmental Problems. Elsevier Science. - 1986. - 220 p.
45. Пененко В.В., Алоян А.Е. Модели и методы для задач охраны окружающей среды. – Новосибирск: Наука. Сибирское отделение, 1985. – 256 с.
46. Дробышевский Н.И., Зайчик Л.И., Мукин Р.В., Стрижов В.Ф., Филиппов А.С. Развитие и применение диффузионноинерционной модели для расчета газодисперсных турбулентных течений // Теплофизика и аэромеханика. - 2009. - Т. 16. - № 4. - С. 553-572.
47. Baklanov A., Korsholm U., Nuterman R., Mahura A., Nielsen K.P., Sass B.H., Rasmussen A., Zakey A., Kaas E., Kurganskiy A., Sørensen B., González-Aparicio I. Enviro-HIRLAM online integrated meteorology–chemistry modelling system: strategy, methodology, developments and applications (v7.2) // Geosci. Model Dev. 2017. V. 10. P. 2971–2999. – doi: 10.5194/gmd10-2971-2017
48. Srivastava I., Yarragunta S., Kumar R., Mitra D. Distribution of surface carbon monoxide over the Indian subcontinent: Investigation of source contributions using WRF-Chem // Atmospheric Environment. - 2020. - V. 243(15). - P. 117838. – doi: 10.1016/j.atmosenv.2020.117838
49. Grell, G., Peckham S.E., Schmitz R., McKeen S., Frost G., Skamarock W.C., Eder B. Fully coupled “online” chemistry within the WRF model // Atmospheric Environment. - 2005. - V. 39(37), - P. 6957–6975. – doi: 10.1016/j.atmosenv.2005.04.027
50. Powers J.G., Klemp J.B., Skamarock W.C., Davis C.A., Dudhia J., Gill D.O. et al. The Weather Research and Forecasting Model: Overview, System Efforts, and Future Directions // Bulletin of the American Meteorological Society/ - 2017. - V. 98(8). - P. 1717–1737. – doi:10.1175/BAMS-D-15-00308.1
51. Hu J., Chen J., Ying Q., Zhang H. One-year simulation of ozone and particulate matter in China using WRF/CMAQ modeling system // Atmospheric Chemistry and Physics. - 2016. - V. 16(16). - P. 10333–10350. – doi:10.5194/acp-16-10333-2016
52. Shahrokhishahraki N., Rayner P.J., Silver J.D., Thomas S., Schofield R. High-resolution modeling of gaseous air pollutants over Tehran and validation with surface and satellite data // Atmospheric Environment. - 2022. - V. 270. - P. 118881. URL: https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2021.118881.

53. Giovannini L., Ferrero E., Karl T., Rotach M.W., Staquet C., Castelli S.T., Zardi D. Atmospheric Pollutant Dispersion over Complex Terrain: Challenges and Needs for Improving Air Quality Measurements and Modeling // Atmosphere. - 2020. - V. 11(6), 646. – https://doi.org/10.3390/atmos11060646

54. Sofiev M., Vira J., Prank M., Soares J., Kouznetsov R. An outlook of System for Integrated modeLling of Atmospheric coMposition SILAM v.5. In: Steyn, D., Builtjes, P., Timmermans, R. (eds) Air Pollution Modeling and its Application XXII. NATO Science for Peace and Security Series C: Environmental Security. Springer, Dordrecht. - 2014. - P. 397-400. – URL: https://doi.org/10.1007/978-94-007-5577-2_67

REFERENCES

1. Natsional'nyi doklad o sostoyanii okruzhayushchei sredy i ob ispol'zovanii prirodnykh resursov Respubliki Kazakhstan za 2021 god. – Elektronnyi resurs: https://www.gov.kz/memleket/entities/ecogeo/documents/details/383692?lang=ru (data obrashcheniya 15.01.2024 g.).

2. Informatsionnye byulleteni o sostoyanii okruzhayushchei sredy Respubliki Kazakhstan. – Elektronnyi resurs: https://www.kazhydromet.kz/ru/ecology/ezhemesyachnyy-informacionnyy-byulleten-o-sostoyanii-okruzhayuschey-sredy (data obrashcheniya 24.01.2024 g.).

3. Byuro natsional'noi statistiki Respubliki Kazakhstan. – Elektronnyi resurs: https://stat.gov.kz/ru/ (data obrashcheniya 10.01.2024 g.).

4. Sal'nikov V.G. Ekologo-klimaticheskii potentsial Kazakhstana. - Almaty: Қазақ universiteti, 2006. - 230 s.

5. Adilet, 2021. Environmental code of the Republic of Kazakhstan. – URL: https://adilet.zan.kz/rus/docs/V2100023517 (data obrashcheniya 15.01.2024 g.).

6. IQAir, 2022a. World's Most Polluted Countries & Regions (Historical Data 2018-2021). – URL: https://www.iqair.com/world-most-polluted-countries.

7. United States Air Quality Index (AQI) Live. – URL: https://www.aqi.in/us/dashboard/united-states

8. Lawrence M.G., Rasch P.J., von Kuhlmann R., Williams J., Fischer H., de Reus M., Lelieveld J., Crutzen P.J., Schultz M., Stier P., Huntrieser H., Heland J., Stohl A., Forster C., Elbern H., Jakobs H., Dickerson R.R. Global chemical weather forecasts for field campaign planning: predictions and observations of large-scale features during MINOS, CONTRACE and INDOEX // Atmospheric Chemistry & Physics. – 2003. – V. 3. – №1. – R. 267-289. https://doi.org/10.5194/acp-3-267-2003.

9. Li Q., Jiang J.H., Wu D.L., Read W.G., Livesey N.J., Waters J.W., Zhang Y., Wang B., Filipiak M.J., Davis C.P., Turquety S., Wu S., Park R.J., Yantosca R.M., Jacob D.J. Convective outflow of South Asian pollution: A global CTM simulation compared with EOS MLS observations // Geophysical Research Letters. – 2005. – V. 32. – №14. –DOI: 10.1029/2005GL022762

10. Sokhi R.S., Baklanov A.A., Shlunzen K.H. Mesoscale modelling for meteorological and air pollution application. Anthem Press, 2018. 376 p.

11. Voloshin V.G. Dinamicheskaya model' zagryazneniya atmosfery s meteorologicheskim preprotsessorom. – Odessa: Ekologiya, 2013. – 296 p.

12. Zhang, Y.; Bocquet, M.; Mallet, V.; Seigneur, C.; Baklanov, A. Real-time air quality forecasting, part I: History, techniques, and current status. Atmos. Environ. 2012, 60, p. 632–655.

13. Taheri Shahraiyni, H.; Sodoudi, S. Statistical Modeling Approaches for PM10 Prediction in Urban Areas; A Review of 21st-Century Studies. Atmosphere 2016, 7, 15.

14. Sykes, A.O. An Introduction to Regression Analysis. Am. Stat. 1993, 61, 101.

15. Mendenhall, W. Second Course in Statistics, A: Regression Analysis. Int. J. Gynaecol. Obstet. Off. Organ. Int. Fed. Gynaecol. Obstet. 2011, 78 (Suppl. 1), 1–5.

16. Mohammad Ahmad, Weihu Cheng, Zhao Xu, Abdul Kalam Outlier Detection of Air Quality for Two Indian Urban Cities Using Functional Data Analysis, Open Journal of Air Pollution, 2023, 12, 79-91.

17. Vikas Singh a, Shweta Singh, Akash Biswal, Amit P. Kesarkar, Suman Mor, Khaiwal Ravindra Diurnal and temporal changes in air pollution during COVID-19 strict lockdown over different regions of India. Environmental Pollution 266 (2020).

18. Chen Z., Zhuang Y., Xie X., Chen D., Cheng N., Yang L., Li R. Understanding long-term variations of meteorological influences on ground ozone concentrations in Beijing During 2006–2016 // Environmental Pollution. – 2019. – V. 245. – P. 29–37. – DOI: 10.1016/j.envpol.2018.10.117

19. Meng C., Cheng T., Gu X., Shi S., Wang W., Wu Y., Bao F. Contribution of meteorological factors to particulate pollution during winters in Beijing // Science of the Total Environment. – 2019. – V. 656. – P. 977–985. – DOI: 10.1016/j.scitotenv.2018.11.365

20. Kai Wang, · Chengxiu Ling· Ying Chen · Zhengjun Zhang Spatio-temporal joint modelling on moderate and extreme air pollution in Spain,Environmental and Ecological Statistics (2023) 30:601–624.

21. Elena Cerezuela-Escudero, Juan Manuel Montes-Sanchez, Juan Pedro Dominguez-Morales·Lourdes Duran-Lopez1 · Gabriel Jimenez-Moreno A systematic comparison of different machine learning models for the spatial estimation of air pollution, Applied Intelligence, 2023.

22. Shelby Zangari, Dustin T. Hill, Amanda T. Charette, Jaime E. Mirowsky Air quality changes in New York City during the COVID-19 pandemic. Science of The Total Environment, Volume 742, 10 November 2020, 140496. – URL: https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.140496

23. Deng, J.L. Control problems of grey system. Syst. Control Lett. 1982, 1, 288–294.

24. Mishra, D.; Goyal, P. NO2 forecasting models Agra. Atmos. Pollut. Res. 2015, 6, 99–106.

25. Lu W.Z., Wang W.J., Wang X.K., Xu Z.B., Leung A.Y.T. Using improved neural network model to analyze RSP, NOx and NO2 levels in urban air in Mong Kok, Hong Kong Environmental Monitoring and Assessment, 87 (2003), p. 235-254.

26. Kramareva L.S., Andreev A.I., Bloshchinskii V.D., Kuchma M.O., Davidenko A.N., Pustatintsev I.N., Shamilova Yu. A., Kholodov E.I., Korolev S.P. Ispol'zovanie neironnykh setei v zadachakh gidrometeorologii // Vychislitel'nye tekhnologii. – 2019. – T. 24. – № 6. – S. 50-59.

27. Shankar Subramaniam, Naveenkumar Raju, Abbas Ganesan, Nithyaprakash Rajavel, Maheswari Chenniappan, Chander Prakash Alokesh Pramanik, Animesh Kumar Basak and Saurav Dixit Artificial Intelligence Technologies for Forecasting Air Pollution and Human Health: A Narrative Review, Sustainability, 2022. – URL: ttps://doi.org/10.3390/su14169951

28. A. Alimissis, Kostas Philippopoulos, Chris Tzanis, Despina Deligiorgi Spatial estimation of urban air pollution with the use of artificial neural network models, Atmospheric Environment, Volume 191, October 2018, Pages 205-213.
29. Tanisha Madan, Shrddha Sagar, Deepali Virmani Air Quality Prediction using Machine Learning Algorithms –A Review. Published in 2nd International Conference… 18 December 2020, Environmental Science, Computer Science2020 2nd International Conference on Advances in Computing, Communication Control and Networking (ICACCCN).
30. Huixiang Liu, Qing Li, Dongbing Yu, Yu Gu Air Quality Index and Air Pollutant Concentration Prediction Based on Machine Learning Algorithms. Appl. Sci. 2019, 9(19), 4069. – URL: https://doi.org/10.3390/app9194069
31. Katharine M. Banner, Kathryn M. Irvine, Thomas J. Rodhouse The use of Bayesian priors in Ecology: The good, the bad and the not great. Ecology and Evolution, 2020. Volume11, Issue8. – URL: https://doi.org/10.1111/2041-210X.13407
32. Obukhov A.D., Krasnyanskii M.N. Neirosetevaya arkhitektura informatsionnykh sistem // Komp'yuternye nauki. - 2019. - T. 29. - Vyp. 3. - S. 438–455.
33. Svozilík V., Svozilíková Krakovská A., BittaJ., Jančík P. Comparison of the Air Pollution Mathematical Model of PM10 and Moss Biomonitoring Results in the Tritia Region // Atmosphere 2021, 12(6), 656. – URL: https://doi.org/10.3390/atmos12060656
34. EPA, U.S. EPA OAQPS Guideline Series - GUIDELINE ON AIR QUALITY MODELS. Available online: https://nepis.epa.gov/Exe/ZyPDF.cgi/91005584.PDF?Dockey=91005584.PDF
35. Leelossy A., Molnar Jr. F., Izsak F., Havasi A., Lagzi I., Meszaros R. Dispersion modeling of air pollutants in the atmosphere: a review // Central European Journal of Geosciences. 2014. - V. 6. - P. 257-278. – DOI:10.2478/s13533-012-0188-6
36. Starchenko A.V., Shel'mina E.A., Kizhner L.I., Odintsov S.L. Chislennoe modelirovanie kachestva vozdukha nad gorodom Tomskom pri slabom vetre // Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo universiteta. - 2022. - №79. - S. 25-43. – doi: 10.17223/19988621/79/3
37. Aermod implementation guide EPA-454/B-23-009 / United States Environmental Protection Agency. - 2023. https://gaftp.epa.gov/Air/aqmg/SCRAM/models/preferred/aermod/aermod_implementation_guide.pdf.
38. Melo A., Santos J.M., Mavroidis I., Reis Jr N.C. Modelling of odour dispersion around a pig farm building complex using AERMOD and CALPUFF. Comparison with wind tunnel results // Building and environment. – 2012. – V. 56. – P. 8-20.
39. Rashevskii N.M. Podderzhka prinyatiya reshenii v protsesse monitoringa zagryazneniya atmosfernogo vozdukha gorodskikh territorii. Dissertatsiya na soiskanie uchenoi stepeni kandidata tekhnicheskikh nauk. - Volgograd, 2019. - 144 p.
40. Recommendations when using the GRAL/GRAMM modelling system. 2020. https://github.com/GralDispersionModel/GRALRecommendations
41. Hurley P. TAPM V4. Part 1: Technical Description // CSIRO Marine and Atmospheric Research. – 2008. – №25. – 59 p. – URL: https://www.cmar.csiro.au/research/tapm/docs/tapm_v4_technical_paper_part1.pdf.
42. CALPUFF Modeling System. - Exponent Inc. - 2019. - 226 r. – URL: https://www.src.com/calpuff/download/CALPUFF_UsersGuide.pdf.
43. Kim G., Lee M.I., Lee S., Choi S.D., Kim S.J., Song C.K. Numerical modeling for the accidental dispersion of hazardous air pollutants in the urban metropolitan area // Atmosphere. - 2020. - V. 11(5), 477. – doi:10.3390/atmos11050477
44. Marchuk G.I. Mathematical Models in Environmental Problems. Elsevier Science. - 1986. - 220 p.
45. Penenko V.V., Aloyan A.E. Modeli i metody dlya zadach okhrany okruzhayushchei sredy. – Novosibirsk: Nauka. Sibirskoe otdelenie, 1985. – 256 s.
46. Drobyshevskii N.I., Zaichik L.I., Mukin R.V., Strizhov V.F., Filippov A.S. Razvitie i primenenie diffuzionnoinertsionnoi modeli dlya rascheta gazodispersnykh turbulentnykh techenii // Teplofizika i aeromekhanika. - 2009. - T. 16. - № 4. - C. 553-572
47. Baklanov A., Korsholm U., Nuterman R., Mahura A., Nielsen K.P., Sass B.H., Rasmussen A., Zakey A., Kaas E., Kurganskiy A., Sørensen B., González-Aparicio I. Enviro-HIRLAM online integrated meteorology–chemistry modelling system: strategy, methodology, developments and applications (v7.2) // Geosci. Model Dev. 2017. V. 10. P. 2971–2999. – doi: 10.5194/gmd10-2971-2017
48. Srivastava I., Yarragunta S., Kumar R., Mitra D. Distribution of surface carbon monoxide over the Indian subcontinent: Investigation of source contributions using WRF-Chem // Atmospheric Environment. - 2020. - V. 243(15). - R. 117838. – doi: 10.1016/j.atmosenv.2020.117838
49. Grell, G., Peckham S.E., Schmitz R., McKeen S., Frost G., Skamarock W.C., Eder B. Fully coupled "online" chemistry within the WRF model // Atmospheric Environment. - 2005. - V. 39(37), - P. 6957–6975. – doi: 10.1016/j.atmosenv.2005.04.027
50. Powers J.G., Klemp J.B., Skamarock W.C., Davis C.A., Dudhia J., Gill D.O. et al. The Weather Research and Forecasting Model: Overview, System Efforts, and Future Directions // Bulletin of the American Meteorological Society/ - 2017. - V. 98(8). - P. 1717–1737. – doi:10.1175/BAMS-D-15-00308.1
51. Hu J., Chen J., Ying Q., Zhang H. One-year simulation of ozone and particulate matter in China using WRF/CMAQ modeling system // Atmospheric Chemistry and Physics. - 2016. - V. 16(16). - P. 10333–10350. – doi:10.5194/acp-16-10333-2016
52. Shahrokhishahraki N., Rayner P.J., Silver J.D., Thomas S., Schofield R. High-resolution modeling of gaseous air pollutants over Tehran and validation with surface and satellite data // Atmospheric Environment. - 2022. - V. 270. - P. 118881. – URL: https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2021.118881
53. Giovannini L., Ferrero E., Karl T., Rotach M.W., Staquet C., Castelli S.T., Zardi D. Atmospheric Pollutant Dispersion over Complex Terrain: Challenges and Needs for Improving Air Quality Measurements and Modeling // Atmosphere. - 2020. - V. 11(6), 646. – URL: https://doi.org/10.3390/atmos11060646
54. Sofiev M., Vira J., Prank M., Soares J., Kouznetsov R. An outlook of System for Integrated modeLling of Atmospheric coMposition SILAM v.5. In: Steyn, D., Builtjes, P., Timmermans, R. (eds) Air Pollution Modeling and its Application XXII. NATO Science for Peace and Security Series C: Environmental Security. Springer, Dordrecht. - 2014. - R. 397-400. – URL: https://doi.org/10.1007/978-

БАТЫС ҚАЗАҚСТАН ӨҢІРІНІҢ АТМОСФЕРАЛЫҚ АУА САПАСЫНЫҢ МОНИТОРИНГІ: ПРИНЦИПТЕРІ, ӘДІСТЕРІ, ТӘСІЛДЕРІ

В.Г. Сальников[1] *г.ғ.д., профессор*, **С.Е. Полякова[1]** *г.ғ.к.доцент*, **А.А. Ульман[1]** *г.ғ.к., доцент*, **А.М. Кауазов[1]** *г.ғ.к.*, **М.О. Турсумбаева[1]** *Phd*, **Д.К. Кисебаев[2]**, **Д.И. Миськив[1]**, **Е.Е. Белдеубаев[1]***, **Г.Т. Мусралинова[1]**, **С.О. Кожагулов[1]**

[1]әл-Фараби атындағы Қазақ Ұлттық университеті, Алматы, Қазақстан
[2]"Қазгидромет" РМК, Алматы, Қазақстан
E-mail: yerkebulan.beldeubayev@kaznu.edu.kz

Мақалада Батыс Қазақстанды мысалға ала отырып атмосфераның ластану ерекшеліктері мен жағдайларын зерттеудің негізгі тәсілдері мен әдістері қарастырылды. Қолданылатын тәсілдерді тақырыптар, әдістер, уақыт аралықтары және басқа да тиісті критерийлер бойынша жіктеу мен топтастыру жүргізілді. Атмосфераға түсетін таталымдардың көздері мен көлеміне, сондай-ақ ауа бассейнінің ластануын бақылау жүйелері туралы қолда бар ақпаратқа талдау жүргізілді. Атмосфералық ауаның сапасын басқару жүйесінің тиімділігін арттыру үшін ластанудың әртүрлі деңгейлерін анықтайтын метеорологиялық факторлар мен синоптикалық жағдайлардың әсерін ескере отырып, кешенді тәсілді қолданған жөн. Атмосфералық ауадағы ластаушы заттардың таралуын модельдеудің заманауи әдістеріне аналитикалық шолу терең машиналық оқытумен біріктірілген статистикалық әдістерді және турбулентті диффузияның Эйлер континуальды моделін қолданудың қажеттілігін көрсетті. Алынған тұжырымдар болашақта зерттелетін аймақтың атмосфералық ауа сапасын басқару жүйесін жетілдіру үшін кешенді тәсілді қолдануға мүмкіндік береді.

Түйін сөздер: экология, мониторинг, атмосфералық ауа, ластаушы көздер, ластаушы заттардың лақтырылымы, метеорологиялық жағдай, модельдеу, Батыс Қазақстан.

AIR QUALITY MONITORING IN THE WEST KAZAKHSTAN REGION: PRINCIPLES, METHODS, APPROACHES

V. Salnikov[1] *Dr.Geo.Sci., Professor*, **S. Polyakova[1]** *Canidate Geo.Sci., Associate Professor*, **A. Ullman[1]** *Canidate Geo.Sci.,* Associate Professor, **A. Kauazov[1]** *Canidate Geo.Sci.*, **M. Tursumbayeva[1]***Phd*, **D. Kisebayev[2]**, **D. Miskiv[1]**, **E. Beldeubayev[1]***, **G. Musralinova[1]**, **S. Kozhagulov[1]**

[1]al-Farabi Kazakh National University, Almaty, Kazakhstan
[2]RSE "Kazhydromet", Almaty, Kazakhstan
E-mail: yerkebulan.beldeubayev@kaznu.edu.kz

The main approaches and methods of studying the characteristics and conditions of atmospheric pollution on the example of Western Kazakhstan are considered. The classification and grouping of applied approaches by topics, methods, time intervals and other relevant criteria was conducted. An analysis of the available information on the sources and volumes of emissions into the atmosphere, as well as on the systems for monitoring the pollution of the air basin, was carried out. It is shown that to increase the effectiveness of the atmospheric air quality management system, it is expedient to use a complex approach taking into account the influence of meteorological factors and synoptic conditions that determine different levels of pollution. An analytical review of modern methods of modeling the spread of pollutants in atmospheric air showed the feasibility of using statistical methods integrated with deep machine learning and the Eulerian continuum model of turbulent diffusion. The obtained conclusions will allow further use of an integrated approach to improve the atmospheric air quality management system of the studied region.

Keywords: ecology, monitoring, atmospheric air, pollution sources, pollutants, meteorological conditions, modeling, Western Kazakhstan.

Сведения об авторах/Авторлар туралы мәліметтер/Information about authors:

В.Г. Сальников —д.г.н., профессор кафедры метеорологии и гидрологии, КазНУ им.аль-Фараби, *Vitali.Salnikov@kaznu.kz*
С.Е. Полякова—к.г.н., доцент кафедры метеорологии и гидрологии, КазНУ им.аль-Фараби, *svetlana.olyakova@kaznu.kz*
А.А.Ульман—к.г.н., доцент кафедры картографии и геоинформатики, КазНУ им.аль-Фараби, *ullman33@gmail.com*
А.М. Кауазов— к.г.н., ст. преподователь кафедры метеорологии и гидрологии, КазНУ им.аль-Фараби, *a_kauazov@mail.ru*
М.О. Турсумбаева— phd, ст.преподователь кафедры метеорологии и гидрологии, КазНУ им.аль-Фараби, *tursumbaeva.madina@gmail.com*
Д.К. Кисебаев—начальник отдела метеорологических прогнозов, Филиал РГП «Казгидромет» по г. Алматы и Алматинской обл., *daulet-ktl@mail.ru*
Д.И. Миськив— инженер программист , АО НИТ, *danil.miskiv@mail.ru*
Е.Е. Белдеубаев—докторант, КазНУ им.аль-Фараби, *yerke_beldeubayev@mail.ru*
Г.Т. Мусралинова —докторант, КазНУ им.аль-Фараби, *fog555meteo@gmail.com*
С.О. Кожагулов—докторант, КазНУ им.аль-Фараби, *s_kozhagulov@mail.ru*

В.Г. Сальников—г.ғ.д, метеорология және гидрология кафедрасының профессоры, әл-Фараби атындағы ҚазҰУ, *Vitali.Salnikov@kaznu.kz*
С.Е. Полякова—г.ғ.к., метеорология және гидрология кафедрасының доценті, әл-Фараби атындағы ҚазҰУ, *svetlana.polyakova@kaznu.kz*
А.А. Ульман—г.ғ.к., картография және геодезия кафедрасының доценті, әл-Фараби атындағы ҚазҰУ, *ullman33@gmail.com*
А.М. Кауазов—г.ғ.к., метеорология және гидрология кафедрасының аға оқытушысы, әл-Фараби атындағы ҚазҰУ*, a_kauazov@mail.ru*
М.О. Турсумбаева —Phd, метеорология және гидрология кафедрасының аға оқытушысы, әл-Фараби атындағы ҚазҰУ, *tursumbaeva.madina@gmail.com*
Д.К. Кисебаев —метеорологиялық болжамдар бөлімінің басшысы, РМК «Қазгидромет» Алматық қ. және Алматы обл. филиалы, *daulet-ktl@mail.ru*
Д.И. Миськив —инженер программист, АҚ Ұлттық ғылыми технология, *danil.miskiv@mail.ru*
Е.Е. Белдеубаев—докторант, әл-Фараби атындағы ҚазҰУ, *yerke_beldeubayev@mail.ru*
Г.Т. Мусралинова —докторант, әл-Фараби атындағы ҚазҰУ, *fog555meteo@gmail.com*
С.О. Кожагулов—докторант, әл-Фараби атындағы ҚазҰУ, *s_kozhagulov@mail.ru*

Salnikov V. —Dr.Geo.Sci., Professor of the Department кафедры of Meteorology and Hydrology, Al-Farabi Kazakh National University, *Vitali.Salnikov@kaznu.kz*
Polyakova S. —Canidate Geo.Sci, Associate Professor of the Department of Meteorology and Hydrology, Al-Farabi Kazakh National University, *svetlana.polyakova@kaznu.kz*
Ullman A. —Canidate Geo.Sci, Associate Professor of the Department Cartography and Geoinformatics, Al-Farabi Kazakh National University, *ullman33@gmail.com*
Kauazov A. —Canidate Geo.Sci, Senior Lecter of the Department of Meteorology and Hydrology, Al-Farabi Kazakh National University, *a_kauazov@mail.ru*
Tursumbayeva M.—Phd, Senior Lecturer of the Department of Meteorology and Hydrology, Al-Farabi Kazakh National University, *tursumbaeva.madina@gmail.com*
Kisebyaev D. —Head of Meteorological Forecasts Dapertment, Branch of RSE Kazgidromet in Almaty and Almaty region, *daulet-ktl@mail.ru*
Miskiv D. —Engineer programmer, Joint -Stock Company National infrastructure technologies, *danil.miskiv@mail.ru*
Beldeubayev E. —Phd student, Al-Farabi Kazakh National University, *yerke_beldeubayev@mail.ru*
Musralonova G.—Phd student, Al-Farabi Kazakh National University, *fog555meteo@gmail.com*
Kozhagulov S. —Phd student, Al-Farabi Kazakh National University, *s_kozhagulov@mail.ru*

Вклад авторов/ Авторлардың қосқан үлесі/ Authors' contribution:

В.Г. Сальников – разработка концепции, ресурсы, подготовка и редактирование текста, визуализация
С.Е. Полякова, **А.А.Ульман**, **А.М. Кауазов—** разработка методологии, ресурсы, подготовка и редактирование текста, визуализация
М.О. Турсумбаева, Д.К. Кисебаев, **Г.Т. Мусралинова —** разработка методологии, проведение исследования, ресурсы, подготовка и редактирование текста, визуализация
Д.И. Миськив, **Е.Е. Белдеубаев**, **С.О. Кожагулов —** проведение исследования, ресурсы, подготовка и редактирование текста, визуализация

В.Г.Сальников – тұжырымдаманы әзірлеу, ресурстар, мәтінді дайындау және өңдеу, көрнекілік
С.Е. Полякова, **А.А.Ульман**, **А.М. Кауазов –** әдістемені әзірлеу, ресурстар, мәтінді дайындау және өңдеу, көрнекілік
М.О. Турсумбаева, Д.К. Кисебаев, **Г.Т. Мусралинова –** әдістемені әзірлеу, зерттеу жүргізу, ресурстар, мәтінді дайындау және өңдеу, көрнекілік
Д.И. Миськив, **Е.Е. Белдеубаев**, **С.О. Кожагулов –** зерттеу жүргізу, ресурстар, мәтінді дайындау және өңдеу, көрнекілік

V.G. Salnikov – concept development, methodology development, conducting a research, resources, preparing and editing the text, visualization
S.E. Polyakova, A.A. Ullman, A.M. Kauazov – methodology development, conducting a research, resources, preparing and editing the text, visualization
M.O. Tursumbayeva, D.K. Kisebayev, G.T. Musralinova – methodology development, conducting a research, resources, preparing and editing the text, visualization
D.I. Miskiv, E.E. Beldeubayev, S.O. Kozhagulov – conducting a research, resources, preparing and editing the text, visualization

УДК 551.311.21:627.141.2 **МРНТИ 37.27.21; 37.27.25**

ОБЗОР СЕЛЕВОЙ ОПАСНОСТИ ДОЖДЕВОГО ГЕНЕЗИСА ПО ГОРНОЙ ТЕРРИТОРИИ РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН ЗА 2023 ГОД

Р.К. Яфязова* *д.т.н., доцент,* **Б.С. Степанов** *д.г.н., профессор,* **С.А. Буралхиев**

РГП «Казгидромет», Алматы, Казахстан
E-mail: yafyazova@gmail.com

Обзор подготовлен по результатам мониторинга селевой опасности дождевого генезиса по горной территории Республики Казахстан за 2023 год. Мониторинг осуществлялся для селеопасных районов Алматинской, Жетысуской, Жамбылской, Туркестанской, Мангистауской, Абайской и Восточно-Казахстанской областей. В селеопасные районы входят хребты Иле, Кунгей, Терискей, Жетысу, Киргизский и Таласский Алатау, Угамский хребет, горы Мангыстау, Саур, Тарбагатай и Казахстанский Алтай. В Обзоре приведена Карта селевой опасности территории Республики Казахстан, информация о гидрометеорологической ситуации и селепроявлениях в селеопасном периоде 2023 года. В процессе мониторинга использовалась информация государственной наблюдательной сети РГП «Казгидромет» в оперативном режиме, синоптические и численные прогнозы погоды РГП «Казгидромет» и т.д.

Ключевые слова: сель, селевая опасность, метод сверхкраткосрочного прогноза селей, дождь, температура воздуха, нулевая изотерма, снеговая линия, увлажнение почвогрунтов.

Поступила: 05.02.24
DOI: 10.54668/2789-6323-2024-113-2-150-168

ВВЕДЕНИЕ

Республика Казахстан занимает территорию, площадь которой составляет 2 724 902 км². На долю гор и предгорий, где в основном сели формируются и наносят ущерб, приходится около 13 % территории. Территория предгорий, по своим природным особенностям, относится к наиболее пригодной для постоянного проживания, поэтому плотность населения относительно высокая, здесь проживает более 1/3 населения страны.

Деятельность по ведению метеорологического и гидрологического мониторингов, и мониторинга состояния окружающей среды с использованием государственной наблюдательной сети, относится к государственной монополии и осуществляется Национальной гидрометеороогической службой – юридическим лицом, созданным по решению Правительства Республики Казахстан в организационно-правовой форме республиканского государственного предприятия на праве хозяйственного ведения (Экологический кодекс Республики Казахстан, 2023).

Согласно Экологического кодекса Республики Казахстан, выдача штормовых предупреждений о возможности и факте возникновения опасных и стихийных гидрометеорологических явлений возложена на Национальную гидрометеорологическую службу Казахстана (Экологический кодекс Республики Казахстан, 2023).

В 2023 году управление исследования селевых процессов и прогнозирования селей РГП «Казгидромет» в рамках мониторинга селевой опасности дождевого генезиса в селеопасный период (май...сентябрь) осуществляло выпуск ежедневного бюллетеня селевой опасности дождевого генезиса, который включает консультации о селевой опасности для селеопасных районов Алматинской, Жетысуской, Жамбылской, Туркестанской, Мангистауской, Абайской и Восточно-Казахстанской областей. В селеопасные районы входят хребты Иле, Кунгей, Терискей, Жетысу, Киргизский и Таласский Алатау, Угамский хребет, горы Мангыстау, Саур, Тарбагатай и Казахстанский Алтай (рисунок 1).

Рис. 1. *Карта селевой опасности территории Республики Казахстан*

За селеопасный период 2023 года было выпущено 104 ежедневных бюллетеня селевой опасности дождевого генезиса, 24 сверхкраткосрочных прогноза селевой опасности дождевого генезиса для бассейнов рек Киши и Улкен Алматы, из них на основе 2-х прогнозов было дано 2 штормовых предупреждения, в 22-х случаях количество осадков не достигло критериального значения, селеформирование не состоялось. Государственные органы всех уровней и население Республики Казахстан информировались о селевой опасности дождевого генезиса.

При составлении консультаций о селевой опасности дождевого генезиса для селеопасных районов Казахстана использовался метод краткосрочного прогноза катастрофических селей дождевого генезиса для северного склона Заилийского Алатау (Отчет, 2000), базирующийся на синоптической и численной прогностической информации об осадках и температуре воздуха по 80-и пунктам наблюдения, высоте сезонной снеговой линии, нулевой изотермы, увлажненности почвогрунтов.

Сверхкраткосрочные прогнозы катастрофических селей дождевого генезиса составлялись для бассейнов рек Киши и Улкен Алматы (центральная часть хребта Иле Алатау). Возможность составления прогнозов для этих селевых бассейнов имеется благодаря минимально необходимой плотности метеостанций и гидропостов на этой территории, изученности гидрометеорологических условий, геолого-геоморфологического строения бассейнов, растительного покрова, а также наличию достоверной информации о датах формирования, генезисе и масштабах селевых явлений в прошлом. Сверхкраткосрочные прогнозы селей дают достаточную уверенность в том, что ожидаемое явление будет близко к действительности. При этом заблаговременность предупреждения достаточна для принятия мер по уменьшению возможного ущерба.

Полноценная информация о селеформирующих факторах имелась только для центральной части северного склона

Иле Алатау, селевая опасность других районов оценивалась путем аналогий и анализа исторических данных о селях. Скудность информации объясняется недостаточностью метеорологических станций в среднегорной и высокогорной зонах селеопасных районов Казахстана.

Обзор селевой опасности дождевого генезиса по горной территории Республики Казахстан за 2023 год (далее Обзор) подготовлен по результатам мониторинга селевой опасности дождевого генезиса по горной территории Республики Казахстан за 2023 год.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

В ходе мониторинга селевой опасности дождевого генезиса использовались:

– синоптические прогнозы по горной территории Республики Казахстан, предоставляемые гидрометцентром РГП «Казгидромет»;

– текущая синоптическая ситуация в пределах краткосрочного прогноза погоды по горной территории Республики Казахстан, предоставляемая гидрометцентром РГП «Казгидромет»;

– численные прогнозы погоды по горной территории Республики Казахстан по модели WRF, предоставляемые департаментом информационных технологий РГП «Казгидромет»;

– гидрометеорологическая информация с автоматических метеорологических станций (АМС), метеорологических станций (МС) и гидрологических постов (ГП) государственной наблюдательной сети РГП «Казгидромет» в оперативном режиме;

– наряду с оперативной информацией использовалась информация метеорологической и гидрологической баз данных РГП «Казгидромет» (https://meteo.kazhydromet.kz/database_meteo/; https://meteo.kazhydromet.kz/database_hydro/);

– данные аэрологической станции (АС) «Алматы» РГП «Казгидромет» в оперативном режиме;

– данные о высоте снега, предоставляемые гидрометцентром РГП «Казгидромет» в оперативном режиме;

– данные снеголавинных станций РГП «Казгидромет» в оперативном режиме;

– данные мониторинга суточной динамики снежного покрова, получаемые с помощью MODSNOW, предоставляемые научно-исследовательским центром РГП «Казгидромет»;

– спутниковые снимки, полученные со спутников Landsat 7…9 T1, Landsat 9 T2, Sentinel-2 L2A;

– данные об увлажненности грунта, рассчитанные по модели А.Ф. Литовченко, которая была усовершенствована Дочерним государственным предприятием «Казахский научно-исследовательский институт мониторинга окружающей среды и климата» (ДГП «КазНИИМОСК») РГП «Казгидромет» (Отчет о научно-исследовательской работе, 2000). В ходе исследований ДГП «КазНИИМОСК» РГП «Казгидромет» было обнаружено, что выборка эмпирических данных, по которой находилась зависимость влагозапасов, является недостаточно репрезентативной в области сильных осадков;

– информация о селепроявлениях, предоставляемая ГУ «Казселезащита» согласно Совместного Приказа Министра МЧС РК от 19.01.2021 года №17 и Министра МЭГПР РК от 27.01.2021 года №16-П «По взаимному обмену информацией гидрометеорологического обеспечения» (Совместный Приказ, 2021);

– метод краткосрочного прогноза катастрофических селей дождевого генезиса для северного склона Заилийского Алатау, разработанный ДГП «КазНИИМОСК» РГП «Казгидромет» в 2000 году (Отчет о научно-исследовательской работе, 2000);

– метод сверхкраткосрочного прогноза катастрофических селей дождевого генезиса для бассейнов рек Киши и Улкен Алматы (Метод Степанова-Яфязовой), разработанный РГП «Казгидромет» в 2010 году (Степанов Б.С., Яфязова Р.К., 2016).

При составлении ежедневных бюллетеней селевой опасности дождевого генезиса по горной территории Республики Казахстан использовались цветовые коды (критерии цветовых кодов селевой опасности дождевого генезиса разработаны РГП «Казгидромет») (Ежедневный бюллетень селевой опасности дождевого генезиса по горной территории Республики Казахстан, 2022) .

Для определения возможной селевой опасности горных районов проводился расчет количества выпавших осадков относительно

климатических норм в селеопасный период. При описании в Обзоре климатических условий горных районов были использованы современные климатические нормы по метеостанциям Казахстана за период 1991…2020 гг., рекомендованный Всемирной метеорологической организацией (ВМО). Климатические нормы рассчитывались с помощью программного средства CLINO и руководства по расчету климатических норм, разработанного ВМО (WMO, 2017; Государственный климатический кадастр).

КРАТКИЙ ОБЗОР «СИЛЬНЫХ ОСАДКОВ» ПО ГОРНОЙ ТЕРРИТОРИИ

В соответствии с Наставлением по службе прогнозов погоды, критериями опасного явления (ОЯ) и стихийного гидрометеорологического явления (СГЯ) приняты слой осадков (дождь в селеопасных районах) 15…29 мм (ОЯ), продолжительностью ≤12 часов и ≥30 мм, продолжительностью ≤12 часов. Под «сильные осадки» понимается слой осадков 15…29 мм, «очень сильные осадки» − слой осадков ≥30 мм (Наставление, 2005). Однако сель – многофакторный процесс, поэтому прогноз только сильных осадков не является основанием для прогноза селей.

Наибольшее количество синоптических прогнозов «сильные осадки» за селеопасный период было дано для селеопасных районов Алматинской области (Иле и Кунгей Алатау). На втором месте селеопасные районы Жетысуской области (Жетысу Алатау). На третьем месте селеопасные районы Жамбылской (Киргизский, Таласский Алатау) и Восточно-Казахстанской (Казахстанский Алтай) областей. Внутри селеопасного периода наибольшее количество прогнозов «сильные осадки» пришлись на август (таблица 1).

Наблюденные данные о выпадении «сильного дождя» (на дату прогноза «сильный дождь») приведены в таблице 2. Из таблицы 2 видно, что информация о наблюденных осадках имеется для хребта Иле Алатау, Кунгей Алатау, Угамского хребта и Таласского Алатау (Туркестанская область), а также гор Мангыстау и Тарбагатая. Информация для других селеопасных районов (из-за неимения горных метеостанций) отсутствует.

Таблица 1

Количество прогнозов «сильный дождь» в селеопасных районах за селеопасный период

Области	Селеопасные районы	Количество прогнозов «сильный дождь»					
		май	июнь	июль	август	сентябрь	всего
Алматинская	Иле Алатау	4	1	5	7	6	23
	Кунгей Алатау	6	1	4	6	5	22
	Терискей Алатау	5	1	4	6	4	20
Жетысуская	Жетысу Алатау	3	2	3	8	4	20
Жамбылская	Киргизский Алатау	3	-	3	4	4	14
	Таласский Алатау (Жамбылский)	3	-	3	4	4	14
Туркестанская	Таласский Алатау (Туркестанский)	3	-	-	4	-	7
	Угамский хребет	3	-	-	4	-	7
Мангыстауская	горы Мангыстау	3	-	1	1	2	7
Абайская	Тарбагатай	1	2	1	4	-	8
Восточно-Казахстанская	Саур	-	1	1	-	-	2
	Казахстанский Алтай	1	3	2	4	4	14

Таблица 2

Число случаев с наблюденными осадками ≥15 мм на даты прогноза «сильный дождь» в селеопасных районах за селеопасный период

Области	Селеопасные районы	Количество оправдавшихся прогнозов «сильный дождь»					
		май	июнь	июль	август	сентябрь	всего
Алматинская	Иле Алатау*	2	-	1	3	4	10
	Кунгей Алатау**	-	-	-	1	-	1
Жетысуская	Терискей Алатау Жетысу Алатау						
Жамбылская	Киргизский Алатау Таласский Алатау (Жамбылский)						
Туркестанская	Таласский Алатау *** (Туркестанский)	1	-	-	3	-	4
	Угамский хребет***	1	-	-	3	-	4
Мангыстауская	горы Мангыстау****	-	-	-	-	-	-
Абайская	Тарбагатай*****	-	-	-	-	-	-
Восточно-Казахстанская	Саур Казахстанский Алтай						

*Примечание: Наблюденные данные приводятся по АМС и МС: * – в бассейнах рек Киши и Улкен Алматы; ** – «Кольсай»; *** – «Шуылдык»; **** – «Тущибек»; ***** – «Уржар»*

КРАТКИЙ ОБЗОР СЕЛЕПРОЯВЛЕНИЙ

По данным РГП «Казгидромет», ГУ «Казселезащита» селевые явления наблюдались в Алматинской и Мангыстауской областях:

В Алматинской области в Иле Алатау:

21 июля сформировался сель в бассейне р. Киши Алматы (Иле Алатау). Днем 21 июля в высокогорной и среднегорной зонах Иле Алатау на фоне высокой температуры воздуха, выпали сильные осадки продолжительностью 2…3 часа. По данным станции автоматизированной системы мониторинга селевой опасности (АСМ) «Озеро №6», расположенной в бассейне р. Киши Алматы на высоте 3600 м (ГУ «Казселезащита»), выпало 72 мм жидких осадков; гляциологической станции на леднике Туйыксу (АО «Институт географии и водной безопасности») − 61,2 мм; государственной наблюдательной сети РГП «Казгидромет»: МС «Мынжилки» − 56 мм (около 40 % месячной нормы); АМС «Туюксу» – 20 мм; МС «Шымбулак» − 16 мм; МС «БАО» − 36 мм (около 30 % месячной нормы); ГП «Кумбель-устье» − 32,2 мм.

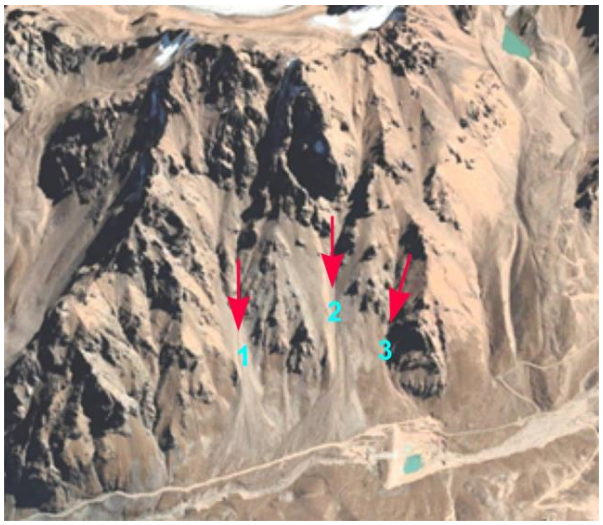


Рис. 2. *Перспективное изображение Google Earth рытвин на правом склоне в верховьях долины р Киши Алматы (красные стрелки – сработавшие рытвины 21 июля 2023 г.). В верхнем правом углу снимка – озеро №6*

Рис. 3. *Движение фронтальной части селя, сформировавшегося в рытвине №2. Фото В.П. Мишенина*

Формирование и развитие селей в бассейне р. Киши Алматы 21 июля 2023 г. произошло в рытвинах и их водосборах на правом склоне долины реки в диапазоне высот 3000…4010 м (рисунок 2). Сели, с небольшими интервалами времени, сформировались в трех рытвинах. Наиболее крупный сель сформировался в рытвине №1 под пиком Абая. Менее крупный сель сформировался в рытвине №2 (рисунок 3), небольшой сель из рытвины №3 достиг селехранилища в Мынжилках (Степанов Б.С., Яфязова Р.К., 2023).

Селевые отложения повредили тракторную дорогу на протяжении около 1000 м, высота селевых отложений на протяжении 300 м достигала 2-х метров (рисунок 4). Сели в основном остановились, не достигнув русла р. Киши Алматы. Лишь часть селевой массы, сформировавшейся в наиболее крупной рытвине, достигла и слилась с р. Киши Алматы. Смешавшись с водой реки, образовавшийся поток продолжал движение на участке длиной около 2 км со средним уклоном 12º в интервале высот 2470…2910 м, увеличивая свои характеристики. На высоте 2470 м (в районе ГП «а/б Туюксу») грязекаменный поток частично отложился на мостовом переезде к альплагерю (рисунок 5). При движении в Малоалматинском селевом врезе поток обогатился глиной, вследствие этого фильтровальная станция «Медеу», где происходит водоподготовка горной воды из р. Киши Алматы и ее притоков, была частично отключена, а вода в головном арыке г. Алматы в течение нескольких суток была мутной (Степанов Б.С., Яфязова Р.К., 2023).

Рис. 4. *Селевые отложения на тракторной дороге. Фото В.П. Мишенина*

Рис. 5. *Мостовой переезд к альплагерю, перекрытый селевыми отложениями. Автор фото не установлен*

Практически одновременно с селями в бассейне р. Киши Алматы сформировался сель в верховьях правой части бассейна р. Кумбель (правый приток р. Улкен Алматы). В долине р. Улкен Алматы сель не выходил в пойму, «освобождаясь» от крупных фракций гранулометрического состава твердой компоненты селевой массы в русле. Селевая масса с более мелкими фракциями была задержана в селехранилище «Аюсай». На конусе выноса р. Аюсай следов формирования селя не обнаружено (Степанов Б.С., Яфязова Р.К., 2023).

По данным РГП «Казгидромет» (ГП «Кумбель-устье»), сель носил волнообразный характер. Максимальный расход по отметкам УВВ достигал около 10 м^3/с. Максимальные валуны достигали 50 см, средние – 30…40 см. Мутность воды 4 балла. Наблюдалось интенсивное переформирование русла реки с размывом его бортов. Селевая масса отложилась в русле реки в районе ГЭС-1.

По данным ГУ «Казселезащита», в Талгарском районе в бассейне р. Талгар на ГП «Плотина Талгар» до 23 часов выпало всего 1 мм осадков. Расход воды на 20:00 часов составлял 34 м^3/с и к 00:00 часам расход увеличился до 37,8 м^3/с, мутность 4 балла. На ГП «Большая поляна» наблюдателем гидропоста в 17:36 часов была передана информация, что по

р. Левый Талгар проходит сель с расходом около 20 м³/с, мутность воды 4 балла. Была проведена эвакуация 80 человек и не допустили 250 детей в пионерский лагерь «Спутник» из-за высокой степени селевой опасности.

В Енбекшиказахском районе в бассейне р. Есик на ГП «Иванов лог» в период с 16:05 до 17:55 часов выпало 18 мм. В 18:00 часов от наблюдателя гидропоста поступила информации о прохождении селевого потока. Расход потока увеличился с 10 до 50 м³/с. Мутность 4 балла. На 01:00 часов 22.07.2023 года расход уменьшился до 10 м³/с.

На ГП «Озеро Есик» в период с 16:25 до 17:45 часов выпало всего 4,3 мм осадков. Расход потока увеличился с 9 до 30 м³/с. Мутность 4 балла. В 01:00 часов расход уменьшился до 13,3 м³/с. Селевой массой завален участок автодороги выше плотины Есик, забит автодорожный мост. Проезда нет. По р. Есик водный поток прошел паводком с максимальным расходом 10,8 м³/с. Мутность 2…3 балла. Ниже плотины Есик повреждений не зафиксировано.

По данным ГУ «Казселезащита», в результате выпадения локального ливневого дождя в ночь на 13 августа 2023 года ниже на 1 км от устье р. Кожай сформировался селевой выброс. Часть селевой массы отложилась на участке автодороги (г. Каскелен - Известковый завод), объем отложившейся селевой массы около 15 м³. Селевой выброс сформирован в результате дождевого стока.

В Мангыстауской области:

17…18 июля 2023 года в Каракиянском районе на территории подземной мечети Бекет-ата и в селе Таучик Тупкараганского района сошел сель дождевого генезиса. Из-за относительно редкой метеорологической сети в этом районе количество выпадавших осадков не известно.

Сель произошел на расстоянии около 180 км от МС «Тущибек». Дата селя приходится на период, когда средняя месячная температура воздуха на МС «Тущибек» имела значение 27,9 ºС. В этот же период максимальная температура воздуха составляла 34,9 ºС, минимальная – 21,2 ºС. В день формирования селя средняя температура воздуха составляла около 22 ºС. Количество осадков по данным МС «Тущибек», составило 2 мм.

Геолого-геоморфологические условия территории, где формировался сель, малоизвестны. Однако из фотоснимка (рисунок 6) следует, что водосбор происходит на крутых склонах, легко поддающихся водной эрозии. Судя по фотоснимку, сильный дождь выпал на локальной территории, прогноз которого трудноосуществим.

По данным УЧС г. Жанаозен, в результате сильного 10-минутного ливневого дождя вода, стекающая с горы, превратившаяся в грязевой поток, смыла некоторые пешеходные переходы, на месте происшествия пострадавших нет.

Рис. 6. *Локальное выпадение осадков в районе подземной мечети Бекет-ата. Автор фото неизвестен*

ОБЗОР СЕЛЕВОЙ ОПАСНОСТИ ДОЖДЕВОГО ГЕНЕЗИСА ПО ГОРНОЙ ТЕРРИТОРИИ КАЗАХСТАНА

В горах Мангыстау среднее многолетнее годовое количество осадков не превышает 180 мм (МС «Тущибек»). В селеопасный период выпадает менее 42 % годовой нормы осадков. Наибольшее среднее многолетнее месячное количество осадков приходится на май (около 40 % осадков за селеопасный период).

В зоне сопряжения Угамского хребта с Таласским Алатау среднее многолетнее годовое количество осадков составляет более 800 мм (МС «Шуылдак»). В селеопасный период выпадает менее 30 % годовой нормы осадков. Наибольшее среднее многолетнее месячное количество осадков приходится на май (около 46 % осадков за селеопасный период).

В Киргизском Алатау среднее многолетнее годовое количество осадков составляет около 340 мм (МС «Кулан»). В селеопасный период выпадает около 32 % годовой нормы осадков. Наибольшее среднее многолетнее месячное количество осадков приходится на май (около 40 % осадков за селеопасный период).

На северном склоне Иле Алатау в низкогорной зоне центральной части хребта среднее многолетнее годовое количество осадков составляет 893 мм (МС «Алматы, Каменское плато»), восточной части – 647,8 мм (МС «Узынагаш»), западной части – 488 мм (МС «Есик»). В селеопасный период в низкогорной зоне выпадает около 40 % годовой нормы осадков. Наибольшее среднее многолетнее месячное количество осадков приходится на май (около 40 % осадков за селеопасный период).

В среднегорной зоне центральной части хребта среднее многолетнее годовое количество осадков составляет 855,4 мм (МС «БАО»). В селеопасный период выпадает около 60 % годовой нормы осадков. Наибольшее среднее многолетнее месячное количество осадков приходится на май-июль (77 % осадков за селеопасный период).

В высокогорной зоне центральной части хребта среднее многолетнее годовое количество осадков составляет 871,2 мм (МС «Мынжилки»). В селеопасный период выпадает около 65 % годовой нормы осадков. Наибольшее среднее многолетнее месячное количество осадков приходится на май-июль (около 76 % осадков за селеопасный период).

На северном склоне восточной части Кунгей Алатау среднее многолетнее годовое количество осадков составляет 539,3 мм (МС «Жаланаш»). В селеопасном периоде выпадает менее 60 % годовой нормы осадков. Наибольшее среднее многолетнее месячное количество осадков приходится на май...июль (70 % осадков за селеопасный период).

В восточной оконечности Терискей Алатау, по данным МС «Нарынкол», среднее многолетнее годовое количество осадков составляет 403,3 мм. В селеопасный период выпадает около 60 % годовой нормы осадков. Наибольшее среднее многолетнее месячное количество осадков приходится на июнь- июль (около 50 % осадков за селеопасный период).

На северном склоне Северного Центрального хребта среднее многолетнее годовое количество осадков увеличивается с запада на восток. В западной части хребта среднее многолетнее годовое количество осадков составляет около 495 мм (МС «Сарканд»), в восточной части – около 716 мм (МС «Лепси»). В селеопасный период в западной и восточной частях хребта выпадает около 40 % годовой нормы осадков. Наибольшее среднее многолетнее месячное количество осадков приходится на май-июль (более 73 % осадков за селеопасный период).

На южном склоне Южного Центрального хребта среднее многолетнее годовое количество осадков составляет 552 мм (МС «Когалы»). В селеопасный период выпадает около 40 % годовой нормы осадков. Наибольшее среднее многолетнее месячное количество осадков приходится на май-июль (более 76 % осадков за селеопасный период).

На северо-восточном склоне Западного Тарбагатая среднее многолетнее годовое количество осадков составляет около 215 мм (МС «Аксуат»).

В селеопасный период выпадает около 60 % годовой нормы осадков. Наибольшее среднее многолетнее месячное количество осадков приходится на июнь... июль (56 % осадков за селеопасный период).

На юго-западном склоне Западного Тарбагатая среднее многолетнее годовое количество осадков составляет около 452 мм (МС «Уржар»). В селеопасный период выпадает около 30 % годовой нормы осадков. Наибольшее среднее многолетнее месячное количество осадков приходится на май-июль (около 70 % осадков за селеопасный период).

На северо-западном склоне Саура среднее многолетнее годовое количество осадков составляет менее 330 мм (МС «Зайсан»). В селеопасный период выпадает более 50 % годовой нормы осадков. Наибольшее среднее многолетнее месячное количество осадков приходится на май...июль (около 70 % осадков за селеопасный период).

В Казахстанском Алтае среднее многолетнее годовое количество осадков увеличивается с юго-востока на северо-запад. В юго-восточной части Казахстанского Алтая среднее многолетнее годовое количество осадков составляет 442,4 мм (МС «Катон- Карагай»), в северо-западной части – 636,7 мм (МС «Риддер»). В селеопасный период в юго-восточной и северо-западной частях Казахстанского Алтая выпадает около 60 % годовой нормы осадков. Наибольшее среднее многолетнее месячное количество осадков в юго-восточной части приходится на июнь- июль (45 % осадков за селеопасный сезон), в северо-западной части – на май...июль (около 67 % осадков за селеопасный сезон).

Условия, благоприятствующие селеформированию на горной территории Казахстана, создались, когда сезонная снеговая линия превысила критериальные значения для среднегорной и высокогорной зон (таблица 3).

Из-за недостатка горных метеорологических станций о метеорологической ситуации на горной территории Казахстана приходится судить по данным ближайших метеорологических станций и гидрологических постов государственной наблюдательной сети РГП «Казгидромет» (таблица 4), а также используя численный метод прогноза погоды по горной территории.

Таблица 3

Даты, когда сезонная снеговая линия достигла критериальных значений для среднегорной и высокогорной зон

Хребты	Среднегорная зона	Высокогорная зона
Угамский	12 мая	18 июня
Таласский Алатау	12 мая	20 июня
Киргизский Алатау	7 мая	16 июня
Иле Алатау	14…15 мая	7 июня
Кунгей Алатау	17 мая	25 июня
Терискей Алатау	18 мая	25 июня
Жетысу Алатау	23 мая	16 июня
Саур	15 июня	18 июля
Казахстанский Алтай	-	18 июня

Таблица 4

Метеорологические условия в селеопасном периоде 2023 года

Метеоусловия	Селеопасный период				
	май	июнь	июль	август	сентябрь
МС «Тущибек»					
Сумма осадков за месяц, мм	31,8	2	5,3	4	8
Среднемесячная температура воздуха, °С	19,9	25,7	27,9	27,3	19,5
МС «Шуылдак»					
Сумма осадков за месяц, мм	67,9	6	12	102	18,1
Среднемесячная температура воздуха, °С	11,8	17,7	19,4	15,2	10,0
ГП «зим. Улбутуй» (р. Мерке)					
Сумма осадков за месяц, мм	42,9	-	-	31,5	30,6
Среднемесячная температура воздуха, °С	14,4	22,6	23,2	20,8	14,7
МС «Мынжилки»					
Сумма осадков за месяц, мм	141,4	95,6	147,4	156,1	76,1
Среднемесячная температура воздуха, °С	0,8	8,3	10,4	8,3	3,9
МС «БАО»					
Сумма осадков за месяц, мм	116,9	63,9	119,9	121,8	71,2
Среднемесячная температура воздуха, °С	4,4	11,6	13,8	11,4	6,3
МС «Шымбулак»					
Сумма осадков за месяц, мм	139,0	73,3	87,0	122,6	85,3
Среднемесячная температура воздуха, °С	7,2	14,7	16,7	14,2	8,4
МС «Алматы, Каменское плато»					
Сумма осадков за месяц, мм	66,9	17,1	36,4	72,6	73,2
Среднемесячная температура воздуха, °С	14,2	21,6	24,2	21,6	14,8
МС «Жаланаш»					
Сумма осадков за месяц, мм	50	55,7	35	82	59,6
Среднемесячная температура воздуха, °С	18,1	17,4	20,6	17,2	11,3
АМС «Кольсай»					
Сумма осадков за месяц, мм	37,1	67,7	24,2	50,8	37,1
Среднемесячная температура воздуха, °С	11,9	18,8	21,4	18,3	12,8
ГП «с. Баянкол» (р. Баянкол)					
Сумма осадков за месяц, мм	69,8	65,9	45,4	47,3	80,5
Среднемесячная температура воздуха, °С	5,6	13,0	15,4	12,8	6,6
МС «Сарканд»					
Сумма осадков за месяц, мм	50,4	12,2	20,1	33,2	42,5
Среднемесячная температура воздуха, °С	15,0	22,3	25,4	22,7	15,7
МС «Лепси»					
Сумма осадков за месяц, мм	65,8	23,2	29,3	54,5	68,6
Среднемесячная температура воздуха, °С	10,6	17,2	19,7	17,1	11,2
ГП «с. Аралтобе» (р. Коктал)					
Сумма осадков за месяц, мм	15	-	25,1	-	19,3
Среднемесячная температура воздуха, °С	8,8	16,2	18,8	17,7	6,2
МС «Уржар»					
Сумма осадков за месяц, мм	12,5	9,6	17,0	31,1	35,4
Среднемесячная температура воздуха, °С	14,3	22,3	24,7	21,0	14,2
МС «Зайсан»					
Сумма осадков за месяц, мм	42,2	7,1	14,2	35,1	74,1
Среднемесячная температура воздуха, °С	14,5	23,0	25,6	22,8	15,1
МС «Катон-Карагай»					
Сумма осадков за месяц, мм	30,5	27,9	37,7	99,9	90,6
Среднемесячная температура воздуха, °С	8,9	17,4	18,9	16,4	9,0
МС «Риддер»					
Сумма осадков за месяц, мм	31,4	27,0	77,5	53,2	128,3
Среднемесячная температура воздуха, °С	10,3	17,6	19,3	16,5	9,2

ОБЗОР СЕЛЕВОЙ ОПАСНОСТИ ДОЖДЕВОГО ГЕНЕЗИСА В ИЛЕ АЛАТАУ

В 2023 году продолжались производственные испытания метода сверхкраткосрочного прогноза катастрофических селей дождевого генезиса для бассейнов рек Киши и Улкен Алматы. Селеопасный период длится с мая по сентябрь. Малозначащие сели могут формироваться в низкогорной зоне в конце апреля, но они не имеют катастрофического характера. В зоне их формирования Казселезащитой установлены щиты, предупреждающие об опасности нахождения в селеопасной зоне при выпадении сильных дождей.

Сель – многофакторный процесс, поэтому прогноз только сильных осадков не является основанием для прогноза катастрофических селей. В среднегорной и высокогорной зонах катастрофические сели дождевого генезиса формируются, когда водосборы горных рек освобождаются от снежного покрова, а осадки выпадают в жидком виде.

Установлено, что при наличии снежного покрова на стокообразующих поверхностях сели дождевого генезиса формируются в исключительно редких случаях, поэтому прогнозирование селей осуществляют после схода снежного покрова с поверхности грунтов, на которых формируется поверхностный сток.

Составление прогноза селей дождевого генезиса начинается с наблюдения за положением сезонной снеговой линии. Сели дождевого генезиса среднегорной зоны могут формироваться, когда сезонная снеговая линия превышает 3000 м. В 2023 году сезонная снеговая линия на склонах западной экспозиции Иле Алатау достигла отметки 3000 м 14…15 мая. С этой даты, при благоприятных условиях, могли формироваться сели дождевого генезиса в среднегорной зоне. Сели дождевого генезиса в высокогорной зоне могут формироваться, когда сезонная снеговая линия превышает 3500 м. 7 июня снеговая линия превысила эту отметку (рисунок 7). С этой даты, при благоприятных условиях, могли формироваться сели дождевого генезиса и в высокогорной зоне.

Необходимость ежедневных наблюдений за положением сезонной снеговой линии вызвана тем, что в результате выпадения осадков в твердом виде происходит колебание положения сезонной снеговой линии. Это может повлиять на зону выпадения осадков в жидком виде в ближайшие сутки. В летний период в высокогорной зоне возможно выпадение твердых осадков (снега, снежной крупы, града), что исключает возможность образования катастрофических селей дождевого генезиса.

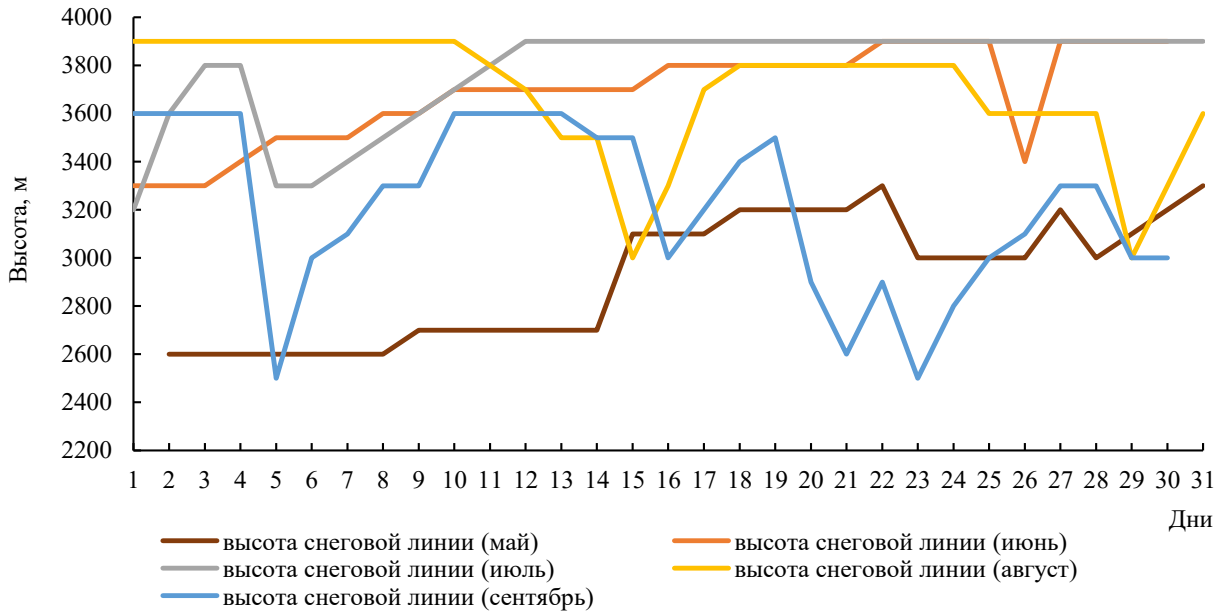


Рис. 7. *Положение сезонной снеговой линии в Иле Алатау в селеопасный период 2023 года*

К благоприятным условиям селеформирования относится предварительное увлажнение почвогрунтов. Реальная увлажненность почвогрунтов определяет мощность селеформирования. Однако увлажненность почвогрунтов зависит от характеристик селеформирующих грунтов таких как гранулометрический и минералогический составы, их плотности, а также типа и плотности растительности, в то время как существующие методы расчета степени увлажненности почвогрунтов этого не учитывают. Увлажненность почвогрунтов зависит и от характеристик дождя (количества осадков и их интенсивности) и локальности его выпадения. В настоящее время всеми этими данными мы не располагаем, поэтому используются осредненные значения критериев увлажненности почвогрунтов для среднегорной зоны − 400 мм и для высокогорной зоны − 500 мм.

В селеопасный период 2023 года предварительное увлажнение почвогрунтов в среднегорной зоне центральной части Иле Алатау превышало критериальное значение (400 мм) 1…7 мая, 20 мая…9 июня, 21…22 июня, 26…28 июня, 6…16 июля, 12…20 августа, 28…31 августа, 4…5 сентября, 20…25 сентября (рисунок 8), в высокогорной зоне предварительное увлажнение почвогрунтов превышало критериальное значения (500 мм) 12…17 августа (рисунок 9).

21 июля формирование и развитие селей в бассейне р. Киши Алматы произошло в рытвинах на правом склоне долины реки, где предварительная увлажненность практически не имеет значение для селеформирования, в то время как локальное выпадение осадков играет первостепенную роль. Механизм формирования селей в рытвинах был впервые выявлен и описан в 2001 году (Степанов Б.С. и др., 2001; Степанов Б.С., Яфязова Р.К., 2014).

Рис. 8. *Изменение увлажнения почвогрунтов в среднегорной зоне центральной части Иле Алатау в селеопасный период 2023 года*

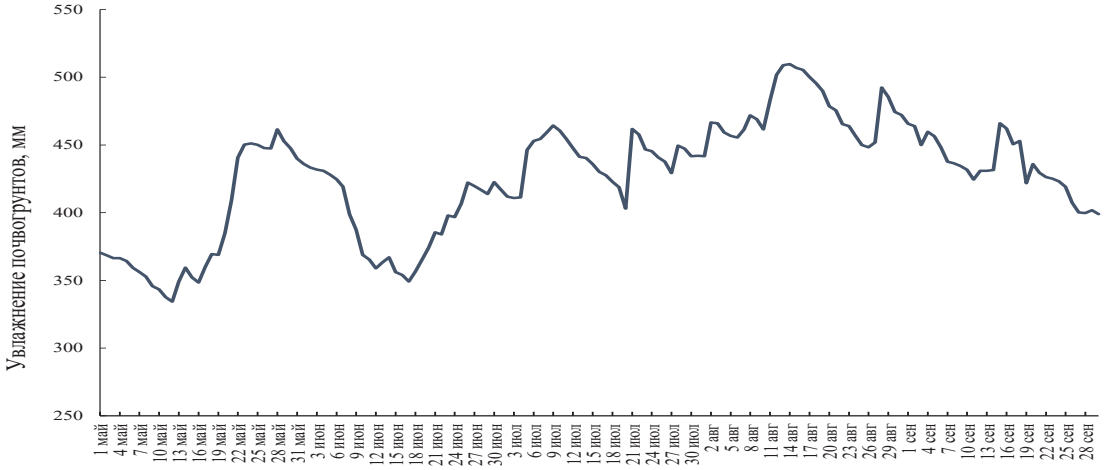


Рис. 9. *Изменение увлажнения почвогрунтов в высокогорной зоне центральной части Иле Алатау в селеопасный период 2023 года*

Важным фактором селеформирования является температура воздуха. Температура воздуха определяет слой, интенсивность и фазовое состояние осадков. Выпадение осадков в жидком виде в высокогорной зоне − необходимое условие формирования катастрофических селей дождевого генезиса. Известно, что в скально-ледниковом высокогорье при температуре 13…15 °С и выше значительно увеличивается вероятность выпадения осадков в жидком виде в высотном интервале 3400…4000 м. На высоте 3000 м жидкие осадки наблюдаются в случае, когда температура воздуха в день, предшествующий выпадению селеобразующих осадков не ниже 10 °С. Многочисленные в высокогорной зоне осыпи, обрывы, крутые скалистые склоны, лишенные растительности, служат очагами зарождения селей дождевого генезиса. При выпадении дождей со слоем более 40 мм возможно формирование катастрофических селей (Яфязова, Р.К., 2007; Степанов Б.С., Яфязова Р.К., 2017).

На рисунке 10 приведено изменение среднесуточной температуры воздуха на МС «Мынжилки» (высота 3017 м). Из рисунка видно, что температура воздуха превысила 10 °С 8 июня. С 8 июня по 11 сентября среднесуточная температура воздуха изменялась от 14,1 °С (13 июля) до 1 °С (5 сентября), продолжительность среднесуточной температуры воздуха выше 10 °С составила 39 суток.

В среднегорной зоне температура воздуха, превышавшая 10 °С на МС «Шымбулак» и МС «БАО», т.е. благоприятная для селеформирования, наблюдалась после первой декады мая до второй декады сентября на протяжении практически всего селеопасного периода (рисунки 11, 12).

Нетрудно видеть, что среднесуточный ход температуры воздуха на высоте МС «Мынжилки» (3017 м) и МС «Шымбулак» (2193 м) (бассейн р. Киши Алматы) при максимальном отклонении синхронны. Разница в температурах обусловлена разностью высоты метеостанций над уровнем моря.

Сравнение среднесуточной температуры воздуха в бассейнах рек Киши и Улкен Алматы показало, что среднесуточный ход температуры воздуха на высоте МС «Шымбулак» (2193 м) (бассейн р Киши Алматы) и МС «БАО» (2516 м) синхронный. Разница в температурах обусловлена разностью высоты метеостанций.

В низкогорной зоне среднесуточная температура воздуха, превышавшая 10 °С на МС «Алматы, Каменское плато», наблюдалась практически на протяжении всего селеопасного периода (рисунок 13).

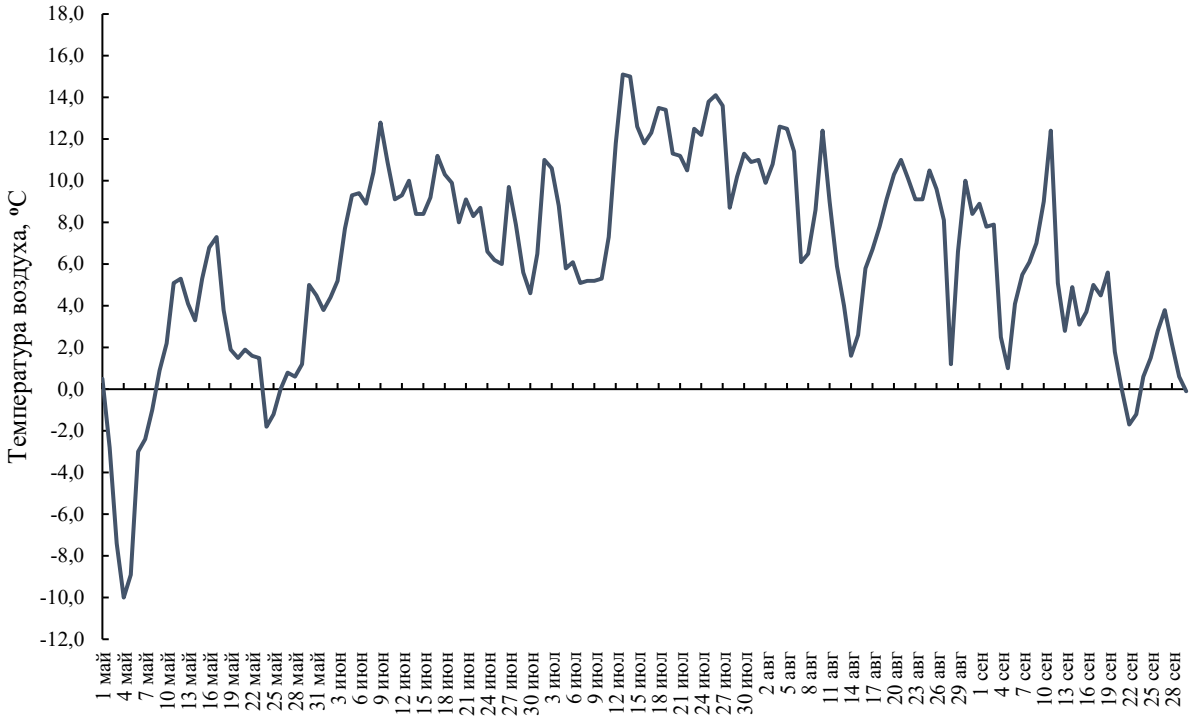


Рис. 10. *Среднесуточная температура воздуха по МС «Мынжилки» за селеопасный период 2023 года*

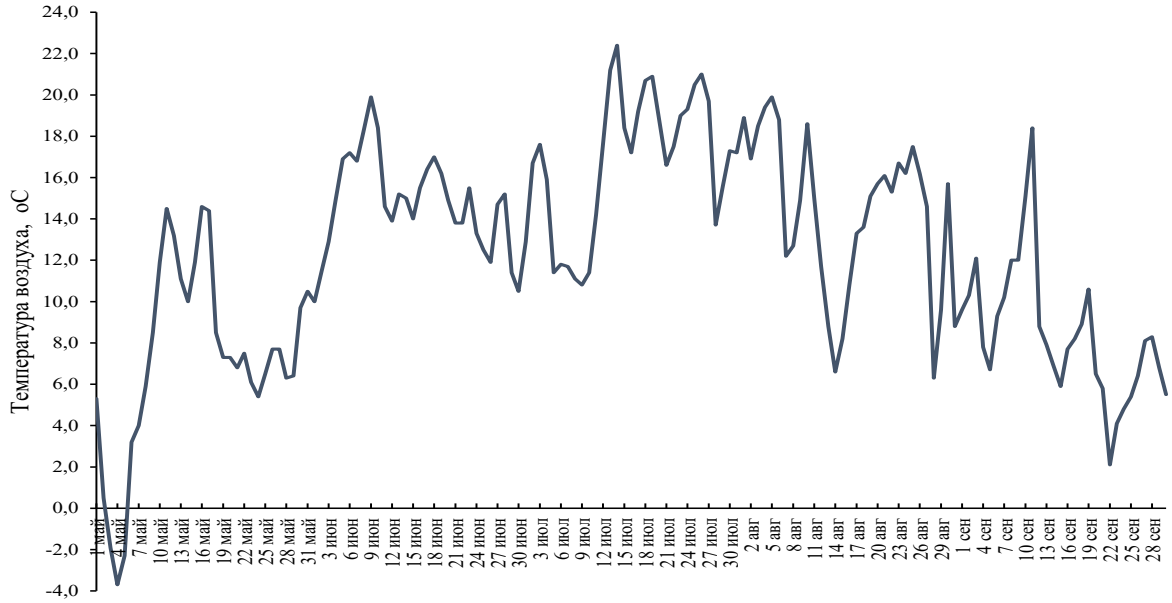


Рис. 11. *Среднесуточная температура воздуха по МС «Шымбулак» за селеопасный период 2023 года*

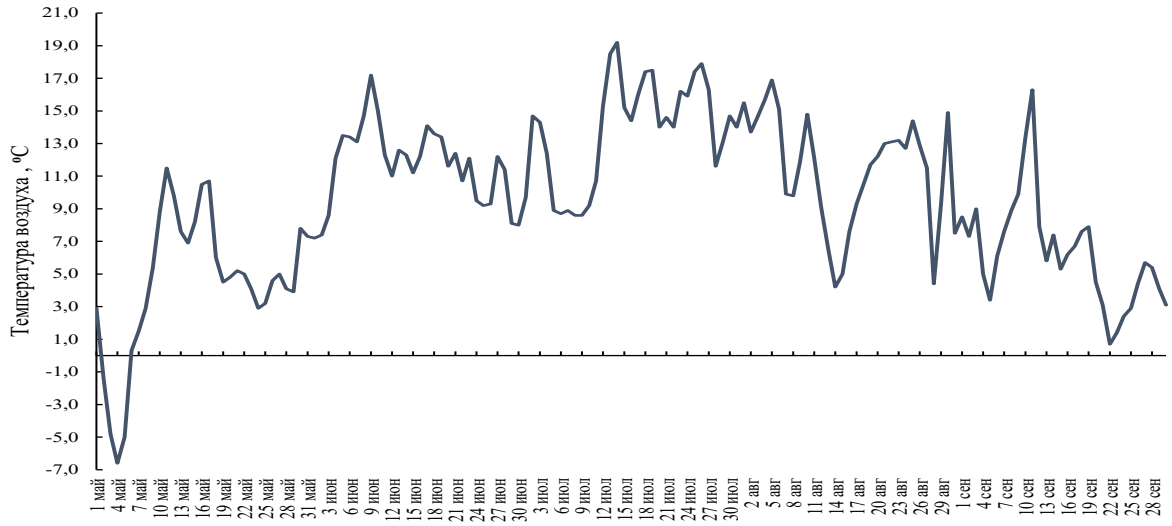


Рис. 12. *Среднесуточная температура воздуха по МС «БАО» за селеопасный период 2023 года*

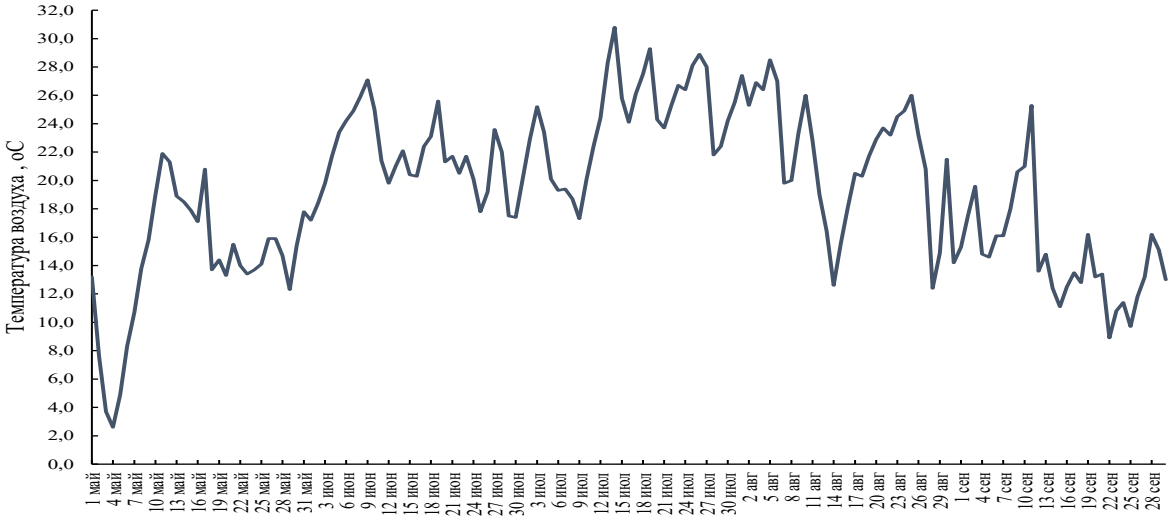


Рис. 13. *Среднесуточная температура воздуха по МС «Алматы, Каменское плато» за селеопасный период 2023 года*

При прогнозе селей дождевого генезиса не последнюю роль играет информация о высоте нулевой изотермы. На рисунке 14 приведен график нулевой изотермы по данным АС «Алматы» для северного склона Иле Алатау в селеопасный период 2023 года.

По данным АС «Алматы», в селеопасный период 2023 года условия, благоприятствующие выпадению жидких осадков в среднегорной зоне (нулевая изотерма выше 3000 м), наблюдались 138 суток. Условия, благоприятствующие выпадению жидких осадков в высокогорной зоне (нулевая изотерма выше 4000 м), наблюдались 74 суток. В июле нулевая изотерма была выше 5000 м, зафиксировано 5 случаев.

Аэрологические наблюдения проводятся на предгорной равнине на высоте 663 м один раз в сутки (в 6 часов утра). Учитывая то, что на высоте аэрологической станции может иметь место инверсия, при прогнозе селей дождевого генезиса высоту нулевой изотермы целесообразно определять расчетным способом.

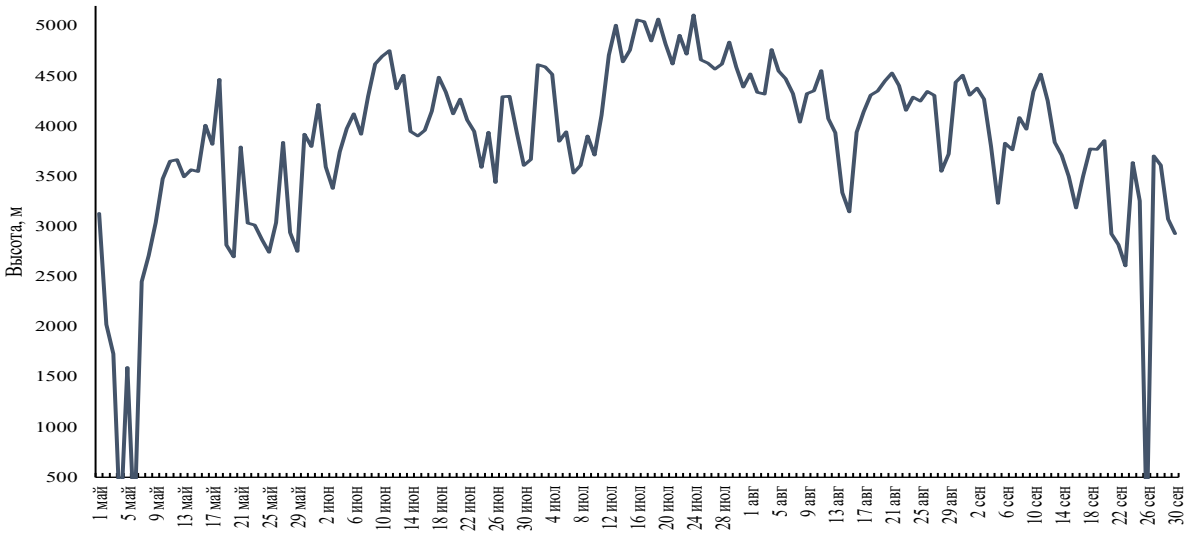


Рис. 14. *Высота нулевой изотермы по данным АС «Алматы» в селеопасный период 2023 года*

Главную роль в формировании селей дождевого генезиса играют жидкие осадки. Изучение условий формирования селей дождевого генезиса для центральной части Иле Алатау показало, что катастрофические сели дождевого генезиса формируются при выпадении осадков слоем более 40 мм (Степанов Б.С., Яфязова Р.К., 2016; Степанов Б.С., Яфязова Р.К., 2017).

При составлении прогнозов селей дождевого генезиса для бассейнов рек Киши и Улкен Алматы использовались прогнозы осадков синоптическим и численным методами. Синоптический прогноз давался для северного склона Иле Алатау и использовался как основной, а численный − для оценки их возможностей. Численный прогноз давался для высот 1000, 2000 и 3000 м. В бассейнах рек Киши и Улкен Алматы в низкогорной, среднегорной и высокогорной зонах имеются метеостанции, что позволяет оценить оправдываемость численного прогноза. Для бассейна р. Киши Алматы было выбрано 13 пунктов наблюдения за осадками и температурой воздуха, для бассейна р. Улкен Алматы – 8 пунктов наблюдения.

Изучение условий формирования селей дождевого генезиса для центральной части Иле Алатау показало, что катастрофические сели дождевого генезиса формируются при выпадении осадков слоем более 40 мм. За селеопасный период осадки слоем более 40 мм наблюдались в среднегорной и высокогорной зонах бассейнов рек Киши и Улкен Алматы 2 раза: 21 июля (МС «Мынжилки» – 56 мм) и 12 августа (МС «Шымбулак» – 47,1 мм).

В соответствии с методом сверхкраткосрочного прогноза селей дождевого генезиса 21 июля 2023 года было дано штормовое предупреждение об угрозе формирования селей в бассейнах рек Киши и Улкен Алматы, прогноз оправдался.

В высокогорной и среднегорной зонах Иле Алатау днем, на фоне высокой температуры воздуха, выпали сильные осадки продолжительностью 2…3 часа. По данным станции АСМ «Озеро №6»,

расположенной в бассейне р. Киши Алматы на высоте 3600 м (ГУ «Казселезащита»), выпало 72 мм жидких осадков; гляциологической станции на леднике Туйыксу (АО «Институт географии и водной безопасности») − 61,2 мм; государственной наблюдательной сети РГП «Казгидромет»: МС «Мынжилки» − 56 мм; АМС «Туюксу» – 20 мм; МС «Шымбулак» − 16 мм; МС «БАО» − 36 мм; ГП «Кумбель-устье» − 32,2 мм. По данным АМС «БАО», максимальная интенсивность дождя составляла 1,3 мм/мин, средняя интенсивность дождя в течение 30 минут составила 0,7 мм/мин.

Сели дождевого генезиса 21 июля 2023 года в бассейнах рек Киши и Улкен Алматы показали работоспособность метода сверхкраткосрочного прогноза селей дождевого генезиса.

В соответствии с методом сверхкраткосрочного прогноза селей дождевого генезиса на 12…13 августа 2023 года было дано штормовое предупреждение об угрозе формирования селей в бассейнах рек Киши и Улкен Алматы. Согласно методу сверхкраткосрочного прогноза катастрофических селей дождевого генезиса для бассейнов рек Киши и Улкен Алматы, за критериальное значение осадков принято 40 мм с целью увеличения заблаговременности прогноза, которая складывается из времени между выпадением осадков от 40 до 60 мм и времени добегания селя до объекта поражения. Выбор этого решения обусловлен и тем, что в реальных условиях сель образуется при выпадении дождя слоем близким к 60 мм. Подобные осадки в обсуждаемом районе в селеопасный период выпадают 1 раз в 2…3 года. Это в несколько раз превышает время добегания селя и, при использовании современных технических средств оповещения о селевой опасности, обеспечивает безопасность населения (Степанов Б.С., Яфязова Р.К., 2016; Яфязова Р.К., 2014).

По данным МС «Шымбулак» (бассейн р. Киши Алматы), 12 августа 2023 года выпало 47,1 мм жидких осадков. За 3 часа 20 минут (с 18:18 по 21:38 часов) выпало 45,9 мм жидких осадков, при этом интенсивность осадков была высокой: с 18:18 до 18:40 часов интенсивность была в среднем 0,5 мм/мин, с 19:32 до 19:58 часов – 0,4 мм/мин. По данным АМС «Кумбель» (бассейн р. Улкен Алматы), 12 августа 2023 г. выпало 22,8 мм жидких осадков за 3 часа 10 минут (с 18:18 по 21:28 часов), при этом интенсивность осадков в начале дождя была высокой: составляла в среднем 1,08 мм/мин.

Учитывая, что бассейн р. Улкен Алматы находится в непосредственной близости к бассейну р. Киши Алматы, где выпали интенсивные жидкие осадки слоем 45,9 мм и другие значения предикторов сверхкраткосрочного прогноза для среднегорной зоны идентичны, а осадки носили локальный характер, было принято решение дать штормовое предупреждение и для бассейна р. Улкен Алматы несмотря на то, что слой осадков в бассейне р. Улкен Алматы не достиг критериального значения.

Штормовое предупреждение не оправдалось потому, что после выпадения 47 мм на МС «Шымбулак» дождь прекратился, сели в Иле Алатау формируются, когда количество выпавших осадков близко к 60 мм.

В бассейнах рек Киши и Улкен Алматы селепроявления не зафиксированы, небольшое селепроявление наблюдалось в бассейне р. Каскелен (Иле Алатау), расположенном в 20…25 км от бассейна р. Улкен Алматы.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Сели дождевого генезиса, сформировавшиеся 21 июля 2023 г. в бассейнах рек Киши и Улкен Алматы показали работоспособность метода сверхкраткосрочного прогноза селей дождевого генезиса (Степанов Б.С., Яфязова Р.К., 2016; Степанов Б.С. Яфязова Р.К., 2023). Анализ формирования селей в рытвинах, расположенных на правом склоне долины р. Киши Алматы, подтвердил правильность представления о механизме формирования дождевых селей в рытвинах, а также необходимость внедрения в практику защиты от селей дождевого генезиса, формирующихся в рытвинах, способа предотвращения селей путем создания «окон разгрузки», описанных в (Степанов Б.С. и др., 2001; Степанов Б.С., Яфязова Р.К., 2014) (Степанов Б.С., Яфязова Р.К., 2023).

Дальнейшее усовершенствование численных методов прогноза погоды для горной территории, установка автоматических метеорологических станций в селеопасных бассейнах

во всех высотных зонах позволят повысить качество прогнозов селей дождевого генезиса и обеспечить надежными прогнозами селей дождевого генезиса все населенные пункты, расположенные у подножия хребтов. Наложение фактических и прогнозируемых осадков в горной местности на интерактивную карту селеопасных районов в реальном времени сделает прогноз селей дождевого генезиса более точным и конкретным (Степанов Б.С., 2023).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. World Meteorological Organization (WMO) (2017). Guidelines on the Calculation of Climate Normals (WMO No. 1203)/ Geneva
2. Гидрологическая база данных РГП «Казгидромет. – Электронный ресурс: https://meteo.kazhydromet.kz/database_hydro/
3. Государственный климатический кадастр.
– Электронный ресурс: https://meteo.kazhydromet.kz/climate_kadastr/
4. Ежедневный бюллетень селевой опасности дождевого генезиса по горной территории Республики Казахстан. – Электронный ресурс: https://www.kazhydromet.kz/uploads/files_calendar/2190/file/665da25e9bfb2byulleten-36.pdf.
5. Кодекс Республики Казахстан от 2 января 2021 года №400-VI «Экологический кодекс Республики Казахстан» (с изменениями и дополнениями по состоянию на 01.05.2023 г.). Статья 166. Государственная монополия в области метеорологического, гидрологического мониторинга и мониторинга состояния окружающей среды.
6. Метеорологическая база данных РГП «Казгидромет». – Электронный ресурс: https://meteo.kazhydromet.kz/database_meteo/
7. Наставление по службе прогнозов погоды. – Алматы, 2005 – 27 с.
8. Отчет о научно-исследовательской работе «Разработать метод прогноза катастрофических селей дождевого генезиса на северном склоне Заилийского Алатау» / РГП «Казгидромет» ДГП «КазНИИМОСК». – Алматы, 2000. – 104 с. (утвержден директором ДГП «КазНИИМОСК» М.Ж. Бурлибаевым).
9. Совместный Приказ Министра МЧС РК от 19.01.2021 года №17 и Министра МЭГПР РК от 27.01.2021 года №16-П «По взаимному обмену информацией гидрометеорологического обеспечения».
10. Степанов Б.С. Вклад Национальной гидрометеорологической службы Республики Казахстан в селевую безопасность страны // Гидрометеорология и экология. – 2023. – №4. – С. 113−123.
11. Степанов Б.С., Хайдаров А.Х., Яфязова Р.К. Механизмы, приводящие к формированию селей дождевого генезиса в высокогорной зоне Заилийского Алатау // Гидрометеорология и экология. – 2001. – №1–2. – С. 74–81.
12. Степанов Б.С., Яфязова Р.К. Состояние проблемы краткосрочного прогноза селей дождевого генезиса // Гидрометеорология и экология. – 2017. – №2. – С. 114–125.
13. Степанов Б.С., Яфязова Р.К. Метод сверхкраткосрочного прогноза селей дождевого генезиса // Гидрометеорология и экология. – 2016. – №4. – С. 71–83.
14. Степанов Б.С., Яфязова Р.К. Сверхкраткосрочный прогноз дождевых селей и формирование селей в бассейнах рек Киши и Улкен Алматы 21 июля 2023 года // Гидрометеорология и экология. – 2023. – №4. – С. 16−24.
15. Степанов Б.С., Яфязова Р.К. Селевые явления Юго-Восточного Казахстана: Селевые процессы и селетехнические сооружения. – Алматы, 2014. – Т. 3. – 434 с.
16. Яфязова Р.К. К концепции сверхкраткосрочного прогноза // Гидрометеорология и экология. – 2014. – №4. – С. 52–57.
17. Яфязова Р.К. Природа селей Заилийского Алатау. Проблемы адаптации. – Алматы, 2007. – 158 с.

REFERENCES

1. World Meteorological Organization (WMO) (2017). Guidelines on the Calculation of Climate Normals (WMO No. 1203)/ Geneva
2. Gidrologicheskaya baza dannyh RGP «Kazgidromet. – Elektronnyi resurs: https://meteo.kazhydromet.kz/database_hydro/
3. Gosudarstvennyj klimaticheskij kadastr.
– Elektronnyi resurs: https://meteo.kazhydromet.kz/climate_kadastr/
4. Ezhednevnye byulleteni selevoj opasnosti dozhdevogo genezisa po gornoj territorii Respubliki Kazahstan. – Elektronnyi resurs: https://www.kazhydromet.kz/uploads/files_calendar/2190/file/665da25e9bfb2byulleten-36.pdf.
5. Kodeks Respubliki Kazahstan ot 2 yanvarya 2021 goda №400-VI «Ekologicheskij kodeks Respubliki Kazahstan» (s izmeneniyami i dopolneniyami po sostoyaniyu na 01.05.2023 g.). Stat'ya 166. Gosudarstvennaya monopoliya v oblasti meteorologicheskogo, gidrologicheskogo monitoringa i monitoringa sostoyaniya okruzhayushchej sredy.
6. Meteorologicheskaya baza dannyh RGP «Kazgidromet». – Elektronnyi resurs: https://meteo.kazhydromet.kz/database_meteo/
7. Nastavlenie po sluzhbe prognozov pogody. – Almaty, 2005 – 27 p.
8. Otchet o nauchno-issledovatel'skoj rabote «Razrabotat' metod prognoza katastroficheskih selej dozhdevogo genezisa na severnom sklone Zailijskogo Alatau» / RGP «Kazgidromet» DGP «KazNIIMOSK». – Almaty, 2000. – 104 p. (utverzhden direktorom DGP «KazNIIMOSK» M.ZH. Burlibaevym).
9. Sovmestnyj Prikaz Ministra MCHS RK ot 19.01.2021 goda №17 i Ministra MEGPR RK ot 27.01.2021 goda №16-P «Po vzaimnomu obmenu informaciej gidrometeorologicheskogo obespecheni-ya».
10. Stepanov B.S. Vklad Nacional'noj gidrometeorologicheskoj sluzhby Respubliki Kazahstan v selevuyu bezopasnost' strany // Gidrometeorologiya i ekologiya. – 2023. – №4. – p. 113−123.
11. Stepanov B.S., Hajdarov A.H., YAfyazova R.K. Mekhanizmy, privodyashchie k formirovaniyu selej dozhdevogo genezisa v vysokogornoj zone Zailijskogo Alatau // Gidrometeorologiya i ekologiya. – 2001. – №1–2. p.74–81.
12. Stepanov B.S., YAfyazova R.K. Costoyanie problemy kratkosrochnogo prognoza selej dozhdevogo genezisa // Gidrometeorologiya i ekologiya. – 2017. – №2. – p. 114–125.

13. Stepanov B.S., YAfyazova R.K. Metod sverhkratkosrochnogo prognoza selej dozhdevogo genezisa // Gidrometeorologiya i ekologiya. – 2016. – №4. – p. 71–83.
14. Stepanov B.S., YAfyazova R.K. Sverhkratkosrochnyj prognoz dozhdevyh selej i formirovanie selej v bassejnah rek Kishi i Ulken Almaty 21 iyulya 2023 goda // Gidrometeorologiya i ekologiya. – 2023. – №4. – p. 16−24.
15. Stepanov B.S., YAfyazova R.K. Selevye yavleniya YUgo-Vostochnogo Kazahstana: Selevye processy i seletekhnicheskiesooruzheniya.–Almaty,2014.–T.3.–434p.
16. YAfyazova R.K. K koncepcii sverhkratkosrochnogo prognoza // Gidrometeorologiya i ekologiya. – 2014. – №4. – p. 52–57.
17. YAfyazova R.K. Priroda selej Zailijskogo Alatau. Problemy adaptacii. – Almaty, 2007. – 158 p.

2023 ЖЫЛЫ ҚАЗАҚСТАН РЕСПУБЛИКАСЫНЫҢ ТАУЛЫ АУМАҒЫ БОЙЫНША ЖАҢБЫР ГЕНЕЗИСТІ СЕЛ ҚАУІПТІЛІГІНЕ ШОЛУ

Р.К. Яфязова* *т.ғ.д., доцент,* **Б.С. Степанов** *ғ.ғ.д., профессор,* **С.А. Буралхиев**

«Қазгидромет» РМК, Алматы, Қазақстан
E-mail: yafyazova@gmail.com

Қазақстан Республикасының 2023 жылғы таулы аумағы бойынша жаңбыр генезисінің сел қаупі мониторингінің нәтижелері бойынша шолу жасалынды. Мониторинг Алматы, Жетісу, Жамбыл, Түркістан, Маңғыстау, Абай және Шығыс Қазақстан облыстарының сел қаупі бар аудандары үшін жүзеге асырылды. Сел қауіпті аймақтарға Іле, Күнгей, Теріскей, Жетісу, Қырғыз және Талас Алатауы, Өгем жотасы, Маңғыстау, Саур, Тарбағатай және Қазақстан Алтай таулары жатады. Бақылауда Қазақстан Республикасы аумағының сел қаупі картасы, гидрометеорологиялық жағдай және 2023 жылғы сел қаупі кезеңінде селдің пайда болуы туралы ақпарат келтірілген. Мониторинг процесінде жедел режимде «Қазгидромет» РМК мемлекеттік бақылау желісінің ақпараты, «Қазгидромет» РМК ауа райының синоптикалық және сандық болжамдары және т. б. пайдаланылды.

Түйін сөздер: сел, сел қауіптілігі, селдерді өте қысқа мерзімде болжау әдісі, жаңбыр, ауа температурасы, нөлдік изотерма, қар сызығы, топырақтың ылғалдануы.

REVIEW OF DEBRIS-FLOW HAZARD CAUSED BY RAINFALL IN THE MOUNTAIN TERRITORY OF THE REPUBLIC OF KAZAKHSTAN FOR 2023

R. Yafyazova* *Doctor of Technical Sciences, Associate Professor,* **B. Stepanov** *Doctor of Geographical Sciences, Professor,* **S. Buralhiev**

RSE «Kazhydromet», Almaty, Kazakhstan
E-mail: yafyazova@gmail.com

The review was prepared based on the results of monitoring the debris-flow hazard caused by rainfall in the mountainous territory of the Republic of Kazakhstan for 2023. Monitoring was carried out for debris-flow hazard areas of Almaty, Zhetysu, Zhambyl, Turkestan, Mangistau, Abay and East Kazakhstan regions. The Ile, Kungey, Teriskey, Zhetysu, Kyrgyz and Talas Alatau, Ugam, Mangystau, Saur, Tarbagatai and Kazakhstan Altai mountains ridges are debris-flow hazard areas. The Review contains a map of debris-flow hazard on the territory of the Republic of Kazakhstan, information on the hydrometeorological situation and debris flow occurrences during the 2023 debris-flow-hazardous period. In the monitoring process information from the state observation network of the RSE «Kazhydromet» in operational mode, synoptic and numerical weather forecasts of the RSE «Kazhydromet» was used, etc.

Keywords: debris flow, debris-flow hazard, ultra-short-term debris flow forecast method, rainfall, air temperature, zero isotherm, snow line, soil moisture.

Сведения об авторах/Авторлар туралы мәліметтер/Information about authors:

Яфязова Роза Кайюмовна - доцент, доктор технических наук, начальник управления исследования селевых процессов и прогнозирования селей РГП «Казгидромет», Алматы, Абая, 32, *yafyazova@gmail.com*
Степанов Борис Сергеевич - профессор, доктор географических наук, ведущий научный сотрудник управления исследования селевых процессов и прогнозирования селей РГП «Казгидромет», Алматы, Абая, 32, *bs.stepanov@gmail.com*
Буралхиев Саги Абдималикович – ведущий научный сотрудник управления исследования селевых процессов и прогнозирования селей РГП «Казгидромет», Алматы, Абая, 32, *buralkhiyev_s@meteo.kz*

Яфязова Роза Кайюмовна - доцент, техникалық ғылымдарының докторы, «Қазгидромет» РМК Сел үдерістерін зерттеу және селді болжау басқармасы бастығы, Алматы, Абай көш., 32, *yafyazova@gmail.com*
Степанов Борис Сергеевич - профессор, география ғылымдарының докторы, «Қазгидромет» РМК Сел үдерістерін зерттеу және селді болжау басқармасы жетекші ғылыми қызметкері, Алматы, Абай көш., 32, *bs.stepanov@gmail.com*
Буралхиев Саги Абдималикович – «Қазгидромет» РМК Сел үдерістерін зерттеу және селді бол-жау басқармасының жетекші ғылыми қызметкері, Алматы, Абай көш., 32, *buralkhiyev_s@meteo.kz*

Yafyazova Roza - Associate Professor, Doctor of Technical Sciences, Head at the Department of Debris-flow Processes Research and Debris flows Forecasting of RSE «Kazhydromet», Almaty, Abay St., 32, *yafyazova@gmail.com*
Stepanov Boris - Professor, Doctor of Geographical Sciences, Leading Researcher at the Department of Debris-flow Processes Research and Debris flows Forecasting of RSE «Kazhydromet», Almaty, Abay St.,32, *bs.stepanov@gmail.com*
Buralkhiyev Sagi –Leading Researcher at the Department of Debris-flow Processes Research and Debris flows Forecasting of RSE «Kazhydromet», Almaty, Abay St., 32, *buralkhiyev_s@meteo.kz*

Вклад авторов/ Авторлардың қосқан үлесі/ Authors contribution

Яфязова Роза Кайюмовна – разработка концепции, разработка методологии, проведение статистического анализа, подготовка и редактирование текста, визуализация
Степанов Борис Сергеевич – разработка концепции, разработка методологии, проведение статистического анализа, подготовка и редактирование текста, визуализация
Буралхиев Саги Абдималикович – ресурс, визуализация

Яфязова Роза Кайюмовна - тұжырымдаманы әзірлеу, әдістемені әзірлеу, статистикалық талдау жүргізу, мәтінді дайындау және өңдеу, көрнекілік
Степанов Борис Сергеевич - тұжырымдаманы әзірлеу, әдістемені әзірлеу, статистикалық талдау жүргізу, мәтінді дайындау және өңдеу, көрнекілік
Буралхиев Саги Абдималикович – ресурстар, көрнекілік

Yafyazova Roza – concept development, methodology development, conducting statistical analysis, preparing and editing the text, visualization
Stepanov Boris – concept development, methodology development, conducting statistical analysis, preparing and editing the text, visualization
Buralkhiyev Sagi – resources, visualization