

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

Министерство экологии и
природных ресурсов
Республики Казахстан
Республиканское государ-
ственное
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

№1

Астана, 2024
Astana, 2024

ГЛАВНЫЙ РЕДАКТОР

Д.К. Алимбаева

ЗАМ. ГЛАВНОГО
РЕДАКТОРА

С.Б. Саиров

РЕДАКЦИЯ

Н.У. Кужагельдина
М.Қ.Нұрхан
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. Наурызбаева (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 **№ 1 (112)**

© 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
EDITORIAL BOARD	N. Abayev (Astana, Kazakhstan) R. Abdrakhimov (Almaty, Kazakhstan) A. Volchek (Brest, Belarus) 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
№ 1 (112)

© 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

Р.Г. Абдрахимов, А.Ф. Абиров, С.Б. Саиров

ГОДОВОЙ СТОК РЕК БАССЕЙНА ОБЫ И СЕВЕРНОГО СКЛОНА ХРЕБТА КАЛБА В УСЛОВИЯХ КЛИМАТИЧЕСКИХ ИЗМЕНЕНИЙ..... 7

А.В. Бабкин, В.И. Бабкин, А.С. Мадибеков, А. Мусакулкызы, А.В. Чередниченко

ПРОГНОЗЫ ГОДОВОГО СТОКА Р. ЖАЙЫҚ (УРАЛ) С УЧЕТОМ АВТОКОРРЕЛЯЦИОННЫХ МОДЕЛЕЙ ЕГО МНОГОЛЕТНИХ КОЛЕБАНИЙ ЗА ОТДЕЛЬНЫЕ МЕСЯЦЫ..... 16

С.К. Алимкулов, Л.К. Махмудова, А.А. Турсунова, Э.К. Талипова, Л.М. Биримбаева

ОЦЕНКА ГИДРОЛОГИЧЕСКИХ ЗАСУХ ПО РЕЗУЛЬТАТАМ МНОГОЛЕТНИХ ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИХ ДАННЫХ ЖАЙЫК-КАСПИЙСКОГО ВОДОХОЗЯЙСТВЕННОГО БАССЕЙНА..... 26

С.Б. Саиров, Д.К. Алимбаева, Н.Т. Серикбай, А.Ф. Елтай, Т.А. Тілләкәрім

РАСЧЕТ МИНИМАЛЬНОГО КОЛИЧЕСТВА ГИДРОЛОГИЧЕСКИХ ПУНКТОВ НАБЛЮДЕНИЯ СЕТИ ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКОЙ СЛУЖБЫ В РЕСПУБЛИКЕ КАЗАХСТАН..... 39

В.Е. Гагарин, А.В. Кошурников, Д.М. Фролов, Г.А. Ржаницын

РАЗРАБОТКА ТЕРМОМЕТРИЧЕСКОЙ СКВАЖИНЫ НА ПЛОЩАДКЕ БЕЗ ЕСТЕСТВЕННОГО ПОКРОВА МЕТЕООБСЕРВАТОРИИ МГУ..... 47

А.В. Чередниченко, В.С. Чередниченко, І. Б. Әшім

ДИНАМИКА КЛИМАТИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ В СЕВЕРО-ЗАПАДНОМ РЕГИОНЕ КАЗАХСТАНА 54

Н.С. Абдолла, А.С. Нысанбаева, А.К. Әбдіразак

ИЗМЕНЕНИЯ ТЕМПЕРАТУРЫ ВОЗДУХА В КЫЗЫЛОРДИНСКОЙ ОБЛАСТИ КАЗАХСТАНА В ПЕРИОД 1961...2020 ГГ..... 65

Н.Ш. Гусейнов, Дж.С. Гусейнов, А.Х. Гаджиев

ОЦЕНКА ВРЕМЕННО-ПРОСТРАНСТВЕННОГО РАСПРЕДЕЛЕНИЯ АТМОСФЕРНЫХ ОСАДКОВ НА КУРА-АРАКСИНСКОЙ НИЗМЕННОСТИ В АЗЕРБАЙДЖАНСКОЙ РЕСПУБЛИКЕ 79

В.В. Жданов, Н.У. Кузагельдина, А.Н. Камалбекова, Ұ.Р. Алдаберген

ТИПИЗАЦИЯ ЗИМ В ИЛЕ АЛАТАУ ПО СНЕЖНОСТИ И ЛАВИННОЙ АКТИВНОСТИ..... 89

Г.Н. Сагатдинова, Д.Б. Нурсейтов

ОБРАБОТКА РАДИОЛОКАЦИОННЫХ ДАННЫХ СПУТНИКА SENTINEL-1 ДЛЯ ИДЕНТИФИКАЦИИ НЕФТЯНЫХ РАЗЛИВОВ В АКВАТОРИИ КАСПИЙСКОГО МОРЯ В СРЕДЕ GEE 100

Ж.Т.Мукаев, Ж.О. Озгелдинова, М.М. Улыкпанова, А.А.Жангужина

ГЕОЭКОЛОГИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА КАЧЕСТВА ПОВЕРХНОСТНЫХ ВОД В РЕКРЕАЦИОННОЙ ЗОНЕ ОЗЕРА АЛАКОЛЬ..... 110

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

СОВРЕМЕННАЯ ГИДРОХИМИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ВОДНЫХ ОБЪЕКТОВ КАЗАХСТАНСКОЙ ЧАСТИ БАССЕЙНА Р. ЕРТИС..... 121

Ж.О. Озгелдинова, А.А. Жангужина, Ж.Т. Мукаев, М.М. Улыкпанова, Ж.Г. Берденов

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПОРОДНОГО СОСТАВА ЛЕСНОЙ РАСТИТЕЛЬНОСТИ КОСТАНАЙСКОЙ ОБЛАСТИ ПО ДАННЫМ ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ ЗЕМЛИ 133

М.Т. Кусаинова, Ж.З. Толеубекова, А.А. Ахмадия, А.З. Капасова

ПРИМЕНЕНИЕ РАДАРНЫХ И ОПТИЧЕСКИХ ДАННЫХ ДЗЗ ДЛЯ ОЦЕНКИ КОЛИЧЕСТВА ПОСТРАДАВШИХ ДОМОВ, ПЛОЩАДИ И ГРАНИЦ ЗОН ЗАТОПЛЕНИЯ..... 144

ОБЗОР

С.К. Алимкулов, А.Б. Мырзахметов

ПАСПОРТ РЕК КАЗАХСТАНА..... 161

МАЗМҰНЫ

ҒЫЛЫМИ МАҚАЛАЛАР

Р.Г. Абдрахимов, А.Ф. Абилов, С.Б. Саиров

КЛИМАТТЫҢ ӨЗГЕРІСІНДЕГІ ОБА АЛАБЫНДАҒЫ ЖӘНЕ ҚАЛБА ЖОТАСЫНЫҢ СОЛ- ТҮСТІК БЕТКЕЙІНДЕГІ ӨЗЕНДЕРДІҢ ЖЫЛДЫҚ АҒЫСЫ..... 7

А.В. Бабкин, В.И. Бабкин, А.С. Мадиеков, А. Мұсақұлқызы, А.В. Чердниченко

ЖАЙЫҚ (УРАЛ) ӨЗЕНІНІҢ ЖЫЛДЫҚ АҒЫНЫНЫҢ ЖЕКЕ АЙЛАРДАҒЫ ҰЗАҚ МЕРЗІМДІК ӨЗГЕРУІНІҢ АВТОКОРРЕЛЯЦИЯЛЫҚ ӘДІСІ ЕСКЕРІЛГЕН БОЛЖАМДАРЫ..... 16

С.К. Алимкулов, Л.К. Махмудова, А.А. Турсунова, Э.К. Талипова, Л.М. Биримбаева

КӨПЖЫЛДЫҚ ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЯЛЫҚ МӘЛІМЕТТЕРІ НЕГІЗІНДЕ ЖАЙЫҚ-КАСПИЙ СУ ШАРУАШЫЛЫҚ АЛАБЫНДАҒЫ ГИДРОЛОГИЯЛЫҚ ҚҰРҒАҚШЫЛЫҚТЫ БАҒАЛАУ..... 26

С.Б. Саиров, Д.К. Алимбаева, Н.Т. Серікбай, А.Ғ. Елтай, Т.А. Тілләкәрім

ҚАЗАҚСТАН РЕСПУБЛИКАСЫНДАҒЫ ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЯЛЫҚ ҚЫЗМЕТ ЖЕЛІСІНІҢ ГИДРОЛОГИЯЛЫҚ БАҚЫЛАУ ПУНКТТЕРІНІҢ МИНИМАЛДЫ САНЫН ЕСЕПТЕУ..... 39

В.Е. Гагарин, А.В. Кошурнико, Д.М. Фролов, Г.А.Ржаницын

ММУ МЕТЕОБСЕРВАТОРИЯСЫНЫҢ ҚАР ЖӘНЕ ӨСІМДІК ЖАМЫЛҒЫСЫ ЖОҚ АЛАҢДА ТЕРМОМЕТРИЯЛЫҚ ҰҢҒЫМАНЫ ӨЗІРЛЕУ..... 47

А.В. Чердниченко, В.С. Чердниченко, І. Б. Әшім

ҚАЗАҚСТАННЫҢ СОЛТҮСТІК БАТЫС АЙМАҒЫНДАҒЫ КЛИМАТТЫҚ ПАРАМЕТРЛЕРДІҢ ДИНАМИКАСЫ..... 54

Н.С.Абдолла, А.С.Нысанбаева, А.К. Әбдіразақ

ҚЫЗЫЛОРДА ОБЛЫСЫНДАҒЫ АУА ТЕМПЕРАТУРАСЫНЫҢ 1961...2020 ЖЫЛДАР АРАЛЫҒЫНДА ӨЗГЕРУІ..... 65

Н.Ш. Гусейнов, Дж.С. Гусейнов, А.Х. Гаджиев

ӨЗЕРБАЙДЖАН РЕСПУБЛИКАСЫНДАҒЫ КУРА-АРАКС ЖАЗЫҒЫНДАҒЫ АТМОСФЕРАЛЫҚ ЖАУЫН-ШАШЫННЫҢ УАҚЫТ-КЕҢІСТІК БӨЛУІН БАҒАЛА..... 79

В.В. Жданов, Н.У. Кужагельдина, А.Н. Камалбекова, Ұ.Р. Алдаберген

ІЛЕ АЛАТАУЫНДАҒЫ ҚЫСТЫ ҚАР ЖАҒДАЙЫ ЖӘНЕ ҚАР КӨШКІНІ ӨРЕКЕТІ БОЙЫНША ТҮРЛЕРІ..... 89

Г.Н. Сагатдинова, Д.Б. Нурсейтов

КАСПИЙ ТЕҢІЗІ АКВАТОРИЯСЫНДАҒЫ МҰНАЙДЫҢ ТӨГІЛУЛЕРІН АНЫҚТАУ ҮШІН SENTINEL-1 СПУТНИГІНІҢ РАДИОЛОКАЦИЯЛЫҚ ДЕРЕКТЕРІН ГЕЕ ОРТАСЫНДА ӨНДЕУ 100

Ж.Т.Мукаев, Ж.О. Озгелдинова, М.М. Улыкпанова, А.А.Жангужина

АЛАКӨЛ КӨЛІНІҢ РЕКРЕАЦИЯЛЫҚ АЙМАҒЫНДАҒЫ ЖЕР ҮСТІ СУЛАРЫНЫҢ САПАСЫН ЗЕРТТЕУ..... 110

С.М. Романова, Е.Г. Крупа, А.С. Серікова, С.Н. Алексеев

ҚАЗАҚСТАН БӨЛІГІНДЕГІ ЕРТІС ӨЗЕНІ АЛАБЫНЫҢ СУ АЙДЫНДАРЫНЫҢ ҚАЗІРГІ ГИДРОХИМИЯЛЫҚ СИПАТТАМАСЫ..... 121

Ж.О. Озгелдинова, А.А. Жангужина, Ж.Т. Мукаев, М.М. Улыкпанова, Ж.Г. Берденов

ҚОСТАНАЙ ОБЛЫСЫНЫҢ ОРМАНДАРЫНДАҒЫ ОРМАН ТҮЗУШІ ТҰҚЫМДАР ҚҰРАМЫН ЖЕРДІ ҚАШЫҚТЫҚТАН ЗОНДТАУ ДЕРЕКТЕРІ АРҚЫЛЫ АНЫҚТАУ..... 133

М.Т. Кусаинова, Ж.З. Толеубекова, А.А. Ахмадия, А.З. Капасова

ЗАРДАП ШЕККЕН ҮЙЛЕРДІҢ САНЫН, СУ БАСУ АЙМАҚТАРЫНЫҢ АУДАНЫ МЕН ШЕКАРАЛАРЫН БАҒАЛАУ ҮШІН ЖҚЗ РАДИОЛОКАЦИЯЛЫҚ ЖӘНЕ ОПТИКАЛЫҚ ДЕРЕКТЕРІН ҚОЛДАНУ..... 144

ШОЛУ

С.Қ. Әлімқұлов, А.Б. Мырзахметов

ҚАЗАҚСТАН ӨЗЕНДЕРІНІҢ ПАСПОРТЫ..... 161

CONTENTS

SCIENTIFIC ARTICLES

R. Abdrakhimov, A. Abirov, S. Sairov

ANNUAL RUNNOWN OF RIVERS IN THE OBA BASIN AND THE NORTHERN SLOPE OF THE KALBA RIDGE UNDER CLIMATE CHANGE..... 7

A. Babkin, V. Babkin, A. Madibekov, A. Mussakulkyzy, A. Cherednichenko

FORECASTS OF ANNUAL RUNOFF OF THE ZHAIYK RIVER (URAL) TAKING INTO ACCOUNT AUTOCORRELATION MODELS OF ITS MULTI-YEAR FLUCTUATIONS FOR INDIVIDUAL MONTHS..... 16

S. Alimkulov, L. Makhmudova, A. Tursunova, E. Talipova, L. Birimbayeva

ASSESSMENT OF HYDROLOGICAL DROUGHTS BASED ON THE RESULTS OF LONG-TERM HYDROMETEOROLOGICAL DATA OF THE ZHAIYK-CASPIAN WATER BASIN

S. Sairov, D. Alimbayeva, N. Serikbay, A. Yeltay, T. Tillakarim

CALCULATION OF THE MINIMUM NUMBER OF HYDROLOGICAL OBSERVATION STATIONS OF THE HYDROMETEOROLOGICAL SERVICE NETWORK IN THE REPUBLIC OF KAZAKHSTAN

V. Gagarin, A. Koshurnikov, D. Frolov, G. Rzhantsyn

DEVELOPMENT OF A THERMOMETRIC WELL ON A SITE WITHOUT SNOW AND VEGETATION COVER OF THE MSU METEOROLOGICAL OBSERVATORY..... 47

A. Cherednichenko, V. Cherednichenko, I. Ashim

DYNAMICS OF CLIMATE PARAMETERS IN THE NORTHWEST REGION OF KAZAKHSTAN..... 54

N.S. Abdolla, A.S. Nyssanbayeva, A.K. Abdirazak

AIR TEMPERATURE CHANGES IN KYZYLORDA REGION OF KAZAKHSTAN IN THE PERIOD 1961...2020..... 65

N.Sh. Huseynov, J.S. Huseynov, A.Kh. Hajiyev

EVALUATION OF THE TIME-SPACE DISTRIBUTION OF ATMOSPHERIC PRECIPITATION IN THE KUR-ARAS PLAIN IN THE AZERBAIJAN REPUBLIC..... 79

V. Zhdanov, N. Kuzhageldina, A. Kamalbekova, U. Aldabergen

TYPICATION OF WINTER IN ILE ALATAU BY SNOW CONDITION AND AVALANCHE ACTIVITY

G.N. Sagatdinova, D.B. Nurseitov

PROCESSING SENTINEL-1 SAR DATA FOR DETECTING OIL SPILLS IN THE CASPIAN SEA USING GOOGLE EARTH ENGINE..... 100

Zh. T. Mukayev, Zh.O.Ozgeldinova, M.M. Ulykpanova, A.A. Zhanguzhina

GEOECOLOGICAL ASSESSMENT OF SURFACE WATER QUALITY IN THE RECREATIONAL ZONE OF LAKE ALAKOL..... 110

S. Romanova, E. Krupa, A. Serikov, S. Alekseev

MODERN HYDROCHEMICAL CHARACTERISTICS OF WATER BODIES IN THE KAZAKHSTAN PART OF THE BASIN R. IRTYSH..... 121

Zh.O. Ozgeldinova, A.A. Zhanguzhina, Zh.T. Mukayev, M.M. Ulykpanova, Zh.G Berdenov

DETERMINING THE SPECIES COMPOSITION OF FOREST VEGETATION IN THE KOSTANAY REGION USING REMOTE SENSING DATA..... 133

M. Kussainova, Zh. Toleubekova, A. Akhmadiya, A. Kapassova

THE USE OF RADAR AND OPTICAL REMOTE SENSING DATA TO ESTIMATE THE NUMBER OF AFFECTED HOUSES, THE AREA AND BOUNDARIES OF FLOOD ZONES..... 144

REVIEW

S.K. Alimkulov, A.B. Myrzakhmetov

PASSPORT OF THE RIVERS OF KAZAKHSTAN..... 161

УДК 556.16

МРНТИ 37.27.19

**ГОДОВОЙ СТОК РЕК БАССЕЙНА ОБЫ И СЕВЕРНОГО СКЛОНА ХРЕБТА КАЛБА
В УСЛОВИЯХ КЛИМАТИЧЕСКИХ ИЗМЕНЕНИЙ****Р.Г. Абдрахимов¹ к.т.н., доцент, А.Ф. Абиров^{1*}, С.Б. Саиров² к.г.н.***¹Кафедра метеорологии и гидрологии, факультет географии и природопользования, Казахский национальный университет им. аль-Фараби, Алматы, Казахстан**²РГП «Казгидромет», Астана, Казахстан**E-mail: dos1999@mail.ru*

Исследованы закономерности формирования годового стока в бассейне р.Оба и рек Калбинского хребта, проанализированы метеорологические характеристики — средние годовые температуры воздуха и годовые суммы осадков по данным метеостанций Восточного Казахстана. Выявлены тенденции изменения гидрометеорологических показателей, и в первую очередь норм данных характеристик в условиях потепления климата. Рассчитаны средние годовые расходы воды различной обеспеченности в современный период. Проведенный анализ показал, что за многолетний период с 1980 г. годовой сток рассматриваемых рек снизился в бассейне р. Оба на 10,6% и на 2,7% левобережных притоков Ертиса. При этом необходимо отметить, что наметившаяся тенденция увеличения сумм осадков за год и средних годовых расходов воды рек левобережья Ертиса с начала 2010 годов, в последующем может стать устойчивой, и в дальнейшем должна привести к увеличению осадков территории и стока правобережных притоков Ертиса.

Ключевые слова: изменение климата, суммарные интегральные кривые, осадки, температура, годовой сток

Поступила: 25.12.23

DOI: 10.54668/2789-6323-2024-112-1-7-15

ВВЕДЕНИЕ

Территории восточного Казахстана, а именно верховьев бассейна Ертиса, в настоящее время являются наиболее водообеспеченными. Сток рек формируется в пределах западных склонов Алтая. Достаточная увлажненность и горный рельеф обуславливают здесь густую речную сеть и относительно устойчивую водность рек. Одним из наиболее крупных правобережных притоков Ертиса является р. Оба, имеющая площадь водосбора равную 9952 км² в пределах границ Западного Алтая. Сток реки используется в основном в нижнем течение для сельскохозяйственных нужд и коммунального водоснабжения населенного пункта (г.Шемонаиха) (Ресурсы поверхностных вод СССР, 1969; 1966). Анализ рядов средних годовых расходов воды рек бассейна Обы показал, что значимых изменений за счет хозяйственной деятельности в годовом стоке за многолетний период не прослеживается.

Исходя из этого можно отметить, что реки бассейна Обы, а также реки левобережных притоков Ертиса, формирующиеся на склонах Калбинского хребта гор южного Алтая имеют естественный характер водного режима, а изменения их стоковых характеристик в основном зависят от климатических условий — режима осадков и температур воздуха, как косвенного показателя испарения.

Кроме того, водный режим водотоков, сформированных в горной местности, зависит от высоты и экспозиции склонов, в частности направления многочисленных хребтов западного Алтая.

Исходя из краткого изложения объектов исследования и известных фактов роста водопотребления, вызванного устойчивым развитием всех отраслей сельскохозяйственного и промышленного производства в регионе, а также потерь части стока Ертиса при эксплуатации канала Ертис-Карамай на территории КНР

(Абдрахимов, Джаксикельдинов, 2013; Галиперин, 2001), анализ и перспективы стоковых показателей отмеченных рек могут служить ориентиром при планировании их хозяйственного использования и строительства гидротехнических сооружений в условиях изменения климата .

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

В качестве материалов исследований использовались данные наблюдений за гидрометеорологическими элементами в пунктах сети РГП «Казгидромет» — метеорологических станций (МС) и гидрологических постов (ГП) (Справочник по климату Казахстана, 2003; 2004; Государственный водный кадастр, 2004). При этом из ряда пунктов наблюдения выбраны в основном станции и посты длительного периода действия. На рисунке 1 указаны места расположения МС и ГП.

Расположение МС, в целом, позволяет оценить изменения метеорологических характеристик в различных частях и на разных высотах водосбора. Основными методами при оценке годовых величин стока и климатических изменений на основе анализа многолетних колебаний средних годовых расходов воды, средних годовых

температур воздуха и годовых сумм осадков являлись методы аналогии, математической статистики и теории вероятности. Восстановление пропусков в наблюдениях рядов гидрометеорологических характеристик выполнялось с помощью связей расчетных величин, наблюдавшихся в соседних пунктах, с коэффициентами линейной корреляции более $r > 0,80$ (СНИП, 1985).

Достоверность расчетных характеристик в первую очередь определяется выбором однородных периодов с некоторой относительно устойчивой величиной среднего многолетнего значения - нормой. Изменения условий формирования стока или метеорологических процессов вызывают нарушения однородности исследуемых статистических выборок. Анализ однородности и выделение расчетных периодов, в следствие климатических изменений, имеет определяющее значение в исследовании многолетних колебаний гидрометеорологических характеристик.

Оценка однородности выбранных периодов с использованием известных параметрических критериев Стьюдента и Фишера (СТО ГГИ 52.08.52-2017, 2017) выполнена с помощью программы StokStat (https://www.geodigital.ru/soft_hydr).

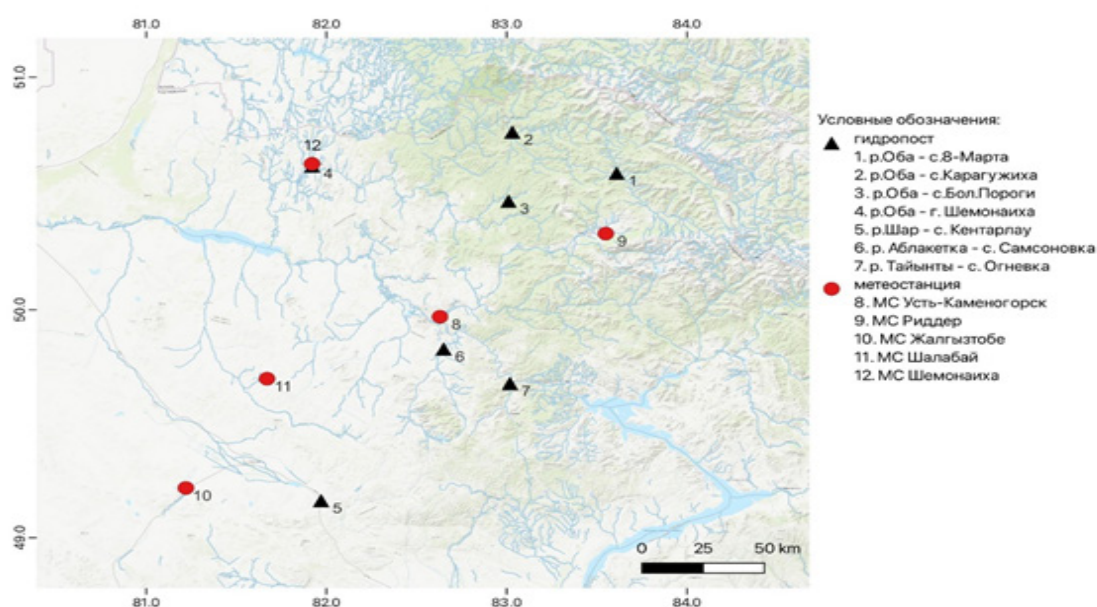


Рис. 1. Расположение пунктов наблюдения (МС и ГП)

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Анализ метеорологических характеристик стокообразования

Анализ рядов метеорологических показателей, определяющих поверхностный сток по данным указанных МС, расположенных на различных высотах, рассматриваемой территории, позволил отметить следующее.

Изменение периодов с относительно устойчивой величиной среднего многолетнего значения исследуемой гидрометеорологической характеристикой – нормой, наиболее наглядно можно проследить с помощью суммарных интегральных

кривых. На рисунке 2 приведены такие кривые, построенные на основе средних годовых температур воздуха.

Исходя из хода данных кривых просматривается повсеместно повышение средних годовых температур воздуха с начала 1970-х годов. При этом интенсивность роста годовых температур возрастает с середины 90-х годов и начала 2000-х годов.

В целом, средняя многолетняя величина средней годовой температуры воздуха с 1970-х годов в рассматриваемом регионе повысилась на 1,1°C. В таблице 1 приведены показатели роста температуры по данным всех МС.

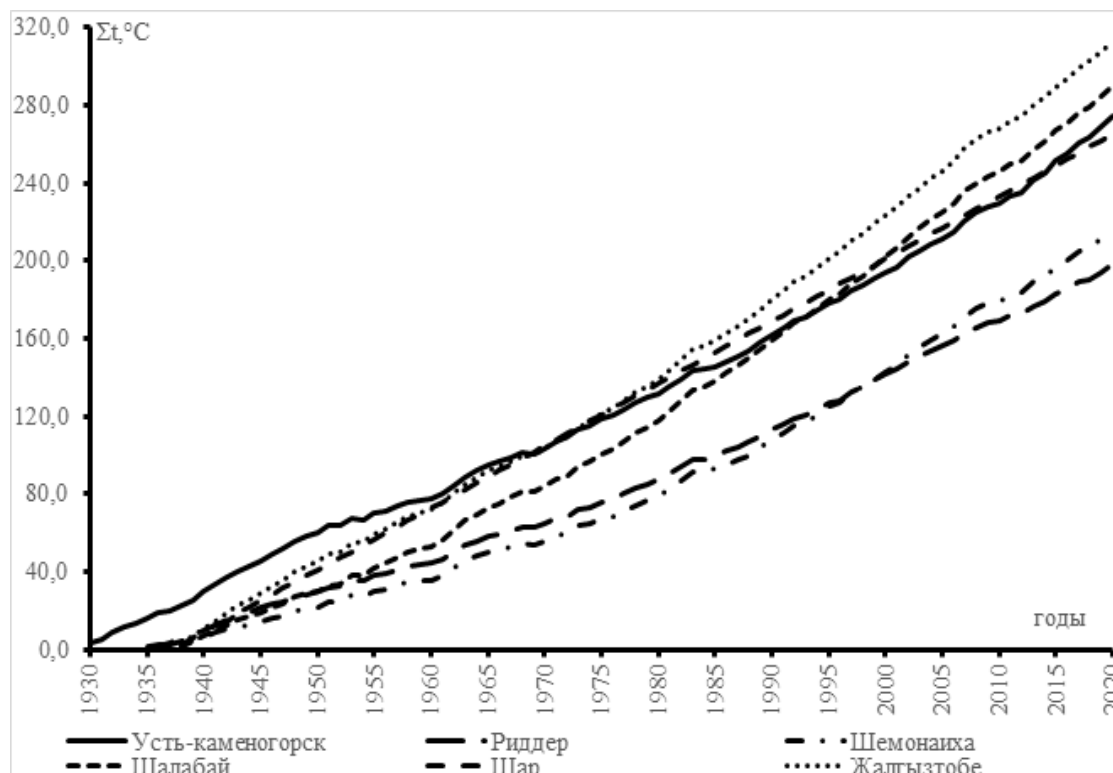


Рис. 2. Суммарные интегральные кривые средних годовых температур воздуха

Рост средних годовых температур воздуха несомненно приводит к увеличению испарения и дефициту увлажненности территорий, а также большему объему стока с высокогорных областей. Что касается сумм годовых осадков, то здесь наблюдается снижение их значений в среднем с конца 1970-х, 1980-х годов (рисунок 3). Однако, как видно, на основании данных МС, расположенных на левобережных склонах Ертиса значения годовых сумм осадков, с 2010 года стали

расти. С точки зрения статистического анализа на основе пока еще незначительного периода, координально выводы о намеченной тенденции делать преждевременно. Значение средних многолетних сумм годовых осадков за относительно устойчивые периоды, т.е до 1980 года и после приведены в таблице 2, как видно, количество осадков, хотя и незначительно, но с 1980 года уменьшается, что как показал дальнейший анализ, отразилось и на стоковых характеристиках рек.

Таблица 1

Средние годовые температуры воздуха за многолетние периоды (tcp, °C)

Метеостанция	Высота, м абс	Период осреднения, годы	tcp, °C	Повышение Δt, °C
Усть-Каменогорск	285	1930...1969	2,52	0,89
		1970...2020	3,41	
Риддер	809	1935...1969	1,82	0,82
		1970...2020	2,64	
Шемонаиха	329	1936...1969	1,60	1,58
		1970...2020	3,18	
Шалабай	365	1938...1969	2,50	1,60
		1970...2020	4,10	
Шар	338	1938...1969	2,70	0,80
		1970...2020	3,50	
Жалгызтобе	454	1938...1969	3,10	1,10
		1970...2020	4,20	
в среднем по региону				1,10

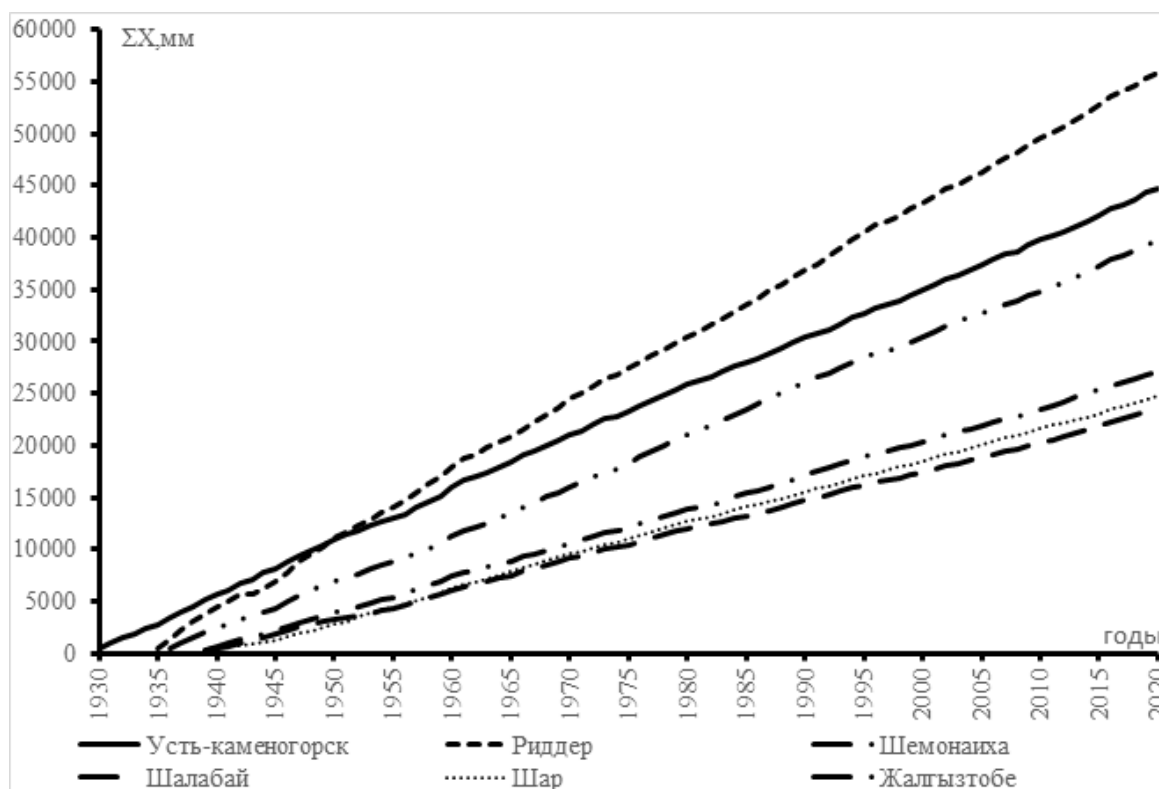


Рис.3. Суммарные интегральные кривые годовых сумм осадков по МС Восточного Казахстана

Оценка характеристик годового стока рек

Поверхностный сток являясь производной от испарения и осадков в целом отражает баланс значений данных характеристик. В аридных зонах большую роль на формирования стока оказывает увлажненность территорий, что не позволяет непосредственно строить связи расходов воды в реках и количества осадков.

Рассматривая колебания средних го-

довых расходов воды расчетных рек, складывающихся из цикличности водности и изменений однородности периодов с относительно устойчивой средней величиной, наблюдаемых с помощью суммарных интегральных кривых стока и выводов климатических изменений метеорологических характеристик, можно отметить следующее.

За многолетний период, на фоне колебания многоводных и маловодных фаз водности на всех реках

Таблица 2

Средние годовые суммы осадков за многолетние периоды ($X_{\text{ср}}$, мм)

Метеостанция	Высота, м абс	Период осреднения, годы	$X_{\text{ср}}$, мм	Уменьшение	
				ΔX , мм	%
Усть-Каменогорск	285	1930...1979	509	39	8
		1980...2020	470		
Риддер	809	1935...1979	666	33	5,2
		1980...2020	633		
Шемонаиха	329	1936...1979	469	3	0,6
		1980...2020	466		
Шалабай	365	1936...1979	341	9	2,7
		1980...2020	332		
Шар	338	1939...1979	288	2	0,7
		1980...2020	286		
Жалгызтобе	454	1936...1979	303	4	1,3
		1980...2020	299		

отмечаются изменения наклона осредняющей линии с конца 1970-х годов и начала 1980-х годов в сторону снижения годовых величин стока (рисунки 4, 5) При этом ход кривых совпадает с многолетним режимом годовых осадков рассматриваемых территорий. В связи с этим к расчету стоковых характеристик приняты два периода до 1980 года и после, что позволило оценить изменение их за счет смены климатических условий. Результаты оценки на од-

нородность также подтверждают неоднородность рядов средних годовых расходов воды за весь рассматриваемый период наблюдений, и наоборот, принятые к расчетам периоды с 1930...1980 гг., и 1980...2020 гг. можно считать однородными, при этом следует отметить, что такого рода статистический анализ исходя из коротких выборок гидрологических элементов, носит несколько приближенный характер.

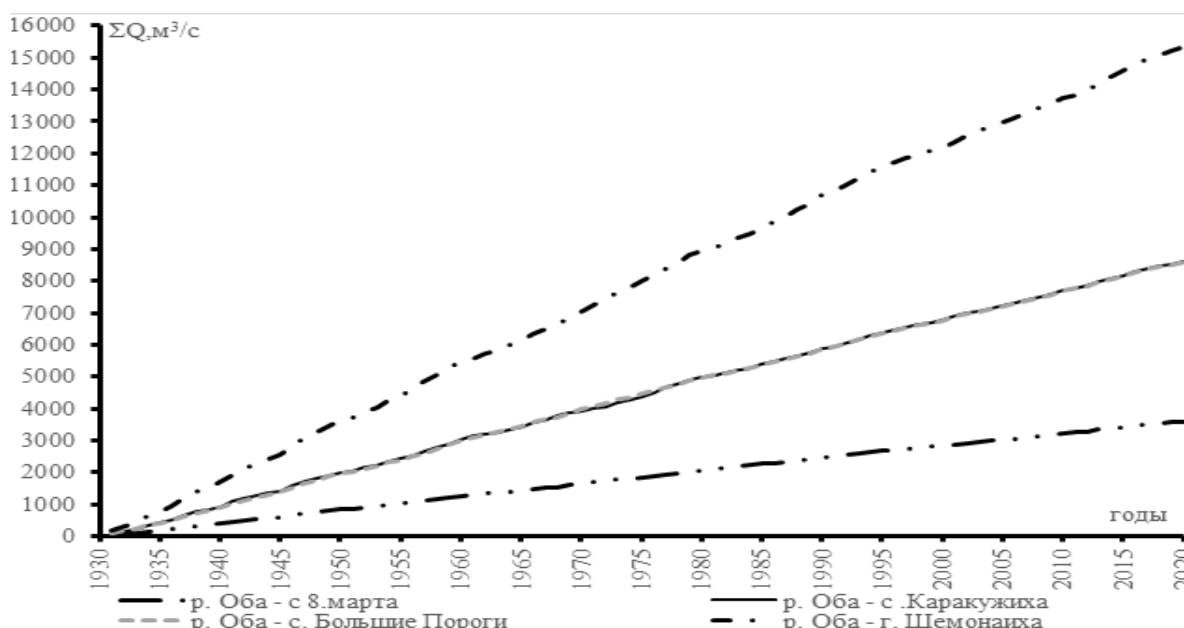


Рис. 4. Суммарные интегральные кривые годового стока р. Обь

Расчеты параметров кривых распределения и величин годового стока рек различной обеспеченности в условиях наблюдающихся изменений климатических показателей позволяют оценить современное состояние водности некоторых притоков Ертиса и понимания тенденций развития

водно-балансовых элементов рассматриваемых территорий. Основные характеристики средних годовых расходов воды приведены в таблице 3 и рассчитаны также с помощью программы StokStat с использованием биномиальных кривых распределения при $C_s=2C_v$.

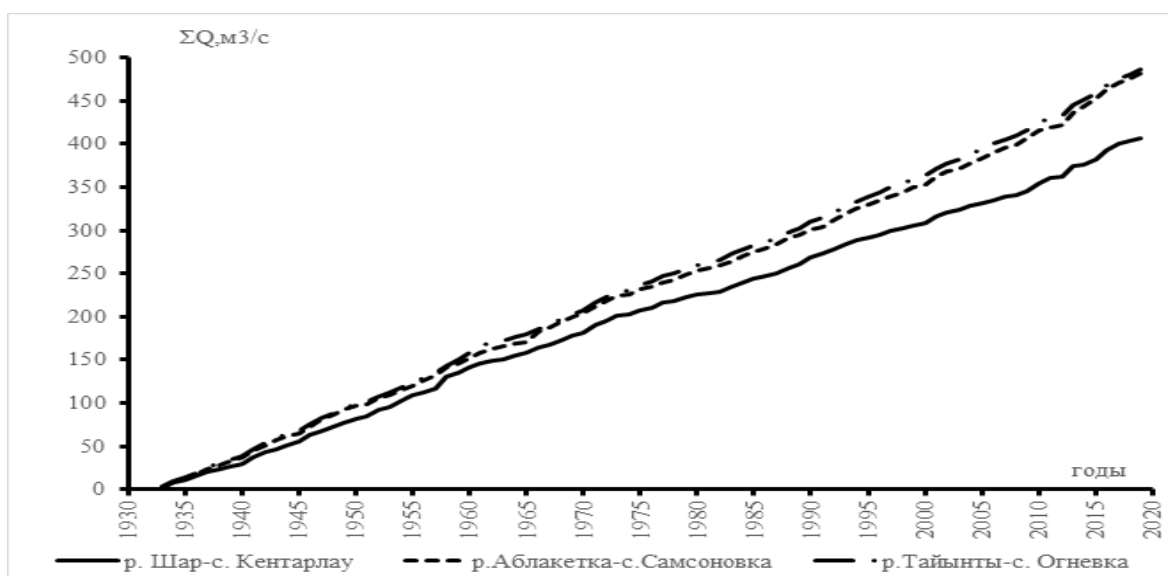


Рис. 5. Суммарные интегральные кривые годового стока рек хребта Калба

Таблица 3

Характеристики средних годовых расходов воды рек в различные климатические периоды

№ п/п	Река-пункт	Расчетный период	Q _{ср} , м ³ /с	C _т	Расходы воды различной обеспеченности, %					
					1	5	10	50	75	95
Реки бассейна Обы (правобережные)										
1	р. Оба - с.8.марта	1931...1979 (49 лет)	42,0	0,24	68,9	59,8	55,3	41,1	34,7	27,0
		1980...2020 (41 год)	37,7	0,24	62,0	53,8	50,0	37,0	31,2	24,3
		уменьшение, %	10,2		10,0	10,0	9,58	9,97	10,1	10,0
2	р. Оба - с. Каракузиха	1931...1979 (49 лет)	102	0,24	168	146	135	100	84,7	65,9
		1980...2020 (41 год)	92,2	0,19	138	123	115	91,0	80,0	65,5
		уменьшение, %	9,60		17,8	15,7	14,8	9,00	5,54	0,60
3	р. Оба - с. Большие Пороги	1931...1979 (49 лет)	99,6	0,22	157	138	128	98,0	84,0	66,7
		1980...2020 (41 год)	90,3	0,18	132	119	112	89,2	78,8	65,4
		уменьшение, %	9,30		15,9	13,7	12,5	8,97	6,19	1,94
4	р. Оба - г.Шемонаиха	1931...1979 (49 лет)	180	0,28	318	270	247	175	144	106
		1980...2020 (41 год)	159	0,22	252	221	205	157	134	107
		уменьшение, %	11,6		20,7	18,1	17,0	10,2	6,94	0,94
Реки хребта Калба (левобережные)										
5	р. Шар - с. Кентарлау	1933...1979 (47 лет)	4,68	0,48	11,4	8,88	7,69	4,32	3,03	1,70
		1980...2019 (40 лет)	4,74	0,47	11,3	8,89	7,72	4,39	3,11	1,77
		уменьшение, %	1,20		0,87	0,11	0,39	1,62	2,64	4,11
6	р. Аблакетка - с. Самсоновка	1933...1979 (47 лет)	5,54	0,38	11,5	9,39	8,35	5,27	4,00	2,60
		1980...2019 (40 лет)	5,30	0,38	11,0	8,99	7,99	5,04	3,83	2,49
		уменьшение, %	4,30		4,34	4,25	4,31	4,36	4,25	4,23
7	р. Тайынты - с. Огневка	1933...1979 (47 лет)	5,59	0,30	10,2	8,60	7,82	5,42	4,38	3,15
		1980...2019 (40 лет)	5,44	0,30	9,92	8,37	7,60	5,27	4,26	3,07
		уменьшение, %	2,60		2,74	2,67	2,81	2,76	2,73	2,53

Сопоставляя результаты расчетов характеристик годового стока рек за период с относительно устоявшейся средней многолетней величиной средних годовых расходов – нормой, и её значением в условиях климатических изменений, показателей водного и теплового баланса, т.е с начала 1980-х годов, видно снижение водности, как правобережных водотоков Ертиса так и левобережных.

Таким образом, в среднем, за многолетний период с 1980 г. годовой сток рассматриваемых рек снизился в бассейне р. Оба на 10,6% и на 2,7% левобережных притоков Ертиса. При этом необходимо отметить, что наметившаяся тенденция увеличения сумм осадков за год и средних годовых расходов воды рек левобережья Ертиса с начала 2010 годов, в последующем может стать устойчивой, и в дальнейшем должна привести к увеличению осадков территории и стока правобережных притоков Ертиса.

Изменения количества осадков и стоковых показателей рек происходят гораздо инертнее в отличие от температур воздуха, так как связаны со сложными синоптическими процессами и обусловлены большим количеством определяющих их величины факторами. Но преобладающий западный перенос воздушных масс все же должен изменить в ближайшие годы тенденцию снижения количества осадков и в предгорьях Алтая.

ВЫВОДЫ

1) Глобальное потепление заметно сказывается на балансовых характеристиках водного режима рек в бассейне верховьев Ертиса. Увеличение средней годовой температуры воздуха и снижения количества осадков влечёт уменьшение водности, как левобережных, так и правобережных его притоков.

2) Снижение годового стока рек водосборов р.Оба и Калбинского хребта в среднем на 10,6 % и 2,7 % за последние десятилетия с начала 1980 года негативно влияет на водохозяйственный потенциал региона и экологическое состояние территорий ВКО.

3) Наметившаяся тенденция увеличения годовых сумм осадков и величин средних годовых расходов воды рек Калбинского хребта за последние десять лет позволяют с определённой долей оптимизма смотреть в целом на ситуацию водообеспечения данного региона.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1) Ресурсы поверхностных вод СССР. Алтай и Западная Сибирь. Горный Алтай и Верхний Иртыш. - Л.: Гидрометеоиздат, 1969. - Т.15. – Вып.1. – Часть 1. - 318 с.
- 2) Ресурсы поверхностных вод СССР. Гидрологическая изученность. Алтай и Западная Сибирь. Горный Алтай и Верхний Иртыш. - М.: Гидрометеоиздат, 1966. - Т.15, – Вып.1. - 216 с.
- 3) Чигринец А.Г., Жансыкпаев А.Р. Минимальный сток рек в бассейнах рек Ульби и Обы // Вопросы географии и геоэкологии. – Алматы, 2019. – Вып.4. – С. 150-170.
- 4) Абдрахимов Р.Г., Джаксикельдинов А. Сток в верхнем течении реки Ертис (Иртыш) // Гидрометеорология и экология. №2, 2013 г.- С. 61-67.
- 5) Справочник по климату Казахстана. Восточно-Казахстанская область, Температура воздуха. – Алматы, 2004. – Вып.10. – Раздел.1. – 511с.
- 6) Справочник по климату Казахстана. Восточно-Казахстанская область, Атмосферные явления. – Алматы, 2003. – Вып.10. – Раздел.3. – 511с.
- 7) Государственный водный кадастр. Многолетние данные о режиме и ресурсах поверхностных вод суши. 1991-2000 гг. Реки и каналы. Бассейн рек Иртыш, Ишим, Тобол (верхнее течение), – Алматы, 2004. – Вып.1. – Книга 1. Часть 1. – 191 с
- 8) Болдырев В.М. Практикум по дисциплине «Гидрологические расчеты». – Алматы: Қазақ университеті, 2000. – 40 с.
- 9) StokStat [Электронный ресурс]: URL https://www.geodigital.ru/soft_hydr
- 10) Владимиров А.М. Гидрологические расчеты. – Л.: Гидрометеоиздат, 1990. – 360 с.
- 11) Рождественский А.В., Лобанова А.Г. Пособие по определению расчетных гидрологических характеристик. – Л.: Гидрометеоиздат, 1984. - 444 с.
- 12) A Ryskeldieva, D Burlibaeva, A Yerdeshbay, G Kamelkhan, N Sarova. Clarke concentrations of heavy metals in surface waters of the transboundary river Yertis (Kazakhstan) . Water Science 37 (1), 18-27
- 13) СНИП 2.01.14-83. Определение расчетных гидрологических характеристик. Государственный комитет ССР по делам строительства. Москва. -1985. -40 с.
- 14) СТО ГГИ 52.08.41-2017. Основные гидрологические характеристики при нестационарности временных рядов, обусловленной влиянием климатических факторов. Санкт-Петербург. ФГБУ «ГГИ». -2017. – 43 с.
- 15) Галиперин Р.И. Современные и ожидаемые водные ресурсы Черного Иртыша // Вестник КазНУ серия географическая. – 2001. №1 (12). С. 54-65.

REFERENCES

- 1) Resursy poverkhnostnykh vod SSSR. Altai i Zapadnaya Sibir'. Gornyi Altai i Verkhniy Irtysh. L.:Gidrometeoizdat,1969.-T.15.–Vyp.1.–Chast'1.-318.
- 2) Resursy poverkhnostnykh vod SSSR. Gidrologicheskaya izuchennost'. Altai i Zapadnaya Sibir'. Gornyi Altai i Verkhniy Irtysh. - M.: Gidrometeoizdat, 1966. - T.15, – V.1.216 p.

- 3) Chigrinets A.G., Zhansykrayev A.R. Minimal'nyi stok rek v basseynakh rek Ul'bi i Oby // Voprosy geografii i geokologii. – Almaty, 2019. – V.4. – P. 150-170.
- 4) Abdrakhimov R.G., Dzhaksikeldinov A. Stok v verkhnem techenii reki Ertis (Irtysh) // Hidrometeorologiya i ekologiya. №2, 2013. – P. 61-67.
- 5) Spravochnik po klimatu Kazakhstana. Vostochno-Kazakhstanskaya oblast', Temperatura vozdukha. – Almaty, 2004. – V.10. –1. – 511p.
- 6) Spravochnik po klimatu Kazakhstana. Vostochno-Kazakhstanskaya oblast', Atmosfernye yavleniya.– Almaty, 2003. – V.10. –3. – 511 p.
- 7) Gosudarstvennyi vodnyi kadastr. Mnogoletnie dannye o rezhime i resursakh poverkhnostnykh vod sushi. 1991-2000. Reki i kanaly. Bassein rek Irtysh, Ishim, Tobol (verkhnee techenie), – Almaty, 2004. – V.1. – Kniga 1. Chast' 1. – 191 p
- 8) Boldyrev V.M. Praktikum po distsipline «Gidrologicheskie raschety». – Almaty: Kazak universiteti, 2000. – 40 p.
- 9) StokStat [Elektronnyi resurs]: URL https://www.geodigital.ru/soft_hydr
- 10) Vladimirov A.M. Gidrologicheskie raschety. – L.: Gidrometeoizdat, 1990. – 360 p.
- 11) Rozhdestvenskii A.V., Lobanova A.G. Posobie po opredeleniyu raschetnykh gidrologicheskikh kharakteristik. – L.: Gidrometeoizdat, 1984. – 444 p.
- 12) A Ryskeldieva, D Burlibaeva, A Yerdabay, G Kamelkhan, N Sarova .Clarke concentrations of heavy metals in surface waters of the transboundary river Yertis (Kazakhstan) . Water Science 37 (1), 18-27
- 13) SNIP 2.01.14-83. Opredelenie raschetnykh gidrologicheskikh harakteristik. Gosudarstvennyj komitet SSR po delam stroitel'stva. Moskva. -1985. -40 p.
- 14) STO GGI 52.08.41-2017. Osnovnye gidrologicheskie harakteristiki pri nestacionarnosti vremennykh ryadov, obuslovlennoy vliyaniem klimaticheskikh faktorov. Sankt-Peterburg. FGBU «GGI». -2017. – 43 p.
- 15) Galiperin R.I. Sovremennye i ozhidaemye vodnye resursy Chernogo Irtysha // Vestnik KazNU seriya geograficheskaya. – 2001. №1 (12). P 54-65.

КЛИМАТТЫҢ ӨЗГЕРІСІНДЕГІ ОБА АЛАБЫНДАҒЫ ЖӘНЕ ҚАЛБА ЖОТАСЫНЫҢ СОЛТҮСТІК БЕТКЕЙІНДЕГІ ӨЗЕНДЕРДІҢ ЖЫЛДЫҚ АҒЫСЫ

Р.Г. Абдрахимов¹ т.ғ.к, доцент, А.Ф. Абилов^{1*}, С.Б. Саиров² т.ғ.к.

¹әл-Фараби атындағы ҚазҰУ география және табиғатты пайдалану факультеті метеорология және гидрология кафедрасы, Алматы, Қазақстан

²«Қазгидромет» РМК, Астана, Қазақстан

E-mail: dos1999@mail.ru

Оба өзені бассейні мен Қалбі жотасының өзендеріндегі орташа жылдық ағынның қалыптасу заңдылықтары зерттелді, метеорологиялық сипаттамалар – Шығыс Қазақстандағы метеостанциялар бойынша орташа жылдық ауа температурасы және жылдық жауын-шашын мөлшері талданды. Гидрометеорологиялық көрсеткіштердің өзгеру тенденциялары және ең алдымен климаттың жылыну жағдайында осы сипаттамалардың нормалары анықталды. Қазіргі кезеңдегі әртүрлі су көздерінің орташа жылдық су тұтынуы есептелді. Талдау көрсеткендей, 1980 жылдан бергі ұзақ мерзімді кезеңде қарастырылып отырған өзендердің жылдық ағыны Оба өзені алабында 10,6%-ға, Ертістің сол жағалауында 2,7%-ға төмендеген. 2010 жылдың басынан бастап Ертістің сол жағалауындағы өзендердің жылдық жауын-шашынның және орташа жылдық су өтімінің ұлғаюының қалыптасып келе жатқан тенденциясы кейіннен тұрақты болуы мүмкін екенін және келешекте аймақтың жауын-шашынның және Ертістің оң жағалауындағы салаларының ағынының ұлғаюына әкелуі мүмкін екенін атап өткен жөн.

Түйін сөздер: климаттың өзгеруі, жалпы интегралдық қисықтар, жауын-шашын, температура, жылдық ағын

ANNUAL RUNOFF OF RIVERS IN THE OBA BASIN AND THE NORTHERN SLOPE OF THE KALBA RIDGE UNDER CLIMATE CHANGE

R. Abdrakhimov¹ candidate of technical sciences, docent, A.F. Abirov^{1*}, S.B. Sairov² candidate of geographical sciences

¹Department of Meteorology and Hydrology, Faculty of Geography and Environmental Management, al-Farabi Kazakh National University, Almaty, Kazakhstan

²RSE «Kazhydromet», Astana, Kazakhstan

E-mail: dos1999@mail.ru

The patterns of formation of the average annual runoff in the basin of the Oba River and the rivers of the Kalbinsky Range were studied, meteorological characteristics were analyzed - average annual air temperatures and annual precipitation according to weather stations in Eastern Kazakhstan. Trends in changes in hydrometeorological indicators, and primarily the norms of these characteristics in conditions of climate warming, have been identified. The average annual water consumption of various water supplies in the modern period has been calculated. The analysis showed that over the long-term period since 1980, the annual flow of the rivers in question has decreased in the river basin. Both are 10.6% and 2.7% of the left bank tributaries of the Ertis. It should be noted that the emerging trend of increasing annual precipitation and average annual water flows of the rivers on the left bank of the Ertis since the beginning of 2010 may subsequently become stable, and in the future should lead to an increase in precipitation in the territory and the flow of the right-bank tributaries of the Ertis.

Key words: climate change, total integral curves, precipitation, temperature, annual runoff

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

Абдрахимов Рустам Гарифович – кандидат технических наук, доцент КазНУ им. аль-Фараби, кафедра метеорологии и гидрологии, факультет географии и природопользования, Алматы, аль-Фараби 71, rustam.abdrakhimov@kaznu.edu.kz

Абилов Адиль - Кафедра метеорологии и гидрологии, факультет географии и природопользования, Казахский национальный университет им. аль-Фараби, Алматы, аль-Фараби 71, dos1999@mail.ru

Саиров Серик Бияхметович - кандидат географических наук, первый заместитель генерального директора РГП «Казгидромет», Астана, Мангилик Ел 11/1, sairov_s@meteo.kz

Абдрахимов Рустам Гарифович – техника ғылымдарының кандидаты, доцент әл-Фараби атындағы ҚазҰУ, география және табиғатты пайдалану факультетінің метеорология және гидрология кафедрасы, Алматы, әл-фараби 71, rustam.abdrakhimov@kaznu.edu.kz

Абилов Адиль - әл-Фараби атындағы ҚазҰУ, география және табиғатты пайдалану факультетінің метеорология және гидрология кафедрасы, Алматы, әл-фараби 71, dos1999@mail.ru

Саиров Серик Бияхметович – география ғылымдарының кандидаты, «Казгидромет» РМК бас директорының бірінші орынбасары, Астана, Мәңгілік Ел 11/1, sairov_s@meteo.kz

Abdrakhimov Rustam - candidate of technical sciences, docent of al-Farabi KazNU, Department of Meteorology and Hydrology, Faculty of Geography and Environmental Management, Almaty, al-Farabi 71, rustam.abdrakhimov@kaznu.edu.kz

Abirov Adil - al-Farabi KazNU, Department of Meteorology and Hydrology, Faculty of Geography and Environmental Management, Almaty, al-Farabi 71, dos1999@mail.ru

Sairov Serik - candidate of geographical sciences, First Deputy Director-General of the RSE «Kazhydromet», Astana, Mangilik El 11/1, sairov_s@meteo.kz

Вклад авторов/ Авторлардың қосқан үлесі/ Authors contribution

Абдрахимов Рустам Гарифович - разработка концепции, разработка методологии, подготовка и редактирование текста, визуализация

Абилов Адиль - разработка методологии, проведение статистического анализа, проведения исследования, ресурсы, подготовка и редактирование текста, визуализация

Саиров Серик Бияхметович - разработка концепции

Абдрахимов Рустам Гарифович - тұжырымдаманы әзірлеу, әдістемені әзірлеу, мәтінді дайындау және өңдеу, көрнекілік

Абилов Адиль - әдістемені әзірлеу, статистикалық талдау жүргізу, зерттеу жүргізу, ресурстар, мәтінді дайындау және өңдеу, көрнекілік

Саиров Серик Бияхметович - тұжырымдаманы әзірлеу

Abdrakhimov Rustam - concept development, methodology development, preparing and editing the text, visualization

Abirov Adil - methodology development, conducting statistical analysis, conducting a research, resources, preparing and editing the text, visualization

Sairov Serik - concept development

ПРОГНОЗЫ ГОДОВОГО СТОКА Р. ЖАЙЫК (УРАЛ) С УЧЕТОМ АВТОКОРРЕЛЯЦИОННЫХ МОДЕЛЕЙ ЕГО МНОГОЛЕТНИХ КОЛЕБАНИЙ ЗА ОТДЕЛЬНЫЕ МЕСЯЦЫ

А.В. Бабкин¹ д.г.н., В.И. Бабкин¹ д.г.н., А.С. Мадибеков² PhD, А. Мусакулкызы^{2*} к.т.н.,
А.В. Чередниченко³ д.г.н.

¹Государственный гидрологический институт, Санкт-Петербург, Россия

²Институт географии и водной безопасности, Алматы, Казахстан

³НИИ проблем биологии и биотехнологий КазНУ им. аль-Фараби, Алматы, Казахстан

E-mail: mus_ain@mail.ru

Исследование посвящено разработке и применению автокорреляционных и общих регрессионных моделей для долгосрочного прогнозирования стока реки Урал (Жайык) на основе анализа многолетних колебаний. Река Урал является важным водным ресурсом Российской Федерации и Республики Казахстан, демонстрируя значительную изменчивость годового стока, которая влияет на различные отрасли хозяйственной деятельности. В ходе исследования были оценены годовые и месячные ряды стока реки за период с 1943 по 2010 год с использованием метода автокорреляции Ю.М. Алехина. На основе этих данных были составлены прогнозы на период с 2011 по 2015 годы. Полученные результаты свидетельствуют о том, что автокорреляционные модели обеспечивают более точные прогнозы по сравнению с моделями, основанными на средних значениях рядов. Общая регрессионная модель, интегрирующая месячные и годовые данные, показала наилучшие результаты, подтверждая эффективность комбинированного подхода в прогнозировании гидрологических характеристик. Научная значимость работы заключается в повышении точности и надежности прогнозов стока реки Урал, что способствует более эффективному управлению водными ресурсами в данном регионе.

Ключевые слова: ряды стока, автокорреляция, множественная регрессия, прогноз

Поступила: 08.12.23

DOI: 10.54668/2789-6323-2024-112-1-16-25

ВВЕДЕНИЕ

Река Урал, протяженностью 2428 км, является третьей по протяженности рекой Европы, уступает только Волге и Дунаю. Формируется на территории Российской Федерации (РФ), берет начало на южном Урале, на хребте Уралтау, впадает в Каспийское море у г. Атырау. Длина реки в пределах Республики Казахстан (РК) составляет 1084 км, здесь она называется рекой Жайык. В верховьях Урал представляет собой горную реку, ниже г. Верхнеуральска – это равнинная река. Ниже г. Орск она поворачивает на запад и юго-запад, от г. Уральск протекает с севера на юг. Участок реки до г. Орск считается верхним течением, участок от г. Орска до г. Уральска – средним течением, а участок от г. Уральска до Каспийского моря – нижним течением. Река Жайык играет ключевую роль в обеспечении

водой населения и различные отрасли экономики Западного Казахстана. Чрезвычайно высоко значение водных ресурсов р. Жайык в динамике уровня режима и водно-солевом балансе крупного трансграничного Каспийского моря. Водные ресурсы в нижнем течении широко используются в бассейне для хозяйственных целей. Вместе с тем приток этих маломинерализованных вод в Каспийское море приводят к существенному опреснению мелководной зоны Казахстанского сектора моря, что создает благоприятные условия для воспроизводства запасов ценных промысловых рыб, в т.ч. осетровых видов.

По имеющимся многолетним данным (Гальперин, 2012), величина годового стока р. Жайык характеризуется значительной изменчивостью и некоторой тенденцией к понижению.

Наибольшее значение его годового ряда, отмечавшееся в 1948 г., составило 20,1 км³/год, самый маленький сток – 2,85 км³/год был в 2006 г. По сравнению средним многолетним равным 12,0 км³, уменьшилась, например, к 2016 г. в среднем до 7,47 км³ или на 37,8 %.

В бассейне р. Урал колебания стока влияют на коммунально-бытовое и промышленное водоснабжение, рыболовство, судоходство, осуществляемое на ее отдельных участках, гидроэнергетику и другие отрасли современного производства. На территории Казахстана в связи с некоторыми особенностями: значительной ограниченностью местными водными ресурсами; зависимостью от государств-соседей, на территории которых формируется большая часть стока трансграничных рек; рекордной для континента межгодовой изменчивостью стока наших рек, что означает глубокую маловодность отдельных лет или даже их группировок; исключительной неравномерностью распределения стока равнинных рек внутри года, что предопределяет, с одной стороны, очень низкую межень (вплоть до полного прекращения стока), а с другой стороны – угрозу разрушительных половодий; наблюдающимся и продолжающимся ростом опустынивания территории в связи с глобальными климатическими изменениями, разработка методов долгосрочного прогнозирования стока этой реки является актуальной научной проблемой, важной для их развития.

Оценка водных ресурсов по уравнению водного баланса по данным прогнозных значений испарения, полученных кафедрой метеорологии КазНУ в 2010...2011 гг., приводит к завышению величины стока на 100...150%. Например, при ожидаемой величине к 2020 по сценарию климата B1 X = 243 мм и E = 152, - величина Y=97 мм, что соответствует для Жайык-Каспийского бассейна Q = 822 м³/с. (W=27838 млн. м³), не оправдано (Гальперин, 2012). Поэтому поставленная задача решалась в рамках исследований (Шиварева, 2012) путем определения годового стока р. Жайык (Урал) на перспективу до 2035 г. Для этого были использованы сценарные прогнозы количества осадков, полученные по ансамблю из 9 моделей глобального климата с использованием

программного комплекса MAGICC/SCENGEN (Model for the Assessment of Greenhouse-gas Induced Climate Change / SCENarioGENerator, version 5.3.v2). Будущие изменения количества осадков были рассчитаны для временного периода 2006...2035 гг. относительно базового периода 1980...1999 гг. в соответствии с двумя сценариями выбросов парниковых газов SRES (“Special report on emission scenarios” – Специальный доклад МГЭИК о сценариях выбросов): A2 и B1.

В данной работе использовалась практическая применимость динамико-статистического метода для прогнозов широкого круга процессов: океанологических, метеорологических и гидрологических. Последнее свидетельствует о универсальности данного метода, о его эффективности изложена в ряде работ (Алехин, 1961; Алехин, 1963; Алехин и др., 1968; Гвоздева, 1972) (в наиболее систематизированном виде в (Алехин и др., 1968; Гвоздева, 1972)). Динамико-статистический метод отличается от подавляющего большинства традиционных методов прогнозирования, особенно в гидрологии, за исключением способов экстраполяции, тем, что он не учитывает внешние факторы прогнозируемых элементов. Суть метода заключается в том, что он выражает зависимость элементов, образующих последовательность членов прогнозируемого временного ряда. Следовательно, прогноз каждого последующего члена ряда осуществляется только на основе предшествующих членов, исходя из предположения о существовании внутренней закономерности или обратной связи в самих макропроцессах, предполагая связь их предыдущих и будущих значений. Конкретным проявлением этой закономерности является, на наш взгляд, цикличность всех естественных процессов.

Выбор данной методики также обусловлен предыдущей работой (Madibekov A.S. и др., 2018), где в результате сравнительного анализа расхождение между прогнозируемым и фактическим уровнем озера Маркаколь составило не более 10%.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Сток рек Жайык-Каспийского района

широко используются в различных отраслях хозяйства. Для этой цели на многих реках построены крупные водохранилища и множество мелких прудов, что приводит к изменению характеристик гидрологического режима водных объектов.

В зоне деятельности Жайык-Каспийского района действует 34 водохранилища с общей полезной проектной емкостью 1020,15 млн. м³: в Западно-Казахстанской области - 25 водохранилищ с общей полезной проектной ёмкостью 506,45 млн. м³, в Актюбинской области – 9 водохранилищ с общей полезной проектной ёмкостью 513,7 млн. м³. На р. Жайык на территории РФ действует крупное Ириклинское водохранилище с полезной емкостью 2160 млн. м³. В Западно-Казахстанской области все крупные водохранилища в основном расположены на канале Кушум или на протоках р. Жайык, поэтому эти водохранилища на годовой сток р. Жайык прямого влияния не оказывают. Изменение годового стока в створе р. Жайык – с. Кушум происходит за счет забора в канал Кушум у с. Кушум, а также других водозаборных сооружений, расположенных по длине реки, и влияния Ириклинского водохранилища (Гальперин, 2012).

Прогнозы годового стока р. Жайык, основаны на данных по стоку Глобального центра GRDC (Глобальный центр данных по стоку) и частично дополнены мониторинговыми материалами РГП «Казгидромет», которые находятся в общем доступе (Водный кадастр, 2000-2016; Метеорологическая и гидрологическая базы данных). Для прогноза стока р. Жайык использовались фактические значения расхода воды, т. к. прогнозный ряд на перспективу осуществляется только по предшествующим членам, исходя из предпосылки о существовании внутрирядной закономерности или обратной связи в самих макропроцессах (подразумевая связь их предшествующих и будущих значений).

Оценки и прогнозы различных гидрологических характеристик проводятся в результате разработки математических моделей, количественно и качественно описывающих их колебания в прошлом, а также их современные изменения (Георгиевский, 2007; Корень, 1991). Их

часто получают с учетом различных приемов математической статистики и стохастического моделирования (Гельфан, 2007; Румянцев и др., 2008). При составлении моделей гидрологических характеристик учитывается корреляция между их значениями за год и за отдельные месяцы (Васильев и др., 2020).

В настоящем исследовании ряды многолетних колебаний стока р. Урал у поселка Махамбет соответственно за каждый отдельный месяц и его среднегодовых значений за 1943...2010 гг. моделировались автокорреляционным методом Ю.М. Алехина (Алехин, 1963), и прогнозировались на следующие пять лет. Полученные автокорреляционные ряды объединялись в общую регрессионную модель колебаний годовых значений стока. На основе этой регрессионной модели на интервале 2011...2015 гг. также рассчитаны поверочные прогнозы погодичных значений стока за годы. Оценка результатов всех прогнозов выполнена на независимом материале.

Метод Ю.М. Алехина основан на методе множественной регрессии, когда анализируемый ряд коррелируется с последовательно сдвигаемыми его же значениями. В настоящем исследовании при разработке автокорреляционных моделей каждый исходный ряд коррелировался с тремя рядами его же значений, последовательно сдвинутых на год. Составляется корреляционная матрица, из которой выделяются ее миноры.

По отношению определителей соответственно корреляционной матрицы и ее первого минора оценивается полный коэффициент корреляции регрессионной модели и ряда исходных данных (Бабкин, 1970; Романовский, 1938). Коэффициенты и свободный член уравнения регрессионной модели рассчитываются с учетом отношений определителей последующих миноров корреляционной матрицы к определителю ее первого минора.

Для всех рядов стока при прогнозировании на каждый год поверочного интервала строилась своя автокорреляционная модель. Рассчитанный по ней сток подставлялся в исходный ряд, удлиняя его на одно значение, после чего ряд анализировался, моделировался и прогнозировался тем же самым способом.

При этом, коэффициенты уравнения регрессии, его свободный член, а также значения автокорреляционной модели, менялись сравнительно мало.

Из-за сдвигания исходного ряда полученный автокорреляционный ряд оказывается короче его на три первых значения. Сопоставление исходного ряда и его автокорреляционной модели проводится без их учета.

Правильность составления всех автокорреляционных моделей и общей регрессионной модели во всех случаях подтверждалась равенством их полных коэффициентов корреляции, оцененных с учетом отношения определителей соответствующих матриц, соответственно со значениями их корреляции с исходными рядами, рассчитанными по стандартной формуле. При этом средние значения полученных и исходных рядов были равны.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Результаты прогнозов на временном интервале оцениваются по числу верных прогнозов на нем за отдельные годы и по сумме относительных ошибок прогнозирования. Прогноз стока следует считать оправдавшимся, если его ошибка меньше 0,674 от среднего квадратического отклонения его ряда (Апол-

лов, 1974). На многолетнем интервале в целом результаты предсказания оцениваются по количеству верных на нем погодичных прогнозов N , и по относительной ошибке прогнозирования dr . Величина dr представляет собой отношение средней квадратической ошибки прогнозов на нем к среднему квадратическому отклонению анализируемого ряда (Бабкин и др., 2020; Madibekov A S. et al, 2018). Относительная ошибка прогнозирования представляет собой отношение его средней квадратической ошибки к среднему квадратическому отклонению анализируемого ряда. Успешный прогноз стока также должен быть не хуже его предсказания по среднему значению его ряда.

Среднее годовое за 1943...2010 гг. значение стока р. Урал у поселка Махамбет Q_{cp} равно 8,42 км³/год, а его среднее квадратическое отклонение σ – 3,98 км³/год. Допустимая ошибка прогноза оказалась равной 2,68 км³/год.

Средние значения годовых рядов стока за каждый месяц и их средние квадратические отклонения приведены в таблице 1 в столбцах соответственно 2 и 3. В первом ее столбце цифрами указаны соответствующие месяцы. Самый большой средний сток – 32,33 км³/год отмечается в мае, а самый маленький – 2,49 км³/год – в феврале.

Таблица 1

Результаты анализа и прогнозирования стока р. Урал – пос. Махамбет на отдельные месяцы 2011...2015 гг.

№	Q_{cp} , км ³ /год	σ , км ³ /год	N_{cp}	dr_{cp}	$N_{лет}$	$dr_{лет}$
1	2	3	4	5	6	7
1	2,54	1,23	3	0,884	3	0,827
2	2,49	1,26	3	0,816	4	0,763
3	3,02	1,60	3	0,722	3	0,612
4	13,84	8,72	3	0,670	4	0,676
5	32,33	20,96	4	0,500	4	0,556
6	20,04	13,76	2	0,661	1	0,692
7	8,02	4,01	3	0,591	4	0,486
8	5,01	2,31	3	0,502	5	0,345
9	3,90	1,69	3	0,576	4	0,596
10	3,67	1,49	4	1,266	4	1,474
11	3,58	1,66	3	1,192	4	1,138
12	2,62	1,38	3	1,181	4	1,298
Итого			37	9,561	44	9,463

С марта по май средний месячный сток монотонно увеличивается, а с июля по февраль – уменьшается. При этом, самое большое его среднее квадратическое отклонение, равное $20,96 \text{ км}^3/\text{год}$, также получено для мая. Самое маленькое его значение – $1,23 \text{ км}^3/\text{год}$, отмечается в январе.

На рисунках 1 и 2 представлены мно-

голетние колебания стока р. Урал соответственно за январь, апрель, июль и октябрь, и за годы. Вместе с рядами стока на рисунке 1 и 2а нанесены соответствующие автокорреляционные модели, на рисунке 2б – общая регрессионная модель. В левом нижнем углу рисунков указана корреляция моделей и соответствующих исходных рядов r .

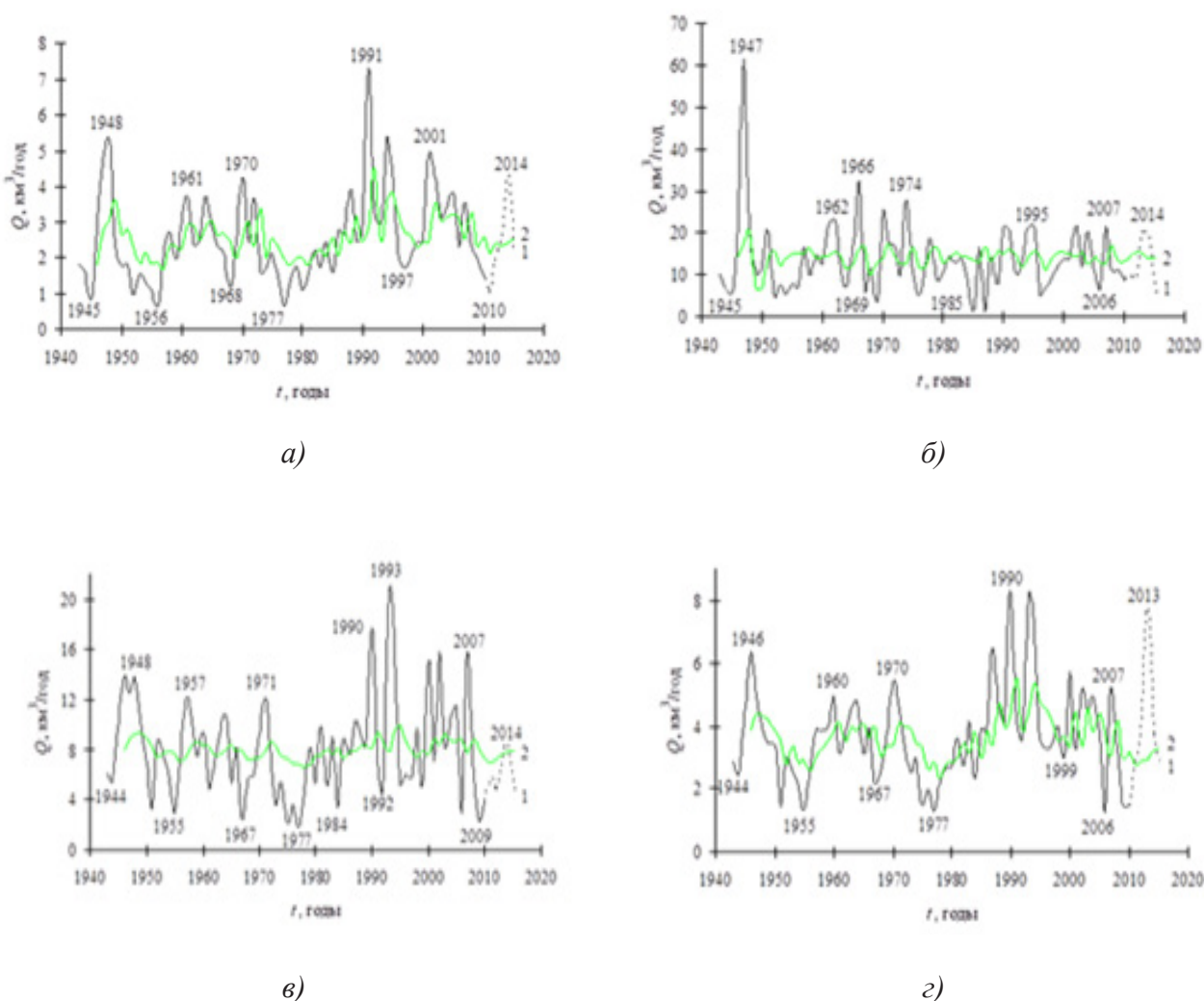


Рис.1. Многолетние колебания стока р. Урал – пос. Махамбет за январь (а), апрель (б), июль (в) и октябрь (г), и их автокорреляционные модели: 1 – данные наблюдений (пунктиром выделен интервал поверочного прогноза 2011...2015 гг.), 2 – их модели, составленные с учетом соответственно исходного ряда и трех рядов его значений, последовательно сдвинутых на год

Самая высокая корреляция автокорреляционной модели и ряда стока за представленные на рис. 1 месяцы – 0,46 отмечается за январь. У октябрьского ряда его корреляция с моделью составила 0,45. За апрель и июль ее значения соответственно равны 0,25 и 0,18. Корреляция автокорреляционной модели и

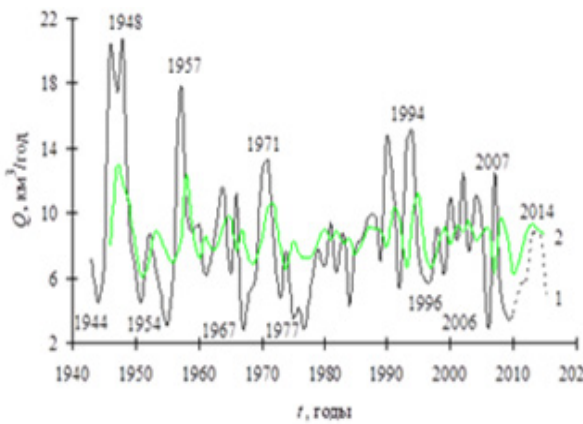
ряда годового стока составила 0,35, а этого ряда и общей регрессионной модели – 0,65.

Общая регрессионная модель лучше описывает исходный ряд, чем соответственно автокорреляционные модели месячного и годового стока их ряды. У общей регрессионной модели максимумы и

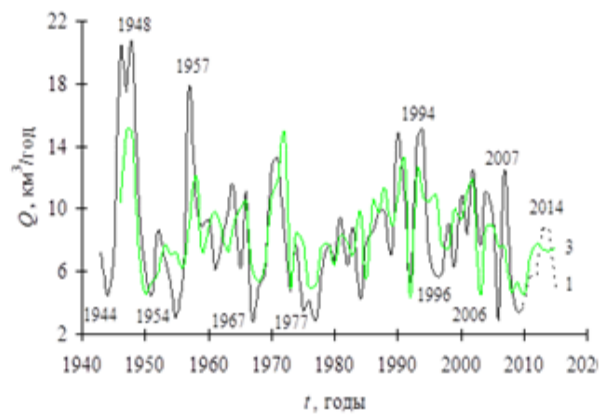
минимумы чаще приходятся на те же годы, что и соответствующие экстремумы исходного ряда, чем у автокорреляционных моделей.

Результаты прогнозов рядов годовых значений стока р. Урал каждого месяца представлены в таблице 1. В столбцах соответственно 4 и 6 приводится количество верных на поверочном интервале прогнозов, в столбцах 5 и 7 – относительная ошибка про-

гнозирования. Символами N_{cp} и dr_{cp} обозначены соответственно число оправдавшихся предсказаний и относительная ошибка прогнозирования по среднему значению ряда, символами $N_{авт}$ и $dr_{авт}$ – по соответствующим автокорреляционным моделям. В последней строке таблицы для всех месяцев года найдены суммы соответственно количеств верных прогнозов и относительных ошибок.



а) $r = 0,352$



б) $r = 0,652$

Рис.2. Многолетние колебания стока р. Урал – пос. Махамбет и их модели: 1 – данные наблюдений (пунктиром выделен интервал поверочного прогноза 2011...2015 гг.), 2 – кривая, построенная по автокорреляционной модели с учетом ряда 1 и трех рядов его значений, последовательно сдвинутых на год, 3 – кривая, построенная по модели множественной регрессии с учетом двенадцати автокорреляционных рядов многолетних колебаний стока каждого месяца, рассчитанных по соответствующим исходным рядам и трем рядам их значений, последовательно сдвинутых на год, и ряда кривой 2

Прогнозы годовых значений стока месяцев по автокорреляционным моделям оказались несколько лучше, чем по средним значениям рядов. По всем месяцам по автокорреляционным моделям оправдалось 44 прогноза, тогда как по среднему значению – 37. Суммы относительных ошибок по среднему значению рядов и по автокорреляционным моделям составили соответственно 9,561 и 9,463.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Прогнозы по автокорреляционным моделям получились лучше, чем по среднему значению за январь, февраль, март, июль и август. За май, июнь и октябрь прогнозы по среднему значению рядов оказались лучше, чем по автокорреляционным моделям. На остальные месяцы – апрель, сентябрь, ноябрь и декабрь – результаты прогнозов по среднему значению ряда и по автокорреляционным моделям можно оценить, как примерно одного качества. Здесь ко-

личество оправдавшихся прогнозов больше по автокорреляционным моделям, но и сумма квадратов ошибок прогнозирования также выше.

В таблице 2 представлены результаты прогнозов годовых значений стока р. Урал. В столбце 1 указаны соответственно число верных предсказаний и относительная ошибка прогнозирования по среднему значению ряда, в столбце 2 – по автокорреляционной модели, в столбце 3 – по общей регрессионной модели.

Результаты прогнозов годового стока по автокорреляционной модели получились лучше, чем по среднему значению ряда. По этим методикам оправдалось по 3 прогноза, но относительная ошибка по автокорреляционной модели оказалась несколько меньше. Самыми лучшими получились прогнозы по общей регрессионной модели. По ней все 5 прогнозов оказались верными, а относительная ошибка получилась меньше, чем по автокорреляционной модели.

Таблица 2

Результаты прогнозов стока р. Урал – пос. Махамбет на годы 2011...2015 гг.

	1	2	3
<i>N</i>	3	3	5
<i>dr</i>	0,593	0,590	0,449

Таким образом, использование в методике прогнозирования годового стока автокорреляционных моделей его колебаний отдельных месяцев позволило улучшить результаты предсказаний.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Алехин Ю. М. Динамико-статистический метод прогноза геофизических макропроцессов. Труды ЛГМ И, 1961, вып. 11, с. 97—123.
2. Алехин Ю.М. Статистические прогнозы в геофизике. – Л.: ЛГУ, 1963. 86 с.
3. Алехин Ю. М., Кондратович К. В., Гвоздева В. Г. Динамико-статистический метод прогнозирования гидрометеорологических процессов и его практическое применение. Материалы рыбохозяйственных исследований Северного бассейна, Мурманск, 1968, вып. XII, с. 123—138.
4. Аполлов Б. А., Калинин Г. П., Комаров В. Д. Курс гидрологических прогнозов. – Л.: Гидрометеоздат, 1974. 419 с.
5. Бабкин А.В., Бабкин В.И., Мадибеков А.С., Мусакулкызы А., Чередниченко А.В. Закономерности месячных колебаний стока реки Или и его прогнозирование // Известия РАН. Серия географическая. 2020. Т. 84. №3. С. 384–394.
6. Бабкин В.И. Метод множественной линейной корреляции и его применение в гидрологических исследованиях // Сб. работ по гидрологии, Л.: Гидрометеоздат. – 1970. – №9. С. 29–39.
7. Васильев Д.Ю., Водопьянов В.В., Закирзянов Ш.И., Кенжебаева А.Ж., Семенов В.А., Сивохиц Ж.Т. Корреляционные связи многолетних колебаний месячного и годового стока в бассейне реки Урал // Изв. РАН. Сер. геогр. 2020. №3. С. 414–426.
8. Водные ресурсы Казахстана: оценка, прогноз, управление. Ресурсы речного стока Казахстана. Возобновляемые ресурсы поверхностных вод Западного, Северного, Центрального и Восточного Казахстана / под науч. ред. Р.И. Гальперина. – Алматы, 2012. – Т. VII. – Кн. 1. – 684 с.
9. Водные ресурсы Казахстана: оценка, прогноз, управление. Т. IX: Внутренние и окраинные водоемы Казахстана (Арал, Балкаш, Каспий): кн. 1: Оценка современной и прогнозной динамики гидрологического режима озера Балкаш, Каспийского и Аральского морей / Шиварева С.П., Ли В.И., Ивкина Н.И. – Алматы. – 2012 г. – 456 с.
10. Гвоздева В. Г. Комплексная программа прогнозирования на ЭВМ динамико-статистическим методом Ю. М. Алехина. Труды ЛГМИ, 1972, вып. 47, с. 115—123.

11. Гельфан А.Н. Динамико-стохастическое моделирование формирования талого стока. М.: Наука, 2007. 280 с.
12. Георгиевский Ю.М., Шаночкин С.В. Гидрологические прогнозы. – СПб.: РГТМУ, 2007, 435 с.
13. Глобальный центр данных по стоку (GRDC) URL: <https://wbwaterdata.org/dataset/global-runoff-data-centre-grdc> (дата обращения 08.12.2023).
14. Государственный водный кадастр. Ежегодные данные о режиме и ресурсах поверхностных вод суши. Алматы, 2000–2016. Ч. 1. Вып. 4.
15. Корень В.И. Математические модели в прогнозах речного стока. – Л.: Гидрометеоздат, 1991. 198 с.
16. Метеорологическая и гидрологическая базы данных. – URL: https://www.kazhydromet.kz/meteo_db (дата обращения 05.11.2023).
17. Предварительные результаты исследований по р.Жайык (Урал). – URL: https://unece.org/fileadmin/DAM/env/water/meetings/Water_Convention/2016/Projects_in_Central_Asia/Transboundary_Rivers_Study_in_Kazakhstan_Ural_River_Feb_2017.pdf (дата обращения 08.12.2023).
18. Романовский В. Математическая статистика. Москва–Ленинград: Объединенное научно-техническое издательство НКТП СССР, 1938. 528 с.
19. Румянцев В.А., Трапезников Ю.А. Стохастические модели гидрологических процессов. СПб.: Наука, 2008. 152 с.
20. Madibekov A S, Babkin A V, Musakulkyzy A, Cherednichenko A V. Latent fluctuation periods and long-term forecasting of the level of Markakol lake // IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science. 2018. 107(012035). <https://doi.org/10.1088/1755-1315/107/1/012035>

REFERENCES

1. Alekhin Yu. M. Dinamiko-statisticheskii metod prognoza geofizicheskikh makroprotsessov. Trudy LGM I, 1961, vyp. 11, p. 97—123.
2. Alekhin Yu.M. Statisticheskie prognozy v geofizike. – L.: LGU, 1963. 86 p.
3. Alekhin Yu. M., Kondratovich K. V., Gvozdeva V. G. Dinamiko-statisticheskii metod prognozirovaniya gidrometeorologicheskikh protsessov i ego prakticheskoe primeneniye. Materialy rybokhozyaistvennykh issledovaniy Severnogo basseina, Murmansk, 1968, vyp. XII, p. 123—138.
4. Apollov B. A., Kalinin G. P., Komarov V. D. Kurs gidrologicheskikh prognozov. – L.: Gidrometeoizdat, 1974. 419 p.
5. Babkin A.V., Babkin V.I., Madibekov A.S., Musakulkyzy A., Cherednichenko A.V. Zakonomernosti mesyachnykh kolebaniy stoka reki Ili i ego prognozirovaniye // Izvestiya RAN. Seriya geograficheskaya. 2020. T. 84. №3. p. 384–394.
6. Babkin V.I. Metod mnozhestvennoilinoi korrelyatsii ego

6. Babkin V.I. Metod mnozhestvennoilineinoikorrelyatsiiego primeneniye v gidrologicheskikh issledovaniyakh // Sb. rabot po gidrologii, L.: Gidrometeoizdat. – 1970. – №9. p. 29–39.
7. Vasil'ev D.Yu., Vodop'yanov V.V., Zakirzyanov Sh.I., Kenzhebaeva A.Zh., Semenov V.A., Sivokhip Zh.T. Korrelyatsionnye svyazi mnogoletnikh kolebaniy mesyachnogo i godovogo stoka v basseine reki Ural // Izv. RAN. Ser. geogr. 2020. №3. p. 414–426.
8. Vodnye resursy Kazakhstana: otsenka, prognoz, upravlenie. Resursy rechnogo stoka Kazakhstana. Vozobnovlyaemye resursy poverkhnostnykh vod Zapadnogo, Severnogo, Tsentral'nogo i Vostochnogo Kazakhstana / pod nauch. red. R.I. Gal'perina. – Almaty, 2012. – T. VII. – Kn. 1. – 684 p.
9. Vodnye resursy Kazakhstana: otsenka, prognoz, upravlenie. T. IX: Vnutrennie i okrainnyye vodoemy Kazakhstana (Aral, Balkash, Kaspий): kn. 1: Otsenka sovremennoi i prognoznoi dinamiki gidrologicheskogo rezhima ozera Balkash, Kaspiiskogo i Aral'skogo morei / Shivareva S.P., Li V.I., Ivkina N.I. – Almaty. – 2012 g. – 456 p.
10. Gvozdeva V. G. Kompleksnaya programma prognozirovaniya na EVM dinamiko-statisticheskim metodom Yu. M. Alekhina. Trudy LGM I, 1972, vyp. 47, p. 115— 123.
11. Gel'fan A.N. Dinamiko-stokhasticheskoe modelirovaniye formirovaniya talogo stoka. M.: Nauka, 2007. 280 p.
12. Georgievskii Yu.M., Shanochkin S.V. Gidrologicheskie prognozy. – Spb.: RGGMU, 2007, 435 p.
13. Global'nyi tsentr dannykh po stoku (GRDC) URL: <https://wbwaterdata.org/dataset/global-runoff-data-centre-grdc> (data obrashcheniya 08.12.2023).
14. Gosudarstvennyi vodnyi kadastr. Ezhegodnye dannye o rezhime i resursakh poverkhnostnykh vod sushi. Almaty, 2000–2016. Ch. 1. Vyp. 4.
15. Koren' V.I. Matematicheskie modeli v prognozhakh rechnogo stoka. – L.: Gidrometeoizdat, 1991. 198 p.
16. Meteorologicheskaya i gidrologicheskaya bazy dannykh. – URL: https://www.kazhydromet.kz/meteo_db (data obrashcheniya 05.11.2023).
17. Predvaritel'nye rezul'taty issledovaniy po r.Zhaiyk (Ural). – URL: https://unece.org/fileadmin/DAM/env/water/meetings/Water_Convention/2016/Projects_in_Central_Asia/Transboundary_Rivers_Study_in_Kazakhstan_Ural_River_Feb_2017.pdf (data obrashcheniya 08.12.2023).
18. Romanovskii V. Matematicheskaya statistika. Moskva–Leningrad: Ob»edinennoe nauchno-tekhnicheskoe izdatel'stvo NKTP SSSR, 1938. 528 s.
19. Rumyantsev V.A., Trapeznikov Yu.A. Stokhasticheskie modeligidrologicheskikh protsessov. SPb.: Nauka, 2008. 152s.
20. Madibekov A S, Babkin A V, Musakulkyzy A, Cherednichenko A V. Latent fluctuation periods and long-term forecasting of the level of Markakol lake // IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science. 2018. 107(012035). <https://doi.org/10.1088/1755-1315/107/1/012035>

ЖАЙЫҚ (УРАЛ) ӨЗЕНІНІҢ ЖЫЛДЫҚ АҒЫНЫНЫҢ ЖЕКЕ АЙЛАРДАҒЫ ҰЗАҚ МЕРЗІМДІК ӨЗГЕРУІНІҢ АВТОКОРРЕЛЯЦИЯЛЫҚ ӘДІСІ ЕСКЕРІЛГЕН БОЛЖАМДАРЫ

А.В. Бабкин¹ *д.ғ.д.*, В.И. Бабкин¹ *д.ғ.д.*, А.С. Мадибеков² *PhD*, А. Мұсақұлқызы^{2*} *т.ғ.к.*,
А.В. Чередниченко³ *д.ғ.д.*

¹Мемлекеттік гидрологиялық институты, Санкт-Петербург, Ресей

²География және су қауіпсіздігі институты, Алматы, Қазақстан

³аль-Фараби атындағы ҚазҰУ Биология және биотехнология проблемалары ҒЗИ, Алматы, Қазақстан

E-mail: mus_ain@mail.ru

Зерттеу көпжылдық тербелістерді талдау негізінде Жайық өзенінің ағынын ұзақ мерзімді болжау үшін автокорреляциялық және жалпы регрессиялық модельдерді әзірлеуге және қолдануға арналған. Ресей Федерациясы мен Қазақстан Республикасындағы маңызды су ресурсы болып табылатын Жайық өзені әр түрлі шаруашылық қызметке әсер ететін жылдық ағынының айтарлықтай өзгергіштігін көрсетеді. Зерттеулерде Ю. М. Алехиннің автокорреляция әдісін қолдана отырып, 1943...2010 жылдар аралығындағы өзен ағынының жылдық және айлық қатарлары бағаланды. Олардың негізінде 2011 жылдан 2015 жылға дейінгі кезеңге болжамдар жасалды. Нәтижелерге сүйенсек, автокорреляциялық модельдер қатардың орташа көрсеткіштеріне негізделген болжамдарға қарағанда дәлірек болжамды береді. Айлық және жылдық мәліметтерді біріктіретін жалпы регрессия моделі гидрологиялық сипаттамаларды болжауда аралас тәсілдің тиімділігін растайтын ең жақсы нәтиже көрсетті. Жұмыстың ғылыми маңыздылығы Жайық өзені ағыны болжамдарының дәлдігі мен сенімділігін арттыру болып табылады, бұл өңірдегі су ресурстарын тиімдірек басқаруға ықпал етеді.

Түйін сөздер: ағын қатарлары, автокорреляция, көптік регрессия, болжам

FORECASTS OF ANNUAL RUNOFF OF THE ZHAIYK RIVER (URAL) TAKING INTO ACCOUNT AUTOCORRELATION MODELS OF ITS MULTI-YEAR FLUCTUATIONS FOR INDIVIDUAL MONTHS

Babkin A.¹ *doctor of geographical sciences*, **Babkin V.**¹ *doctor of geographical sciences*, **Madibekov A.**² *PhD*, **Mussakulkyzy A.**^{2*} *candidate in technical sciences*, **Cherednichenko A.**³ *doctor of geographical sciences*

¹ *State Hydrological Institute, St. Petersburg, Russia*

² *Institute of Geography and water security, Almaty, Kazakhstan*

³ *SRI problems of biology and biotechnology of the al-Farabi KazNU, Almaty, Kazakhstan*

E-mail: mus_ain@mail.ru

The study is devoted to the development and application of autocorrelation and general regression models for long-term forecasting of the Ural (Zhaiyk) River flow based on the analysis of multi-year fluctuations. The Ural River is an important water resource of the Russian Federation and the Republic of Kazakhstan, demonstrating significant variability in annual runoff, which affects various sectors of economic activity. In the course of the study, annual and monthly series of the river flow for the period from 1943 to 2010 were estimated using the autocorrelation method of Y.M. Alekhin. Based on these data, forecasts were made for the period from 2011 to 2015. The results show that autocorrelation models provide more accurate forecasts compared to models based on average values of series. The general regression model integrating monthly and annual data showed the best results, confirming the effectiveness of the combined approach in predicting hydrological characteristics. The scientific significance of the work is to improve the accuracy and reliability of the Ural River flow forecasts, which contributes to more effective water resources management in this region.

Keywords: runoff time series, autocorrelation, multiple regression, forecast

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

Бабкин Алексей Владимирович – д.г.н., Ведущий научный сотрудник лабораторий ФГБУ «ГТИ», Государственный гидрологический институт, Россия, Санкт-Петербург, 2-ая линия В.О., д. 23; abav@mail.ru

Бабкин Владимир Иванович – д.г.н., Заведующий лабораторией ФГБУ «ГТИ», Государственный гидрологический институт, Россия, Санкт-Петербург, 2-ая линия В.О., д. 23; abav@mail.ru

Мадибеков Азамат Сансызбаевич – PhD, Заведующий лабораторией гидрохимии и экологической токсикологии, Институт географии и водной безопасности, Казахстан, Алматы, ул. Пушкина 99; madibekov@mail.ru

Мусакулқызы Айнур – к.т.н., старший научный сотрудник лабораторий гидрохимии и экологической токсикологии, Институт географии и водной безопасности, Казахстан, Алматы, ул. Пушкина 99; mus_ain@mail.ru

Чередниченко Александр Владимирович – д.г.н., НИИ проблем биологии и биотехнологий КазНУ им. аль-Фараби, Казахстан, Алматы, пр. аль-Фараби, 71; geliograf@mail.ru

Бабкин Алексей Владимирович – геог. ғылым. докторы, ФГБУ «МГИ» зертханасының жетекші ғылыми қызметкері, Мемлекеттік гидрология институты, Ресей, Санкт-Петербург, В.О. 2-ші сызығы, 23 үй; abav@mail.ru

Бабкин Владимир Иванович – геог. ғылым. докторы, ФГБУ «МГИ» зертханасының меңгерушісі, Мемлекеттік гидрология институты, Ресей, Санкт-Петербург, В.О. 2-ші сызығы, 23 үй; abav@mail.ru

Мадибеков Азамат Сансызбаевич – PhD, Гидрохимия және экологиялық токсикология зертханасы меңгерушісі, География және су қауіпсіздігі институты, Қазақстан, Алматы, Пушкин к-ші 99 үй; madibekov@mail.ru

Мұсақұлқызы Айнур – техн. ғылым. кандидаты, Гидрохимия және экологиялық токсикология зертханасы аға ғылыми қызметкері, География және су қауіпсіздігі институты, Қазақстан, Алматы, Пушкин к-ші 99 үй; mus_ain@mail.ru

Чередниченко Александр Владимирович – геог. ғылым. докторы, аль-Фараби атындағы ҚазНУ биология және биотехнология проблемалары ФЗИ, Қазақстан, Алматы, аль-Фараби д-ы., 71 үй; geliograf@mail.ru

Babkin Alexey – Doctor of Geographical Sciences, Leading researcher at the laboratories of the Federal State Budgetary Institution “SHI”, State Hydrological Institute, Russia, St. Petersburg, 2nd line V.O., no. 23; abav@mail.ru

Babkin Vladimir – Doctor of Geographical Sciences, Head of the laboratory of the Federal State Budgetary

Institution “GGI”, State Hydrological Institute, Russia, St. Petersburg, 2nd line V.O., no. 23; abav@mail.ru
Madibekov Azamat – PhD, Head of the Laboratory of Hydrochemistry and Environmental Toxicology, Institute of Geography and Water Security, Kazakhstan, Almaty, st. Pushkina 99; madibekov@mail.ru
Mussakulkyzy Ainur – candidate in technical sciences, senior researcher at the laboratories of hydrochemistry and environmental toxicology, Institute of Geography and Water Security, Kazakhstan, Almaty, st. Pushkina 99; mus_ain@mail.ru
Cherednichenko Alexander – Doctor of Geographical Sciences, Research Institute of Problems of Biology and Biotechnology of Al-Farabi Kazakh National University, Kazakhstan, Almaty, Al-Farabi Ave., 71; geliograf@mail.ru

Вклад авторов/ Авторлардың қосқан үлесі/ Authors contribution:

Бабкин Алексей Владимирович – разработка методологии
Бабкин Владимир Иванович – разработка концепции
Мадибеков Азамат Сансызбаевич – ресурсы, подготовка и редактирование текста, визуализация
Мусакулқызы Айнур – проведение статистического анализа, проведения исследования
Чередниченко Александр Владимирович – создание программного обеспечения

Бабкин Алексей Владимирович – әдістемені әзірлеу
Бабкин Владимир Иванович – тұжырымдаманы әзірлеу
Мадибеков Азамат Сансызбаевич – ресурстар, мәтінді дайындау және өңдеу, көрнекілік
Мұсақұлқызы Айнур – статистикалық талдау жүргізу, зерттеу жүргізу
Чередниченко Александр Владимирович – бағдарламалық жасақтама жасау

Babkin Alexey – methodology development
Babkin Vladimir – concept development
Madibekov Azamat – resources, preparing and editing the text, visualization
Mussakulkyzy Ainur – conducting statistical analysis, conducting a research
Cherednichenko Alexander – creating software

КӨПЖЫЛДЫҚ ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЯЛЫҚ МӘЛІМЕТТЕРІ НЕГІЗІНДЕ ЖАЙЫҚ-КАСПИЙ СУШАРУАШЫЛЫҚ АЛАБЫНДАҒЫ ГИДРОЛОГИЯЛЫҚ ҚҰРҒАҚШЫЛЫҚТЫ БАҒАЛАУ

С.К. Алимкулов¹ *д.э.к.*, Л.К. Махмудова¹ *д.э.к.*, А.А. Турсунова¹ *д.э.к.*, Э.К. Талипова¹ *PhD*,
Л.М. Биримбаева^{1,2,*}

¹«География және су қауіпсіздігі» Акционерлік қоғамы, Алматы, Қазақстан

²әл-Фараби атындағы Қазақ Ұлттық университеті, Алматы, Қазақстан

E-mail: birimbayeva_l@mail.ru

Мақалада Жайық-Каспий сушаруашылық алабы аумағындағы гидрологиялық құрғақшылықтың басталуы мен аяқталуын анықтау мәселесі қарастырылады. Құрғақшылық көрсеткіші ретінде Дүниежүзілік метеорологиялық ұйым ұсынған жауын-шашынның стандартталған индексі (SPI) таңдалды. SPI Generator бағдарламасын қолдану негізінде аспаптық бақылаулар басталғаннан бастап 2020 жылға дейін, өте қатты және экстремалды құрғақшылықтың сипаттамалары анықталды. Зерттеу нәтижесі бойынша қарастырылып отырған аумақта құрғақшылық кезеңдерін бағалауда SPI индексі қолдану тиімді екені анықталды, және гидрологиялық құрғақшылықтың түрлерін ажыратуға және олардың басталу, аяқталу уақыттарын анықтауға мүмкіндік берді. Зерттеу нәтижелері су ресурстарына тәуелді ауыл шаруашылығы мен басқа салалар үшін практикалық маңыздылыққа ие, құрғақшылықтың түрлері мен мерзімдері туралы ақпаратты қарастырылып отырған аймақтың су ресурстарын басқарудың тиімді стратегияларын әзірлеу және гидрологиялық құрғақшылықтың жағымсыз әсерін азайту мақсатында пайдалануға болады.

Түйін сөздер: метеорологиялық, ауылшаруашылық және гидрологиялық құрғақшылықтар, жауын-шашын тапшылығы, сушаруашылық алап, стандартталған жауын-шашын индексі

Қабылданды: 18.01.24

DOI: 10.54668/2789-6323-2024-112-1-26-38

КІРІСПЕ

Гидрологиялық құрғақшылық әртүрлі гидрометеорологиялық үдерістерден (жауын-шашынның болмауы, қар жамылғысының азаюы, буланудың жоғары болуы) туындайды, бұл факторлардың маңыздылығы гидроклимат пен құрғақшылық категориясына байланысты өзгереді. Құрғақшылыққа әкелетін түрлі процестердің салыстырмалы ылғалдылығы уақыт өте келе және климаттың өзгеруіне байланысты өзгереді деген пікір қалыптасқан. Бұл өзгерістер құрғақшылықтың қарқындылығына, ұзақтығына және тапшылығына әсер етуі мүмкін, себебі құрғақшылықтың түрлі процестері әртүрлі аспектілермен байланысты. Мысалы, жауын-шашын тапшылығынан туындаған және құрғақ маусым бойы созылатын құрғақшылық тек жауын-шашын тапшылығынан туындаған

құрғақшылықтан айырмашылығы – ол ұзақ құрғақшылық кезеңімен ерекшеленеді. Бұл тұжырым климаттың жылынуына байланысты құрғақ жағдайларға көшу құрғақшылықты күшейтуі мүмкін деген маңызды мәселені көтереді. Демек, гидрологиялық құрғақшылықтың қалыптасуы барысындағы өзгерістерді түсіну олардың болашақта болуы мүмкін өзгерістерін болжаудың кілті болып табылады (Brunner және т.б., 2022). Түрлі ғылыми зерттеулерде метеорологиялық, ауылшаруашылық және гидрологиялық құрғақшылықтардың жиілігі мен ұзақтығының өткен және келешек өзгерістері қарастырылған (Markonis және т.б., 2021; Stahl және т.б., 2010). Гидрологиялық құрғақшылықтардың пайда болу жағдайы туралы әртүрлі көзқарас қалыптасқан.

Мысалы, (Van Lanen, 2013; Van Loon A.F. and Laaha G., 2015) зерттеушілері гидрологиялық құрғақшылықтың пайда болу процестеріне негізделген сапалы классификациясын ұсынған. Жіктеу әрқайсысы белгілі бір процесспен немесе процестердің үйлесімімен сипатталатын құрғақшылықтың сегіз түрін қамтиды:

- жауын-шашын тапшылығының құрғақшылығы (ұзақ уақыт жауын-шашынның болмауынан пайда болады);
- жаз-күз кезеңінде жауын-шашынның жетіспеушілігінен туындап, қардың жиналу кезеңінде дейін созылатын құрғақшылық;
- көктем маусымында жауын-шашын тапшылығынан пайда болып, құрғақ маусымға дейін жалғасатын құрғақшылық;
- қарлы маусымда (қараша-наурыз) әдеттегіден төмен температурадан туындайтын суық-қарлы құрғақшылық, яғни бұл кезде жиналған қар ағынды суларына үлесін қоспайды;
- қарлы маусымда әдеттегіден жоғары температурадан туындайтын жылы қар маусымының құрғақшылығы;
- негізгі қорек көзі қар жамылғысы болып табылатын өзен алаптарындағы еріген қар суының жетіспеушілігінен туындайтын құрғақшылық;
- өзен алабында мұздықтардың жетіспеушілігінен немесе мүлдем болмауынан туындайтын құрғақшылық;
- құрғақшылыққа әкелетін кешенді процестерден туындайтын аралас құрғақшылық.

Өз кезегінде, (Brunner және т.б., 2022; Faquseh H. and Grossi G., 2024; Giroto және т.б., 2024) зерттеушілер жауын-шашын тапшылығы, температура және қар суының эквиваленттік ауытқулары (SWE) туралы ақпаратты пайдалана отырып, стандартталған құрғақшылықты жіктеу схемасын енгізді. Стандартталған жіктеу схемасы берілген құрғақшылық құбылысын сегіз түрдің біріне жіктейтін нақты ережелер жиынтығын анықтайды.

Гидрологиялық құрғақшылықтың жауын-шашын тапшылығымен байланысын анықтау, көбінесе алаптың гидрологиялық сипаттамаларына жерді пайдалану, жердің деградациясы және басқа да сипаттағы

факторларының бір мезгілде әсер етуіне байланысты қиындай түседі. Өзеннің жоғарғы ағысындағы жерді пайдалану барысындағы инфильтрация жылдамдығы және жер үсті ағындысы сияқты гидрологиялық сипаттамаларды өзгертуі мүмкін, нәтижесінде өзеннің төменгі ағысындағы гидрологиялық құрғақшылықтың ықтималдығын арттырады. Метеорологиялық құрғақшылықтың пайда болу жиілігіне қарамастан су тапшылығы жағдайларының жиілеуіне әкелетін антропогендік факторлардың бірі – бұл жерді пайдалану кезіндегі өзгерістер болып табылады.

А.М. Владимировтың көзқарасы бойынша (Владимиров, 2012) топырақ құрғақшылығы топырақтық-атмосфералық құрғақшылықтың жалғасы болып табылатын гидрологиялық құрғақшылықты тудыруы мүмкін, нәтижесінде өзендерді қоректендіретін жер асты суларының жоғарғы сулы қабаттарының суы азайып, құрғайды. Топырақтық-атмосфералық құрғақшылық су ағындысының азаюына әкеледі. Бұл кезеңде кішігірім өзендер құрғайды, орташа өзендер тек терең жатқан жер асты суларымен қоректенеді, ал ірі өзендерде су ағындысының азаюы орташа өзендерден келетін судың ағындысына, яғни оған терең сулы горизонттардан келетін су ағындысына, сондай-ақ құрғақшылық орын алған су жинау алабының ауданына, аумақтағы өсімдіктер түрі мен климаттық белдеу ерекшеліктеріне байланысты болады.

Құрғақшылық атмосферадан басталып, кейін топырақ пен гидрологиялық құрғақшылыққа өтетіндіктен, гидрологиялық құрғақшылық осы тізбектің соңғы буыны және су ресурстары азаюының көрсеткіші болып табылады. Кейбір жағдайда, сабалық кезеңде гидрологиялық құрғақшылық тіпті жауын-шашын мен топырақтың жеткілікті ылғалдылығы жағдайында да болуы мүмкін, бірақ бұл кезде өзендерді қоректендіретін сулы горизонттардың сарқылуы орын алады (G. Wong, H.A.J. Van Lanen and P.J.J.F. Torfs, 2013). Гидрологиялық құрғақшылықты қалыптастыратын факторлар (Владимиров, 2008): а) гидрогеологиялық – өзеннің немесе көлдің сумен қоректену түрі, жер асты суларының тереңдігі мен қоректену режимі, жер асты суларының қоректену жағдайлары

мен өзенмен гидравликалық байланыс түрі; ә) морфометриялық – арнаның эрозиялық тілімдену тереңдігі, су жинау алабы; б) метеорологиялық – ауа температурасы, топырақ температурасы, судың булануы, топырақ бетінен булану, өсімдіктерден булану; в) антропогендік – жер суаруға су алу, өнеркәсіп салаларына су алу, коммуналдық-тұрмыстық қажеттіліктерге су алу, ауыл шаруашылығы қажеттіліктеріне су алу.

Алғашқы үш фактор табиғи сипатқа ие, дегенмен қазіргі кезеңде қалыптасқан климаттық өзгерістерге де антропогендік әсер бар. Төртінші фактор толығымен адам іс-әрекетімен байланысты. Бұл фактор ауыл шаруашылығы мен өнеркәсіптің қарқынды дамыған аймақтарында айқын көрінеді. Жазық өзендер алаптары үшін бұл фактор өте маңызды. Жазық өзендердің су жинау алабында жер үсті және жер асты суларын пайдаланатын көптеген нысандардың болуы су ресурстарының қосымша сарқылуына әкеледі. Суды қарқынды пайдалану жер асты суларының ең терең горизонттарының көп ғасырлық қорларының сарқылуына ықпал етуі мүмкін, бұл өз кезегінде қарастырылып отырған аумақта жалпы құрғақшылықтың орын алу қаупін тудырады.

Құрғақшылықтың өзгеруін талдаудың кең таралған тәсілдерінің бірі арнайы индекстерді қолдануға негізделген, олар бір жағынан ауылшаруашылық немесе гидрологиялық құрғақшылықтың пайда болу жағдайларын көрсететін шамалармен байланысты (топырақтың ылғалдылығы, ағынды су) болса, екінші жағынан стандартты гидрометеорологиялық бақылаулардың қолда бар деректері бойынша есептелуі мүмкін.

Жұмыстың мақсаты – Жайық-Каспий сушаруашылық алабы (США) аумағында гидрологиялық құрғақшылықтың басталуын анықтау және болжау үшін стандартталған жауын-шашын индексі (SPI) пайдалану мүмкіндігі мен тиімділігін тексеру.

ЗЕРТТЕУ МАТЕРИАЛДАРЫ МЕН ӘДІСТЕРІ

Зерттеу аймағы

Жайық-Каспий США аумағында өзен желісінің таралу ерекшеліктері оңтүстік-батыста Каспий теңізінің, ал солтүстік-

шығыста–ОңтүстікОралдыңтаутүзілімдерінің болуына байланысты, сондықтан өзендердің ағу бағыты солтүстік-шығыстан оңтүстік-батысқа қарай. Қарастырылып отырған алапта жүзден астам өзен (уақытша су ағындары), оның ішінде ұзындығы 200 км-ден асатын 12 өзен бар, негізгі өзен – Жайық (Орал), жалпы ұзындығы 2534 км. Жайық өзені Ресей Федерациясы аумағында қалыптасады, Оңтүстік Оралдан бастау алып, Каспий теңізіне құяды, Қазақстан Республикасы аумағындағы ұзындығы 1084 км құрайды (1-сурет).

Каспий теңізі планетадағы ең үлкен тұйық су айдыны болып табылады және жаһандық гидроклиматтық жүйеде таптырмас рөл атқарады. Каспий теңізінің қарастырылып отырған аймақтың су теңгерімін реттеуде маңызы зор. Гидрологиялық құрғақшылық Каспий теңізінің деңгейіне де әсер етуі мүмкін, себебі теңіз деңгейі кіріс (жауын-шашын, өзен ағындысы) және шығыс (булану) бөлігі арасындағы тепе-теңдікке байланысты. Ұзақ мерзімге созылған құрғақшылық кезінде жауын-шашын мөлшері азайып, Каспий теңізіне құятын өзендердегі су деңгейінің төмендеуі орын алуы мүмкін.

Зерттеу материалдары мен әдістері

Ғылыми зерттеуде Жайық-Каспий США-ның жазық өзендеріндегі орын алып жатқан гидрологиялық құрғақшылықты зерттеу үшін «Қазгидромет» РМК кадастрлық материалдары пайдаланылды (аспаптық бақылаулар басталғаннан бастап 2020 жылға дейін). Нәтижелерді өңдеу және модельдеу барысында MS Excel, STATISTICA, SPI Generator бағдарламалары қолданылды (McKee T.B., Doesken N.J. and Kleist J., 1993; Edwards D.C., McKee T.B., 1997; Ali Danandeh және т.б., 2020, <https://drought.unl.edu/monitoring/SPI/SPIProgram.aspx>).

SPI Generator бағдарламасы жауын-шашын деректерін түрлі уақыт масштабтарында (апталық, айлық) қолдап, SPI деректерімен қоса құрғақшылық жиілігі мен кезең деректерін есептеп шығарады. Жауын-шашынның стандартталған индексі (SPI) метеостанциядағы жауын-шашынның тарихи деректері негізінде есептеледі, мұнда белгілі бір уақыт аралығында жинақталған жауын-шашын мөлшері сол жердегі сәйкес кезеңнің

барлық деректерімен салыстырылады. Бұл бағдарламада есептелген SPI гамма-сәулелік таралатын тарихи жауын-шашын деректерін ұсынуға негізделген. Оң SPI мәндері ылғалды жағдайға сәйкес келеді; SPI неғұрлым жоғары болса, уақыт кезеңі соғұрлым ылғалды болады. Теріс SPI мәндері құрғақшылық жағдайын білдіреді; SPI неғұрлым төмен болса, уақыт кезеңі соғұрлым ерекше құрғақ болады.

SPI-дің басты артықшылығы – оның деректерін түрлі климаттық аймақтар үшін

салыстыруға болады. SPI метеостанциядағы жауын-шашынның мөлшерін сол станцияның өзіндік жауын-шашын тарихымен салыстыратындықтан, әр түрлі станциялардағы SPI деректерін әдетте тікелей салыстыруға болады, өйткені ол жауын-шашынның тек өңделмеген ауытқуын ғана емес, сонымен қатар жауын-шашынның қалыптан қаншалықты тыс екенін көрсетеді (<https://drought.unl.edu/monitoring/SPI/SPIProgram.aspx>).



Сур. 1. Жайық-Каспий сушаруашылық алабы

Гидрологиялық құрғақшылық көрсеткіштері

Құрғақшылықты зерттеу су ресурстарын басқарудың маңызды бөлігі болып табылады. Дер кезінде әрекет ету және құрғақшылықтың зардаптарымен күресу үшін келесі құрамдас бөліктерді қамтитын құрғақшылықты ерте хабарлау жүйесі болуы керек: – құрғақшылық мониторингі

(құрғақшылықтың басталуының бастапқы кезеңін анықтау үшін аймақтың қазіргі климаттық және гидрологиялық жағдайын бағалау); – құрғақшылықтың дамуын болжау және оның ұзақтығы мен қарқындылығын бағалау; – құрғақшылықтың алдын алу және оның салдарын жою жөніндегі шаралар жүйесін қамтитын құрғақшылық тәуекелдерін басқару жоспары.

Құрғақшылықты бағалау үшін бірнеше тәсілдерді қолдануға болады. Бұл бағалаудың дәлдігін едәуір арттырады. Бұл мақалада гидрологиялық құрғақшылықты бағалау мақсатында стандартталған жауын-шашын индексі (SPI) қолданылды.

SPI есептеу әдістемесі. Бұл әдіс жауын-шашын мөлшері гамма таралуға бағынады деген болжамға негізделген. (Edwards D.C., McKee T.B., 1997) сәйкес SPI есептеу алгоритмі келесідей: – жауын-шашын деректеріне сүйене отырып, келесідей гамма-таралу функциясы құрастырылады:

$$f_{\alpha,\beta} = \frac{1}{\beta^\alpha \Gamma(\alpha)} \times x^{\alpha-1} \times e^{-x/\beta}, x > 0 \tag{1}$$

SPI индексінің градациялары

Кесте 1

SPI мәндерінің аралықтары	Аумақтың құрғақтық категория сипаттамасы
≥2,0	экстремалды ылғалды
1,5 тен 1,99 дейін	өте ылғалды
1,0 ден 1,49 дейін	орташа ылғалды
0,0 ден 0,99 дейін	жайлы ылғалды
-0,99 дан 0,0 дейін	әлсіз құрғақшылық
-1,49 дан -1,0 дейін	орташа құрғақ
-1,99 дан -1,5 дейін	өте қатты құрғақ
≤-2,0	экстремалды құрғақ

(Handbook of Drought Indicators and Indices, 2016) нұсқаулығына сәйкес SPI мәні -1 немесе одан төмен түскен кезде құрғақшылық орын алады. SPI мәні оң мәндерге жеткенде құрғақшылық аяқталады. Жауын-шашынның ауытқуларына әр түрлі табиғи компоненттер әр түрлі әсер етеді:

- топырақ ылғалдылығының өзгеруі жауын-шашынның қысқа мерзімді ауытқуларына жауап береді;
- жер асты суларының және өзен ағындысының жағдайлары жауын-шашынның ұзақ мерзімді ауытқуларын көрсетеді.

Демек, құрғақшылық түрлерінің басталуынаықтау үшін келесі масштаб бойынша жауын-шашынның болмау мерзімі қолданылады:

- 1...2 ай – метеорологиялық құрғақшылық үшін;
- 1...6 ай – ауылшаруашылық құрғақшылығы үшін;
- 6...24 және одан да көп ай – гидрологиялық құрғақшылық үшін.

Дегенмен, 9 айлық SPI маусымдық

мұндағы α және β – пішін мен масштабтың оң параметрлері, $x > 0$ жауын-шашын мөлшері, $\Gamma(\alpha)$ – Эйлер гамма-функциясы, бұл функцияның параметрлері таңдалған уақыт шегінде әрбір метеостанция үшін анықталады;

– таралу тығыздығына негізделген стандартты қалыпты таралған кездейсоқ шаманың жинақталған ықтималдық функциясы тұрғызылады;

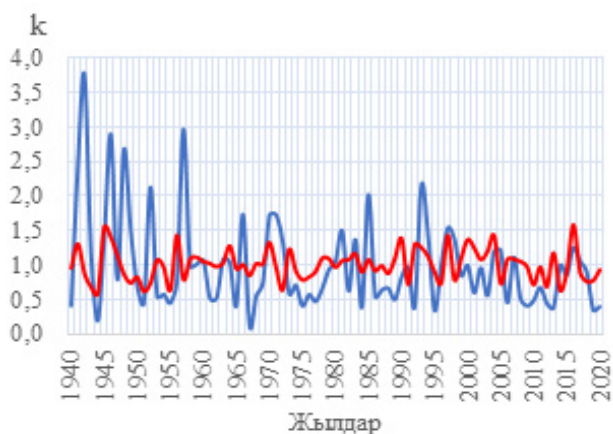
– алынған қалыпты таралудың көмегімен жауын-шашын мөлшері SPI индексінің формасына келтіріледі, SPI градациялары 1-кестеде келтірілген.

құрғақшылықты гидрологиялық сипатқа ие болуы мүмкін ұзақ мерзімді құрғақшылықпен байланыстырады, ал 12 айлық немесе одан да ұзақ SPI өзен ағындыларының, су қоймаларының деңгейінің және жер асты су деңгейінің айтарлықтай төмендеуімен байланысты.

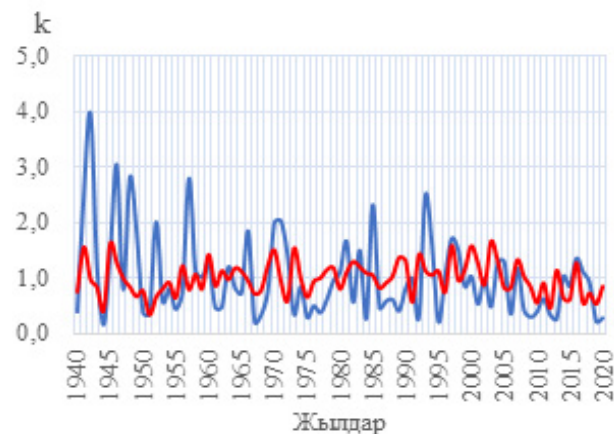
НӘТИЖЕЛЕР ЖӘНЕ ТАЛҚЫЛАУ

Жазықөзендердегі ағындыны арттыруға ықпал ететін ең негізгі табиғи фактор ол жауын-шашын. Демек, жауын-шашын талдауына негізделген құрғақшылық критерийін қолдану өте орынды. Гидрологиялық құрғақшылықты болжауда SPI индексіні пайдалану мүмкіндігі жауын-шашынның уақыттық қатарлары мен гидрологиялық сипаттамаларды салыстыру арқылы тексерілді. 2-суретте қарастырылып отырған аумақтағы орташа көпжылдық өзен ағындысы мен оған жақын маңайда орналасқан метеорологиялық станциялар (МС) бойынша жауын-шашынның жылдық мөлшерінің өзгеру динамикасы көрсетілген (деректер алдын ала өлшемсіз, жүйелі түрге келтірілген).

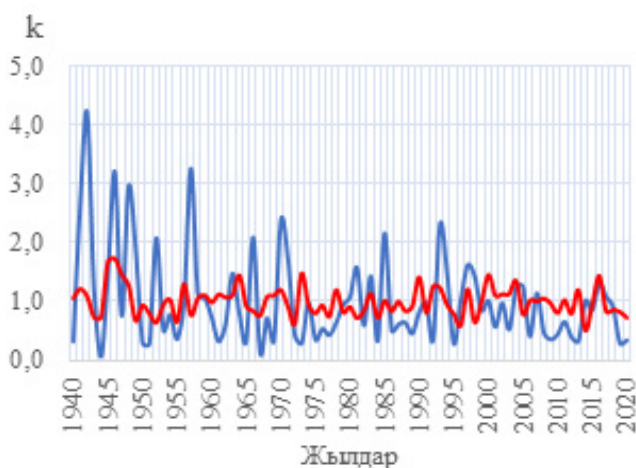
Елек өз. – Шелек а. ГБ
Ақтөбе МС



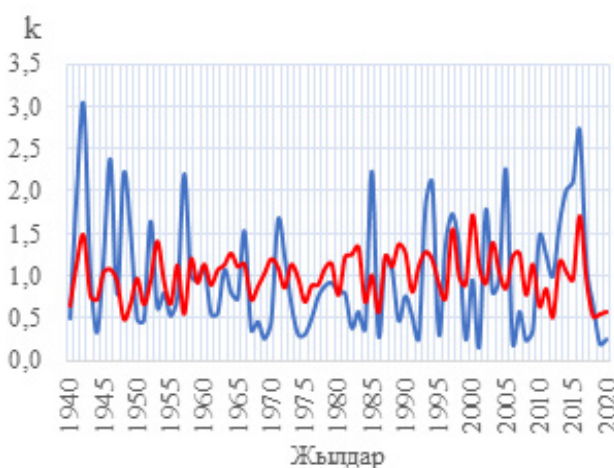
Үлкен Қобда өз. – Қобда а. ГБ
Ильинский МС



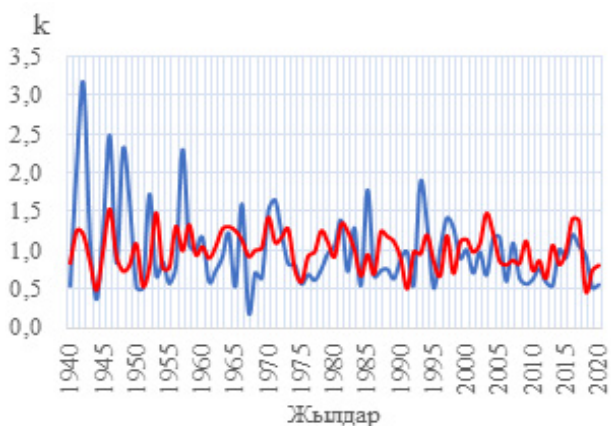
Шыңғырлау өз. – Кеңтүбек а. ГБ
Шыңғырлау МС



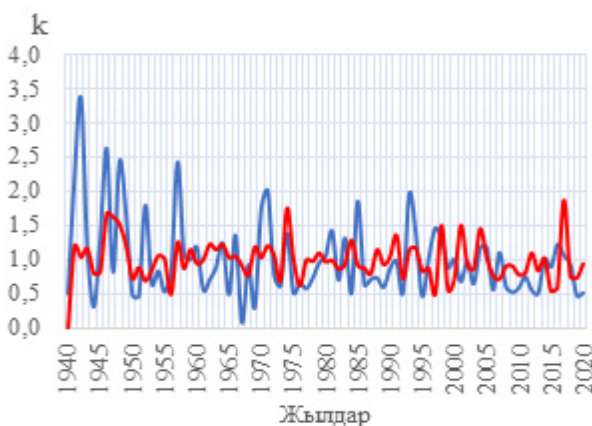
Темір өз. – Сағашали а. ГБ
Темір МС



Жем өз. – Жағабұлақ а. ГБ
Эмба МС



Өленті өз. – Жымпиты а. ГБ
Жамбейгі МС



Сур. 2. Жүйелі түрге келтірілген орташа жылдық су өтімі және жылдық жауын-шашын мөлшерінің өзгеру динамикасы

2-суреттен қарастырылып отырған өзендердің орташа жылдық су ағындысының өзгеруі, негізінен синхронды және жа-

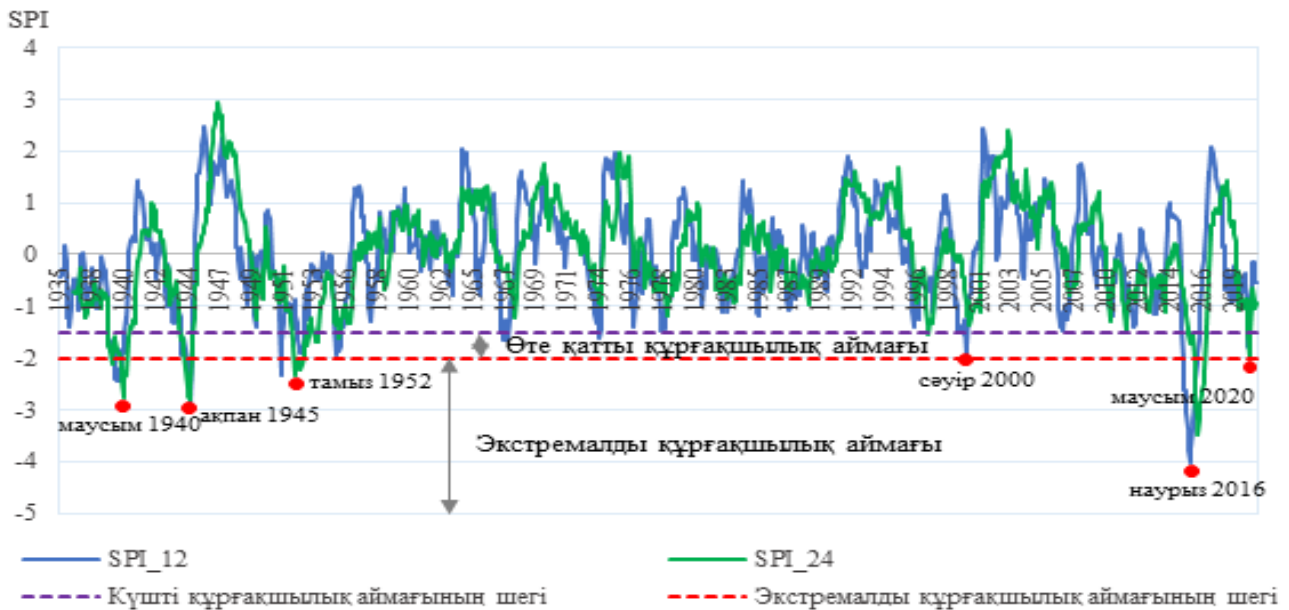
уын-шашынның жүрісімен байланысты, бірақ сәл кешігіп жатқаны анық көрінеді. Сонымен қатар, көрсетілген графиктердің тенденция

өзгерістері ұқсас, яғни бұл қарастырылып отырған су нысандарының сулылығы сыртқы, атап айтқанда табиғи факторлармен байланысты деген гипотезаны растайды. Осылайша, өзен ағындысының көбеюіне ықпал ететін ең негізгі табиғи фактор жауын-шашын болып табылады.

Құрғақшылықты анықтаудың ең ақпараттық көрсеткіші болып жауын-шашынның айлық мөлшерінен есептелетін SPI индекстері табылады. SPI индексінің теріс

мәндері әртүрлі дәрежедегі гидрологиялық құрғақшылықтың басталуын білдіреді және көп жағдайда олар қарастырылып отырған аумақтың өзендерінің суы аз циклдеріне сәйкес келеді. Құрғақшылықтың басталуын, аяқталуын және қатандығын бағалау үшін 6, 9, 12 және 24 айлық жауын-шашынның мөлшерінен алынған айлық деректер пайдаланылды. SPI_12 және SPI_24 индекстері бойынша алынған нәтижелер 3-суретте көрсетілген.

Шынғырлау МС



Жамбейті МС



Сур. 3. SPI индекстері бойынша гидрологиялық құрғақшылық

Суреттерде өте қатты гидрологиялық құрғақшылықты көрсететін SPI индексінің өзгеру циклдары анықталды (Шыңғырлау МС: өте қатты құрғақшылық – 2020 ж., экстремалды құрғақшылық – 2016 ж.; Жамбейті МС: өте қатты құрғақшылық – 2019 ж., экстремалды құрғақшылық – 2015 ж.).

SPI Generator бағдарламасын қолдану құрғақшылықты және оның параметрлерін анықтауға мүмкіндік береді. 2-кестеде SPI₂₄ бойынша мәндері -2 белгісінен төмен бүкіл кезең үшін анықталған экстремалды құрғақшылықты талдау деректері келтірілген.

Кесте 2

24 айлық уақыт масштабында SPI арқылы анықталған экстремалды гидрологиялық құрғақшылық параметрлері

Құрғақшылықтың басталуы	Құрғақшылықтың аяқталуы	Құрғақшылықтың ұзақтығы, айлар	SPI _{24жж}	SPI жиынтығы	SPI _{орт.}
Ақтөбе МС					
07/1930	10/1941	135	-3,25	-213	-1,58
05/1951	07/1957	74	-2,48	-97	-1,31
Жамбейті МС					
06/1937	11/1941	53	-2,46	-85	-1,60
05/1951	11/1954	42	-2,31	-49	-1,16
10/2015	07/2016	9	-2,73	-15	-1,64
Шыңғырлау МС					
08/1939	08/1941	24	-2,76	-40	-1,66
11/1944	09/1945	10	-2,81	-19	-1,87
08/1952	12/1956	52	-2,32	-67	-1,29
07/2016	09/2017	14	-3,47	-31	-2,23
Аяққум МС					
12/1951	06/1953	18	-3,07	-33	-1,82
07/1975	05/1978	34	-2,51	-56	-1,64
06/1985	07/1988	37	-2,26	-51	-1,38
Эмба МС					
07/1930	07/1932	24	-2,13	-22	-0,91
05/1934	04/1942	95	-2,48	-127	-1,33
12/1944	07/1946	19	-2,05	-28	-1,45
Казенка МС					
03/1973	05/1974	14	-2,18	-14	-0,98
11/1975	11/1977	24	-2,21	-38	-1,58
10/1996	02/1998	16	-2,20	-14	-0,87
05/2009	01/2011	20	-2,57	-26	-1,30
Қараулкелді МС					
06/1940	08/1941	14	-2,07	-18	-1,27
09/1949	06/1953	45	-3,14	-79	-1,76
Қос-Істек МС					
09/1976	04/1979	31	-2,05	-32	-1,03
Мұғалжар МС					
06/1936	05/1941	59	-2,68	-86	-1,45
03/1950	04/1954	49	-2,47	-65	-1,33
Шалқар МС					
04/1944	08/1946	28	-3,38	-60	-2,14
06/1951	05/1953	23	-2,89	-35	-1,51
10/1955	04/1958	30	-3,31	-48	-1,59
11/1976	04/1978	17	-2,55	-26	-1,55
Ұйыл МС					
12/1936	04/1942	64	-3,22	-139	-2,17
Орал МС					
10/1950	03/1957	77	-2,71	-131	-1,70

2-кестеден көріп тұрғанымыздай қарастырылып отырған ауданда құрғақшылықтың ұзақтығы 9 айдан (Жамбейті МС, 2015...2016 жж.) 135 айға (Ақтөбе МС, 1930...1941 жж.) дейін кең ауқымда өзгерген, SPI индексінің ең төменгі мәні -3,47 (Шыңғырлау МС, 2016...2017 жж.) құрады. Қазіргі кезеңде қарастырылып отырған алаптағы ірі гидрологиялық құрғақшылық 2016...2017 жылдар аралығында, 14 айға созылған. 3-кестеде SPI_6, SPI_9 және SPI_12 ай бойынша 2018 жылдан 2020 жылға дейінгі Шыңғырлау МС мәліметтеріне есептелген мәндері келтірілген.

Зерттеліп отырған аумақ өзендеріндегі ағындының көпжылдық тербелістерін зерт-

теу және талдау кезінде келесідей сулылығы аз кезеңдер анықталды: Шыңғырлау өзенінде 2001...2020 жж.; Елек өзенінде 2006...2015 жж., 2018...2020 жж.; Темір өзенінде 2006...2009 жж., 2018...2020 жж.; Өленті өзенінде 2008...2015 жж., 2018...2020 жж.; Ор өзенінде 2006...2020 жж.

Есептелген мәндерді талдау кезінде қарастырылып отырған аумақта топырақ ылғалдылығының тапшылығынан (SPI_6) маусымдық ұзақ мерзімді құрғақшылыққа (SPI_9) бірте-бірте өтуін және өзен ағындысының айтарлықтай азаюын (SPI_12) байқауға болады. Құрғақшылықтың аяқталуы сәйкес индекстер оң мәндерге жеткенде орын алады.

Кесте 3

2018...2020 жж. аралығындағы Шыңғырлау МС бойынша SPI индексінің -2-ден төмен мәндері

Мерзімі	SPI_6	SPI_9	SPI_12
11/2018	-0,54	-0,41	-0,29
12/2018	-1,24	-0,43	-0,67
01/2019	-1,18	-0,51	-0,80
02/2019	-0,85	-1,17	-0,95
03/2019	-0,11	-1,05	-0,43
04/2019	-0,34	-0,57	-0,21
05/2019	0,16	0,05	-0,46
06/2019	0,02	-0,11	-0,91
07/2019	-0,12	-0,74	-0,88
08/2019	0,03	-0,54	-0,54
09/2019	-0,59	-0,57	-0,61
10/2019	-0,87	-0,50	-0,96
11/2019	-1,21	-0,32	-0,75
12/2019	-0,98	-0,69	-0,64
01/2020	-0,46	-0,78	-0,42
02/2020	-0,54	-1,14	-0,36
03/2020	-0,13	-0,81	-0,63
04/2020	-0,08	-0,71	-0,96
05/2020	-0,95	-1,30	-1,77
06/2020	-1,70	-1,41	-1,85
07/2020	-1,06	-0,71	-1,15
08/2020	-0,13	-0,14	-0,50
09/2020	-0,01	-0,04	-0,14
10/2020	-0,03	-0,24	-0,14
11/2020	-0,07	-0,57	-0,53
12/2020	0,45	-0,59	-0,53

ҚОРЫТЫНДЫ

Жұмыс қорытындысы бойынша гидрологиялық құрғақшылықты бақылаудың тиімді құралы ретінде SPI индексін ұсынуға болады. Қарастырылып отырған сушаруашылық алабында метеорологиялық деректерді пайдалана отырып, өте қатты және экстремалды құрғақшылықтың түрлері мен мерзімдері анықталды. Зерттеу нәтижесі негізінде келесі қорытындылар алынды:

– SPI индексі құрғақшылық кезеңдерін анықтауда нәтижелілігін көрсетті, бұл гидрологиялық құрғақшылықтың саралау жұмыстарын жүргізуге мүмкіндік берді (SPI индексін қолдана отырып метеорологиялық деректерді талдау негізінде құрғақшылық түрлері мен пайда болу мерзімдері анықталды);

– қазіргі уақытта су нысандарының сулылығы мәселесінде табиғи факторлар шешуші рөл атқарады, және де табиғи факторлардың гидрологиялық режимге әсерін түсіну және ескеру – құрғақшылықтың пайда болу мерзімін болжау мен оның алдын алу шараларының тиімділігін арттырудың негізгі элементіне айналады;

– зерттеу нәтижелері су ресурстарын басқару және климат өзгерістеріне бейімделу стратегияларын әзірлеуге негіз бола алады;

– алынған қорытындылар су ресурстарына тәуелді ауыл шаруашылығы мен басқа салалар үшін практикалық маңыздылыққа ие, құрғақшылықтың түрлері мен мерзімдері туралы ақпаратты қарастырылып отырған аймақтың су ресурстарын басқарудың тиімді стратегияларын әзірлеу және гидрологиялық құрғақшылықтың жағымсыз әсерін азайту үшін пайдалануға болады.

Бұл ғылыми зерттеу Қазақстан Республикасы Ғылым және Жоғары білім министрлігінің Ғылым комитетінің «Жасыл даму контекстінде Батыс Қазақстан өңірінің табиғи-шаруашылық және әлеуметтік-экономикалық жүйелерінің тұрақты дамуы: кешенді талдау, тұжырымдама, болжамдық бағалау және сценарийлер» № BR 1882122-ОТ-23 бағдарламалық-мақсатты қаржыландыру негізінде жасалды.

ӘДЕБИЕТТЕР ТІЗІМІ

1. Владимиров А.М. Классификация гидрологических засух // Ученые записки РГГМУ № 23. Научно-теоретический журнал – СПб.: РГГМУ. – 2012. – С. 5-12.

2. Владимиров А.М. Факторы формирования экстремального стока в маловодный сезон. – СПб. Ученые Записки РГГМУ. – № 7. – 2008. – С. 13-22.

3. Подлипенская Л.Е., Кусайко Н.П., Ладыш И.А. и Долгих Е.Д. Мониторинг гидрологических засух по результатам многолетних данных Центра гидрометеорологии города Луганска. – Экологический вестник Донбасса. – №2. – 2021. С. 83-91.

4. Ali Danandeh, Mehr Ali, Unal Sorman, Ercan Kahya and Mahdi Hesami Afshar (2020). Climate change impacts on meteorological drought using SPI and SPEI: case study of Ankara, Turkey. Hydrological Sciences Journal. 65:2, 254-268, doi:10.1080/02626667.2019.1691218.

5. Brunner M.I., Götte J., Schlemper C. and Van Loon A.F. (2023). Hydrological drought generation processes and severity are changing in the Alps. Geophysical Research Letters, 50, e2022GL101776. <https://doi.org/10.1029/2022GL101776>

6. Edwards D.C., McKee T.B. 1997. Characteristics of 20th century drought in the United States at multiple time scales. Climatology Report No. 97 - 2. Colorado State University, Fort Collins Colorado, 155 pp.

7. G. Wong, H.A.J. Van Lanen and P.J.J.F. Torfs (2013). Probabilistic analysis of hydrological drought characteristics using meteorological drought. Hydrological Sciences Journal, 58:2, 253-270, doi:10.1080/02626667.2012.753147

8. Giroto M., Formetta G., Azimi S., Bachand C., Cowherd M., De Lannoy G. and Massari C. (2024). Identifying snowfall elevation patterns by assimilating satellite-based snow depth retrievals. Science of The Total Environment, 906, 167312.

9. Faquseh H. and Grossi G. (2024). Trend analysis of precipitation, temperature and snow water equivalent in Lombardy region, northern Italy. Sustainable Water Resources Management, 10(1), 18.

10. Markonis Y., Kumar R., Hanel M., Rakovec O., Máca P. and Aghakouchak A. (2021). The rise of compound warm-season droughts in Europe. Science Advances, 7(6), eabb9668. <https://doi.org/10.1126/sciadv.abb9668>

11. McKee T.B., Doesken N.J. and Kleist J. (1993). The relationship of drought frequency and duration to time scales, in: Preprints, 8th Conference on Applied Climatology, January 17-22, Anaheim, California, pp. 179-184.

12. <https://drought.unl.edu/monitoring/SPI/SPIProgram.aspx>

13. Stahl K., Hisdal H., Hannaford J., Tallaksen L.M., Van Lanen H.A., Sauquet E. (2010). Streamflow trends in Europe: Evidence from a dataset of near-natural catchments. Hydrology and Earth System Sciences, 14(12), 2367–2382. <https://doi.org/10.5194/hess-14-2367-2010>

14. Van Lanen H.A., Wanders N., Tallaksen L.M. and Van Loon A.F. (2013). Hydrological drought across the world: Impact of climate and physical catchment structure. Hydrology and Earth System Sciences, 17(5), 1715–1732. <https://doi.org/10.5194/hess-17-1715-2013>

15. Van Loon A.F. and Laaha G. (2015). Hydrological drought severity explained by climate and catchment characteristics. Journal of Hydrology, 526, 3–14. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2014.10.059>

16. World Meteorological Organization (WMO) and Global Water Partnership (GWP),

2016: Handbook of Drought Indicators and Indices (M. Svoboda and B.A. Fuchs). Integrated Drought Management Programme (IDMP), Integrated Drought Management Tools and Guidelines Series 2. Geneva.

REFERENCES

- Vladimirov A.M. Klassifikatsiya gidrologicheskikh zasukh // Uchenye zapiski RGGMU № 23. Nauchno-teoreticheskii zhurnal – SPb.: RGGMU. – 2012. – P. 5-12.
- Vladimirov A.M. Faktory formirovaniya ekstremal'nogo stoka v malovodnyi sezon. – SPb. Uchenye Zapiski RGGMU. – № 7. – 2008. – P. 13-22.
- Podlipenskaya L.E., Kusaiko N.P., Ladysh I.A. i Dolgikh E.D. Monitoring gidrologicheskikh zasukh po rezul'tatam mnogoletnikh dannykh Tsentra gidrometeorologii goroda Luganska. – Ekologicheskii vestnik Donbassa. – №2. – 2021. P. 83-91.
- Ali Danandeh, Mehr Ali, Unal Sorman, Ercan Kahya and Mahdi Hesami Afshar (2020). Climate change impacts on meteorological drought using SPI and SPEI: case study of Ankara, Turkey. Hydrological Sciences Journal. 65:2, 254-268, doi:10.1080/02626667.2019.1691218.
- Brunner M.I., Götte J., Schlemper C. and Van Loon A.F. (2023). Hydrological drought generation processes and severity are changing in the Alps. Geophysical Research Letters, 50, e2022GL101776. <https://doi.org/10.1029/2022GL101776>
- Edwards D.C., McKee T.B. 1997. Characteristics of 20th century drought in the United States at multiple time scales. Climatology Report No. 97 - 2. Colorado State University, Fort Collins Colorado, 155 .
- G. Wong, H.A.J. Van Lanen and P.J.J.F. Torfs (2013). Probabilistic analysis of hydrological drought characteristics using meteorological drought. Hydrological Sciences Journal, 58:2, 253-270, doi:10.1080/02626667.2012.753147
- Giroto M., Formetta G., Azimi S., Bachand C., Cowherd M., De Lannoy G. and Massari C. (2024). Identifying snowfall elevation patterns by assimilating satellite-based snow depth retrievals. Science of The Total Environment, 906, 167312.
- Faquseh H. and Grossi G. (2024). Trend analysis of precipitation, temperature and snow water equivalent in Lombardy region, northern Italy. Sustainable Water Resources Management, 10(1), 18.
- Markonis Y., Kumar R., Hanel M., Rakovec O., Máca P. and Aghakouchak A. (2021). The rise of compound warm-season droughts in Europe. Science Advances, 7(6), eabb9668. <https://doi.org/10.1126/sciadv.abb9668>
- McKee T.B., Doesken N.J. and Kleist J. (1993). The relationship of drought frequency and duration to time scales, in: Preprints, 8th Conference on Applied Climatology, January 17-22, Anaheim, California, 179-184.
- <https://drought.unl.edu/monitoring/SPI/SPIProgram.aspx>
- Stahl K., Hisdal H., Hannaford J., Tallaksen L.M., Van Lanen H.A., Sauquet E. (2010). Streamflow trends in Europe: Evidence from a dataset of near-natural catchments. Hydrology and Earth System Sciences, 14(12), 2367–2382. <https://doi.org/10.5194/hess-14-2367-2010>
- Van Lanen H.A., Wanders N., Tallaksen L.M. and Van Loon A.F. (2013). Hydrological drought across the world: Impact of climate and physical catchment structure. Hydrology and Earth System Sciences, 17(5), 1715–1732. <https://doi.org/10.5194/hess-17-1715-2013>
- Van Loon A.F. and Laaha G. (2015). Hydrological drought severity explained by climate and catchment characteristics. Journal of Hydrology, 526, 3–14. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2014.10.059>
- World Meteorological Organization (WMO) and Global Water Partnership (GWP), 2016: Handbook of Drought Indicators and Indices (M. Svoboda and B.A. Fuchs). Integrated Drought Management Programme (IDMP), Integrated Drought Management Tools and Guidelines Series 2. Geneva.

ОЦЕНКА ГИДРОЛОГИЧЕСКИХ ЗАСУХ ПО РЕЗУЛЬТАТАМ МНОГОЛЕТНИХ ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИХ ДАННЫХ ЖАЙЫК-КАСПИЙСКОГО ВОДОХОЗЯЙСТВЕННОГО БАССЕЙНА

С.К. Алимкулов¹ к.г.н., Л.К. Махмудова¹ к.г.н., А.А. Турсунова¹ к.г.н., Э.К. Талипова¹ PhD, Л.М. Биримбаева^{1,2*}

¹АО «Институт географии и водной безопасности», Алматы, Казахстан

²Казахский национальный университет им. аль-Фараби, Алматы, Казахстан

E-mail: birimbayeva_l@mail.ru

В статье рассматривается проблема эффективного выявления начала и окончания гидрологической засухи на территории Жайык-Каспийского водохозяйственного бассейна. В качестве индикатора-предиктора засухи выбран стандартизированный индекс осадков (SPI), рекомендованный Всемирной метеорологической организацией. На основе применения приложения SPI Generator определены характеристики сильных и экстремальных засух от начала инструментальных наблюдений по 2020 г. Результаты исследования показали эффективность применения индекса SPI в выявлении засушливых периодов рассматриваемой территории, что позволило провести дифференцированную диагностику гидрологических засух с определением сроков их проявления. Полученные выво-

ды имеют практическую значимость для сельского хозяйства и других отраслей, зависящих от водных ресурсов, информация о видах и сроках засух может быть использована для разработки эффективных стратегий по управлению водными ресурсами рассматриваемого региона и минимизации негативных последствий от гидрологических засух.

Ключевые слова: метеорологические, сельскохозяйственные и гидрологические засухи, дефицит осадков, водохозяйственный бассейн, стандартизированный индекс осадков

ASSESSMENT OF HYDROLOGICAL DROUGHTS BASED ON THE RESULTS OF LONG-TERM HYDROMETEOROLOGICAL DATA OF THE ZHAIYK-CASPIAN WATER BASIN

S. Alimkulov¹ *candidate of geographical sciences*, **L. Makhmudova**¹ *candidate of geographical sciences*, **A. Tursunova**¹ *candidate of geographical sciences*, **E. Talipova**¹ *PhD*, **L. Birimbayeva**^{1,2*}

¹JSC «Institute of Geography and water security», Almaty, Kazakhstan

²al-Farabi Kazakh National University, Almaty, Kazakhstan

E-mail: birimbayeva_l@mail.ru

The article considers the problem of effective detection of the beginning and end of hydrological drought in the territory of Zhayk-Caspian water basin. Standardized Precipitation index (SPI) recommended by the World Meteorological Organization selected as drought predictor indicator. Based on the SPI Generator Application determined the characteristics of severe and extreme droughts from the beginning of instrumental observations to 2020 year. The results of the studies showed the effectiveness of the SPI index in detecting dry periods of the area under consideration, which allowed a differentiated diagnosis of hydrological droughts and their timing. The findings have practical relevance for agriculture and other water-dependent industries, information on the types and timing of droughts can be used to develop effective strategies to manage the water resources of the region and minimize the negative impacts of hydrological droughts.

Keywords: meteorological, agricultural and hydrological droughts, precipitation deficit, water basin, standardized precipitation index

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

Алимкулов Саят Курбанбаевич - география ғылымының кандидаты, қауымдастырылған профессор (доцент), «География және су қауіпсіздігі» АҚ басқарма төрағасының орынбасары, Алматы, sayat.alimkulov@mail.ru

Махмудова Ляззат Камаловна - География ғылымының кандидаты, қауымдастырылған профессор (доцент), «География және су қауіпсіздігі» АҚ жетекші ғылыми қызметкер, Алматы, mlk2002@mail.ru

Турсунова Айсулу Алашевна - География ғылымының кандидаты, қауымдастырылған профессор (доцент), «География және су қауіпсіздігі» АҚ су ресурстары зертханасының меңгерушісі, Алматы, ais.tursun@bk.ru

Талипова Эльмира Кайратовна – PhD, «География және су қауіпсіздігі» АҚ аға ғылыми қызметкер, Алматы, elmira_280386@mail.ru

Биримбаева Ляззат Муратбековна - «География және су қауіпсіздігі» АҚ ғылыми қызметкер, әл-Фараби атындағы Қазақ Ұлттық университеті, Алматы, birimbayeva_l@mail.ru

Алимкулов Саят Курбанбаевич - кандидат географических наук, ассоциированный профессор (доцент), Заместитель Председателя Правления АО «Институт географии и водной безопасности», Алматы, sayat.alimkulov@mail.ru

Махмудова Ляззат Камаловна - кандидат географических наук, ассоциированный профессор (доцент), ведущий научный сотрудник АО «Институт географии и водной безопасности», Алматы, mlk2002@mail.ru

Турсунова Айсулу Алашевна - кандидат географических наук, ассоциированный профессор (доцент), заведующий лабораторией водных ресурсов АО «Институт географии и водной безопасности», Алматы, ais.tursun@bk.ru

Талипова Эльмира Кайратовна – PhD, старший научный сотрудник АО «Институт географии и водной безопасности», Алматы, elmira_280386@mail.ru

Биримбаева Ляззат Муратбековна- научный сотрудник АО «Институт географии и водной безопасности», Казахский национальный университет имени аль-Фараби, Алматы, birimbayeva_l@mail.ru

Alimkulov Sayat - Candidate of geographical sciences, associate professor (docent), Vice Chairman of the Board JSC «Institute of Geography and water security», Almaty, sayat.alimkulov@mail.ru

Makhmudova Lyazzat - Candidate of geographical sciences, associate professor (docent), Leading researcher, JSC «Institute of Geography and water security», Almaty, mlk2002@mail.ru

Tursunova Aysulu - Candidate of geographical sciences, associate professor (docent), Head of the Water resources Laboratory, JSC «Institute of Geography and water security», Almaty, ais.tursun@bk.ru

Talipova Elmira – PhD, Senior researcher, JSC «Institute of Geography and water security», Almaty, elmira_280386@mail.ru

Birimbayeva Lyazzat - Researcher, JSC «Institute of Geography and water security», Study place al-Farabi Kazakh National University, Almaty, birimbayeva_l@mail.ru

Авторлардың қосқан үлесі/ Вклад авторов /Authors contribution

Алимкулов Саят Курбанбаевич - тұжырымдаманы әзірлеу

Махмудова Ляззат Камаловна - тұжырымдаманы әзірлеу, әдістемені әзірлеу, мәтінді дайындау және өңдеу, көрнекілік

Турсунова Айсулу Алашевна - әдістемені әзірлеу

Талипова Эльмира Кайратовна – статистикалық талдау жүргізу, мәтінді дайындау және өңдеу, көрнекілік

Биримбаева Ляззат Муратбековна- бағдарламалық жасақтама жасау, статистикалық талдау жүргізу

Алимкулов Саят Курбанбаевич - разработка концепции

Махмудова Ляззат Камаловна - разработка концепции, разработка методологии, подготовка и редактирование текста, визуализация

Турсунова Айсулу Алашевна - разработка методологии

Талипова Эльмира Кайратовна – проведение статистического анализа, подготовка и редактирование текста, визуализация

Биримбаева Ляззат Муратбековна - создание программного обеспечения, проведение статистического анализа

Alimkulov Sayat - concept development

Makhmudova Lyazzat - concept development, methodology development, preparing and editing the text, visualization

Tursunova Aysulu - methodology development

Talipova Elmira – conducting statistical analysis, preparing and editing the text, visualization

Birimbayeva Lyazzat - creating software, conducting statistical analysis

UDC 556.5

IRSTI 37.27.02

CALCULATION OF THE MINIMUM NUMBER OF HYDROLOGICAL OBSERVATION STATIONS OF THE HYDROMETEOROLOGICAL SERVICE NETWORK IN THE REPUBLIC OF KAZAKHSTAN

S. Sairov* *candidate of geographical sciences*, D. Alimbayeva, N. Serikbay, A. Yeltay *PhD*,
T. Tillakarim

RSE «Kazhydromet», Astana, Kazakhstan
E-mail: sairov_s@meteo.kz

The article estimates the number of hydrological observation points taking into account the minimum density of their location and in accordance with WMO recommendations. The territories of Kazakhstan, distinguished by a great variety of climatic conditions and natural zones, have different water availability and require separate norms in the organization of observation points in river basins, known water management regions of the republic. For each river basin, the areas of physiographic regions belonging to different natural zones, including drainless areas, were calculated, which amounted to more than 700 thousand km². As a result of the calculation, the total minimum number of hydrological posts for the whole country was justified to be 500. However, with economic growth, this number should be increased in accordance with the developed principles and territorial zoning for more effective water resources management.

Key words: hydrological network, water basin, landscape, observations

Accepted: 31.01.24

DOI: 10.54668/2789-6323-2024-112-1-39-46

INTRODUCTION

Water resources, their control and rational use are extremely important for the sustainable development of nations. The development of cost-effective hydrological observation methods is one of the priorities identified by World Meteorological organization (WMO) in the Hydrological Investigations for 2022...2030 (Pechlivanidi I., Ickes L., Gute E., 2023; Ramos M.-H., Cudenne C. and et. all, 2022; Vision and Strategy for Hydrology..., 2023).

Long-term spatially distributed hydrological observations are necessary to understand spatial and temporal patterns and changes in water resources and their properties, which are characterized by significant variability for the plain rivers of Kazakhstan (Fekete B. and et. all, 2021).

In general, the main source of information for natural resource assessment is ground-based observation stations, despite the trends of widespread use of satellite remote sensing in the last few decades (Lettenmaier D., 2006). Reliable, sufficient and authentic observation materials for elements of hydrological

regime of water bodies provide quality water resources management under constantly increasing anthropogenic pressure on them.

The observation network data should allow estimating water resources not only in a multi-year perspective with sufficient accuracy, but also provide the needs of economic sectors with more extensive operational information in a continuous mode (annual, monthly, daily, etc.), and ensure reliability of water management calculations and forecasts when planning the development of the country's regions. This is a priority task of the hydrometeorological service of the Republic of Kazakhstan.

Determination of optimal quantitative and spatial distribution of hydrological posts over the territory of Kazakhstan under the conditions of diversity of runoff formation factors and physiographic conditions is a rather difficult task.

The development of the hydrological network in the Republic of Kazakhstan over the past century is characterized by several key stages (kazhydromet.kz):
1) 1917...1981 – consistent increase in the number of hydrological stations (HS), reaching a maximum in 1981 (506 HS);

2) 1981...2000 – sharp decrease in the number of HSs to 165;
3) 2001...2023 – significant increase in the number of HSs to 377. In 2023, the hydrological network of RSE «Kazhydromet» includes 377 observation stations for water regime characteristics, including 329 river stations, 38 lake stations and 10 marine stations (kazhydromet.kz).

The organization of the existing hydrological network in the Republic of Kazakhstan was based on the geographic-hydrological method with the basin principal approach, developed in the State Institution «State Hydrometeorological Institute» in 1933 (Glushkov V.G., 1993). The density of placement of hydrological observation network on the territory of Kazakhstan was increased taking into account the demands of the economy and scientific research during the following years with maximum possible consideration of natural and anthropogenic factors affecting the obtaining of reliable data on the hydrological regime of water bodies with an error sufficient for scientific and practical purposes.

The research work carried out by the Federal State Budgetary Institution «State Hydrological Institute» on optimization of the state hydrological observation network of Kazakhstan using the technology «HydroNet-2011» on the basis of data, operating and closed 511 stations showed that the highest density of the hydrological network is characterized by annual and maximum runoff. Correlation analysis showed that its highest averaged values for active and closed posts are 0.50 for annual, 0.41 and 0.29 for maximum, 0.50 and 0.30 for minimum summer, 0.20 and 0.12 for minimum winter water discharges, respectively. In turn, the result of representativeness in terms of coverage of the territory by the data of operating posts was 53-58% for annual, maximum, minimum summer discharge (Razrabotka meropriyatij po optimizacii..., 2011), which indicates the need for further development of the observation network.

The network of reference hydrological stations in a significant part of Kazakhstan has been functioning for a long enough period of time, which makes it possible to generally assess the dynamics of water resources in time and space, and to build and analyze effective links. Despite this, the location and density of the hydrological network of RSE «Kazhydromet» do not satisfy the

requirements of spatial linear interpolation of the characteristics of the hydrological regime. This does not allow estimating river flows in unstudied catchments with the accuracy required for practice (Razrabotka meropriyatij po optimizacii..., 2011).

In this regard, at present, within the framework of the activities of the hydrometeorological service of Kazakhstan and in accordance with WMO recommendations, the task of substantiating the principles of optimal location of the observation group and calculation of the necessary minimum network for the territory of the Republic has become acute.

The minimum network is the optimal number of HSs that will avoid serious deficiencies in water resources accounting and exploitation at the level corresponding to the overall level of economic development of the country (Guide to hydrological practices..., 1994, Rukovodstvo po gidrologicheskoj praktike..., 2020).

The minimum network should provide a basis for further expansion to respond to specific goals and needs in the future (Guide to hydrological practices..., 1994, Rukovodstvo po gidrologicheskoj praktike..., 2020).

MATERIALS AND METHODS

The Republic of Kazakhstan with an area of 2 million 724.9 thousand square kilometers is located on the Eurasian continent (between 55° 26' and 40° 56' north latitude and between 45° 27' and 87° 18' east longitude) (HeritageNet, 2023). Most of the country's territory is made up of deserts - 44% and semi-deserts - 14%. Steppes occupy 26% of the area of Kazakhstan, forests - 5.5%. There are 8.5 thousand rivers and 48 thousand large and small lakes in the country (Oficial'nyj sajt gosudarstvennyh organov RK, 2024; Oficial'nyj sajt Prezidenta RK, 2024).

The territory of the Republic of Kazakhstan is divided into 8 water management basins (WMBs), which are located in different physiographic zones: Aral-Syrdariya, Zhaiyk-Caspian, Nura-Sarysu, Tobyl-Torgai, Esil, Ertis, Balkash-Alakol, Shu-Talas (fig. 1) (Problemy v oblasti upravleniya..., 2024).

The calculation of the minimum number of the hydrological network is based on the methodology proposed by WMO, which provides for the calculation of the number of hydrological stations depending on climatic conditions

and the size of the area of territory (in km²) (Razrabotka meropriyatij po optimizacii..., (Table 1) served by one hydrological station) 2011; Guide to hydrological practices..., 1994).

Table 1

Normative area recommended by WMO (km² per station) (Rukovodstvo po..., 2020)

Physical-geographical areas	Mountainous	Plains* (in-country)	Hilly/Rough	Arid **
Area per 1 HS	1000	1875	1875	20000

Note: *steppe and forest-steppe zones, **desert and semi-desert zones

In this regard, their physiographic regions (mountainous, forest-steppe, steppe, semi-desert and desert), as well as the presence or absence of natural water bodies (Figure 1) were determined for 8 WMBs on the basis of the map of landscape zones and the map of hydrographic network of the National Atlas of the Republic of Kazakhstan (Nacional'nyj atlas RK, 2006).

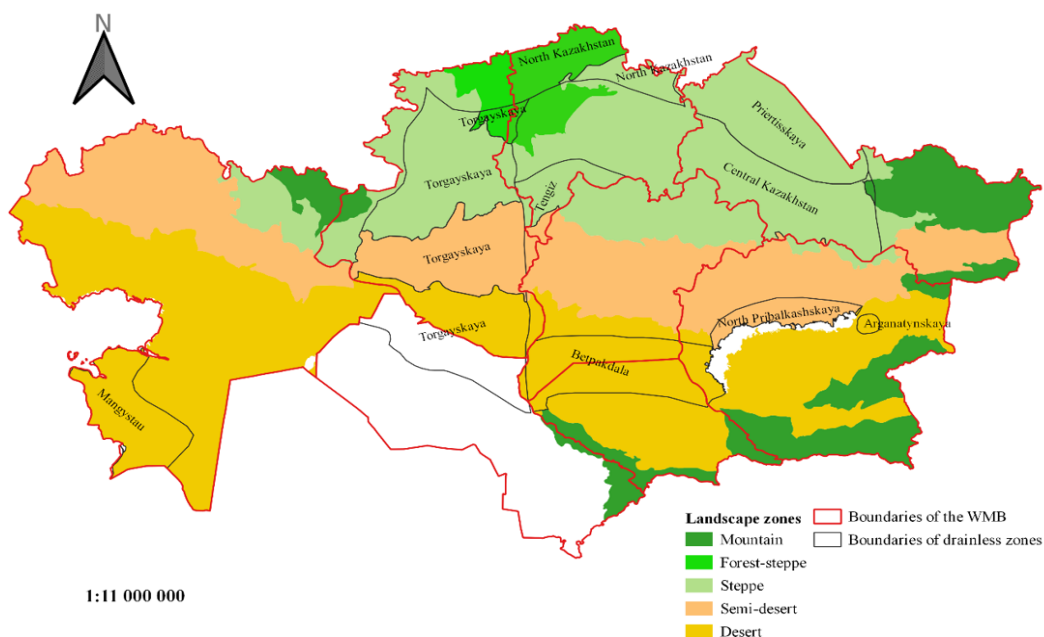


Fig. 1. Map of landscape zones of Kazakhstan (signed drainage-free areas)

Having defined the geographical areas and hydrographic network for all WMBs, and taking into account the WMO recommended network density corresponding to different landscapes, a equation was derived to calculate the minimum required number of hydrological stations for the entire territory of Kazakhstan (1):

$$N_{min}^{WMB} = \frac{F_{moun}}{f_{moun}} + \frac{F_{f-st} - F_{DF f-st}}{f_{f-st}} + \frac{F_{st} - F_{DF st}}{f_{st}} + \frac{F_{semi-des} - F_{DF semi-des}}{f_{semi-des}} + \frac{F_{des} - F_{DF des}}{f_{des}} \quad (1)$$

N_{min}^{WMB} – minimum required number of hydrological stations for one WHB; Areas of landscape zones: F_{moun} – mountainous area; F_{f-st} – forest-steppe area; F_{st} – steppe area; F_{s-d} – semi-desert; F_{des} – desert area; Areas of drainage-free landscape zones: $F_{DF f-st}$ – forest-steppe; $F_{DF st}$ – steppe area; $F_{DF semi-des}$ – semi-desert; $F_{DF des}$ – desert area; Normative area covered by one hydrological

monitoring observation station according to WMO recommendations: f_{moun} – in the mountainous area, km²; f_{f-st} – in the forest-steppe area, km²; f_{st} – in the steppe area, km²; $f_{semi-des}$ – in the semi-desert area, km²; f_{des} – in the desert area, km².

The total area and the area of drainage-free areas (DFA) of different physiographic areas were calculated using ArcGIS tool (Table 2). To

calculate them, the «Calculate Geometry» tool is used to access the geometric properties of spatial objects in the map layer. This tool calculates coordinate, length and area values.

For each WMB, we used their respective Universal Transverse Mercator (UTM) projection zones, from UTM-39 to UTM-44 (Figure 2).

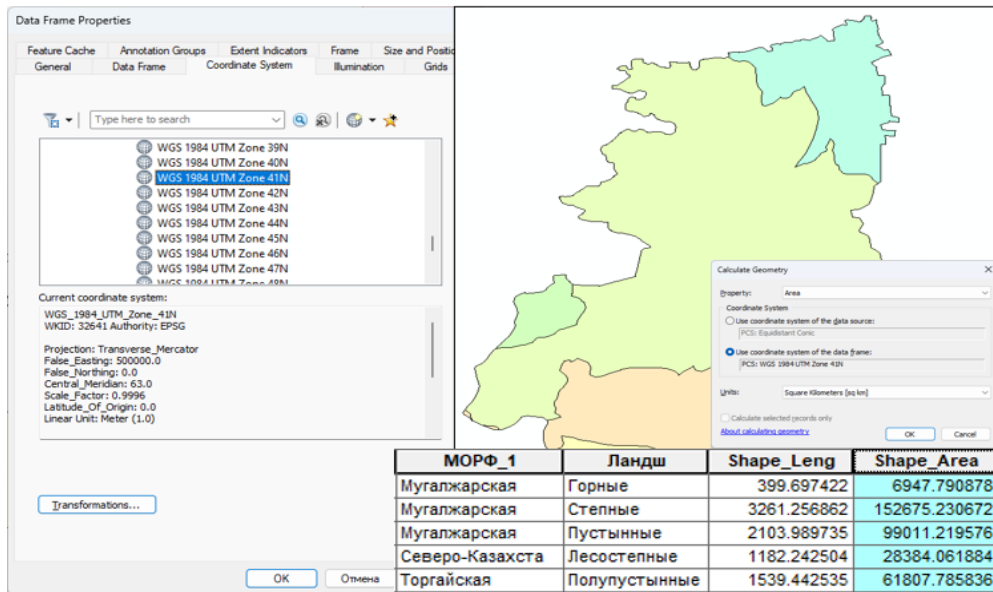


Fig. 2. Calculation of areas of physiographic areas of the Tobyl-Torgai WHB

Table 2

Areas of landscape zones by WMB, km²

Water management basin	Mountainous		Forest-steppe		Steppe		Semi-desert		Deserted		General	Drainage-free
	general	drainage-free	general	drainage-free	general	drainage-free	general	drainage-free	general	drainage-free		
Aral-Syrdariya	15703								272746	58341	288449	58341
Balkash-Alakol	91542			9857	7926	127586	27650	151526	20215	380511	55791	
Ertis	91491			218398	203976	37644				347532	203976	
Zhaiyk-Caspian	20454			37564		193750		375345	70069	627114	70069	
Esil		70609	47097	148234	31411	3946	3946			222788	82453	
Nura-Sarysu				88928		118274		67362	43126	274564	43126	
Shu-Talas	28685							125167	103077	153852	103077	
Tobol-Torgai	6948	28384	7213	152675	113011	99011		61808	61808	348826	182031	

RESEARCH RESULTS

Based on the WMO recommendation, separate calculations of the minimum number of hydrological posts for physiographic areas within each catchment basin have been carried out.

In accordance with the landscape map of the Republic of Kazakhstan (RK) (Nacional'nyj atlas RK, 2006) for the territory of each WMB, the areas of physiographic areas that are common in the region under consideration are defined. The areas of drainage-free zones, which do not possess permanent watercourses, were calculated, the values of which are presented in table 2. As can be seen, the areas of drainage-free zones on the territory of Kazakhstan are 798865 km², including Central Kazakhstan steppe zone (118 597 km²), Central Kazakhstan semi-desert zone

(2141 km²), Central Kazakhstan desert zone (3690 km²), North-Pribalkash semi-desert zone (27650 km²), Betpakdala desert zone (159 425 km²), Arganatinsk desert zone (3303 km²), Priertis steppe zone (93305 km²), North Kazakhstan forest-steppe zone (43815 km²), North Kazakhstan steppe zone (25914 km²), Torgai forest-steppe zone (10,495 km²), Torgai steppe zone (118,508 km²), Torgai desert zone (120,149 km²), Tengiz semi-desert zone (1805 km²), Mangistau desert zone (70069 km²) and others.

The area values of the drainage-free zones were subtracted from the total area.

As a result, the equations for calculating the minimum required number of hydrological posts for the WMB is as follows:

for Aral-Syrdariya WMB:

$$N_{min}^{Aral-Syrdarya} = \frac{15703_{moun}}{1000_{moun}} + \frac{272746_{des} - 58341_{DF des}}{20000_{des}} = 26$$

for Balkash-Alakol WMB:

$$N_{min}^{Balkash-Alakol} = \frac{91542_{moun}}{1000_{moun}} + \frac{9857_{st} - 7926_{DF st}}{1875_{st}} + \frac{127586_{semi-des} - 27650_{DF semi-des}}{20000_{semi-des}} + \frac{159501_{des} - 20215_{DF des}}{20000_{des}} = 104$$

for Ertis WMB:

$$N_{min}^{Ertis} = \frac{91491_{moun}}{1000_{moun}} + \frac{218398_{CT} - 203976_{6C CT}}{1875_{CT}} + \frac{37644_{пныср}}{20000_{пныср}} = 101$$

for Zhaiyk-Caspian WMB:

$$N_{min}^{Zhaiyk-Caspian} = \frac{20454_{moun}}{1000_{moun}} + \frac{37564_{st}}{1875_{st}} + \frac{193750_{semi-des}}{20000_{semi-des}} + \frac{375345_{des} - 70069_{DF des}}{20000_{des}} = 65$$

for Esil WMB:

$$N_{min}^{Esil} = \frac{70609_{f-st} - 47097_{DF f-st}}{1875_{f-st}} + \frac{156035_{st} - 31411_{DF st}}{1875_{st}} + \frac{3946_{semi-des} - 3946_{DF semi-des}}{20000_{semi-des}} = 75$$

for Nura-Sarysu WMB:

$$N_{min}^{Nura-Sarysu} = \frac{88928_{st}}{1875_{st}} + \frac{118274_{semi-des}}{20000_{semi-des}} + \frac{70907_{des} - 43126_{DF des}}{20000_{des}} = 55$$

for Shu-Talas WMB:

$$N_{min}^{Shu-Talas} = \frac{28685_{moun}}{1000_{moun}} + \frac{131754_{des} - 103077_{DF des}}{20000_{des}} = 30$$

for Tobyl-Torgai WMB:

$$N_{min}^{Tobyl-Torgai} = \frac{6948_{moun}}{1000_{moun}} + \frac{28384_{f-st} - 7213_{DF f-st}}{1875_{f-st}} + \frac{160710_{st} - 113011_{st}}{1875_{st}} + \frac{99011_{semi-des}}{20000_{semi-des}} + \frac{61808_{des} - 61808_{DF des}}{20000_{des}} = 44$$

The total minimum number of hydrological posts for the whole country is determined by summing up the minimum required number of hydrological stations for each of the catchment areas:

$$N_{min}^{RK} = 26_{min}^{Aral-Syrdarya} + 104_{min}^{Balkash-Alakol} + 101_{min}^{Ertis} + 65_{min}^{Zhaiyk-Caspian} + 75_{min}^{Esil} + 55_{min}^{Nura-Sarysu} + 30_{min}^{Shu-Talas} + 44_{min}^{Tobyl-Torgai} = 500$$

CONCLUSION

Using the methodology for calculating the minimum number of hydrological observation network HSs recommended by WMO, formulas for calculating the number of observation stations for the RK territories by water basins were developed.

As a result of the calculation for Kazakhstan, the recommended minimum number of hydrological stations on rivers is 500 with 329 available. It is necessary to increase the number of hydrological observation stations on the rivers, for example, from 10 Shu-Talas to 44 Ertis. Also according to the obtained results, the Aral-Syrdarya basin corresponds to the calculated minimum number.

At the same time, the analysis conducted in (Razrabotka meropriyatij po optimizacii...,

2011) for 226 open and 285 closed stations, total number of 511, corresponding to such conditions as the observation period for each series of more than 20 years, the period of joint observations between each station and all other stations in the area of more than 7 years, indicates a significant improvement in the hydrological study of the territory of the Republic of Kazakhstan, with the appropriate number of observation stations of elements of the water regime of water bodies..

Major improvements are expected in the collection of annual water flow data, including the ability to use interpolation techniques for rivers that have previously remained unstudied.

Maximum runoff, minimum summer runoff and minimum winter runoff have large natural variability, in contrast to annual runoff, and in part

of the territory the errors in calculating these characteristics using interpolation will still be high.

Based on the above-mentioned, it can be concluded that the minimum number of 500 gauging stations is insufficient for a deeper assessment of the characteristics of the water regime of rivers and, in general, water resources of individual regions. The efficiency of water resources management increases with the quality of monitoring and the number of observation stations, which allows obtaining reliable information on changes in the elements of the water balance of the republic's water resources. In this connection, it is necessary to continue studies on optimization and improvement of the hydrological observation network corresponding to the plans of economic development of the Republic.

REFERENCES

- 1 Pechlivanidi I, Ickes L, Gute E. Assessing water observation network settings by hydro-geological sub-sampling of a large data set for Sweden // EGU23-5491.- 2023. - P.2. doi: 10.5194/egusphere-egu23-5491
- 2 Ramos M.-H., Cudennec C., Cullmann J., Dogulu N., Luterbacher J., Pechlivanidis, I., Salzberg A. WMO Hydrological Research Strategy 2022-2030: Operational Hydrology and Water Research Priorities, EGU General Assembly 2022, Vienna, Austria, 23–27 May 2022, EGU22-11837, <https://doi.org/10.5194/egusphere-egu22-11837>, 2022
- 3 Vision and Strategy for Hydrology and Associated Plan of Action and WMO Hydrological Research Strategy WMO-No. 1319. - 2023. - 57 p.
- 4 Fekete B., Andreu A., Argent R., Avellán T., Birkett Sh., Caucci S., Cohen S., Dube T., Kirschke S., Looser U. Observations, Monitoring and Data Management. – 2021. - P. 385-442. doi: 10.1007/978-3-030-60147-8_13
- 5 Lettenmaier D. Observations of the Global Water Cycle – Global Monitoring Networks. – 2006. doi: 10.1002/0470848944.HSA181
- 6 RGP «Kazgidromet». Elektronnyj resurs [kazhydromet.kz]
- 7 Glushkov V.G. Geografo-gidrologicheskij metod. Izv. GGI. - 1993. №57-58.
- 8 Otchet o NIR «Razrabotka meropriyatij po optimizacii gosudarstvennoj seti gidrologicheskikh nablyudenij respubliki Kazahstan». - 2011. FGBU «GGI» RF.
- 9 Guide to hydrological practices. Data acquisition and processing, analysis, forecasting and other applications. WHO. №168. - 1994. - 735 p.
- 10 Rukovodstvo po gidrologicheskoi praktike. Tom 1. Gidrologiya: ot izmerenij do gidrologicheskoi informacii. VMO-№ 168. -2020. - 317 p.
- 11 HeritageNet – Central Asia. Elektronnyj resurs. [http://www.heritagenet.unesco.kz/kz/content/information/geography_ru.htm]
- 12 Oficial'nyj sajt gosudarstvennyh organov RK. Elektronnyj resurs. [<https://www.gov.kz/article/19305?lang=ru>]
- 13 Oficial'nyj sajt Prezidenta RK. Elektronnyj resurs [https://www.akorda.kz/ru/republic_of_kazakhstan/kazakhstan]
- 14 Problemy v oblasti upravleniya vodnymi resursami i rekomendacii. Elektronnyj resurs. [https://unece.org/fileadmin/DAM/env/water/meetings/Water_Convention/2016/Projects_in_Central_Asia/Review_of_the_main_challenges_of_the_river_basin_principles_implementation_in_Kazakhstan_and_recommendations.pdf]
- 15 Nacional'nyj atlas RK. Tom 1. Almaty. - 2006. - 125 p.

РАСЧЕТ МИНИМАЛЬНОГО КОЛИЧЕСТВА ГИДРОЛОГИЧЕСКИХ ПУНКТОВ НАБЛЮДЕНИЯ СЕТИ ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКОЙ СЛУЖБЫ В РЕСПУБЛИКЕ КАЗАХСТАН

С.Б. Саиров* к.г.н., Д.К. Алимбаева, Н.Т. Серикбай, А.Ф. Елтай PhD, Тілләкәрім Т.А.

РГП «Казгидромет», Астана, Казахстан

E-mail: sairov_s@meteo.kz

В работе дана оценка количества гидрологических пунктов наблюдения с учетом минимальной плотности их размещения и в соответствии с рекомендациями ВМО. Территории Казахстана, отличаясь большим разнообразием климатических условий и природных зон, имеют разную обводненность и требуют отдельных норм при организации пунктов наблюдения в речных бассейнах, известных водохозяйственных регионов республики. Для каждого речного бассейна рассчитаны площади физико-географических районов, относящихся к разным природным зонам, в том числе бессточные области, которые составили более 700 тыс км². В результате расчета общее минимальное количество гидрологических постов для всей страны обосновано составило 500. Однако, с ростом экономики данное количество необходимо увеличивать в соответствии с разработанными принципами и территориальным районированием для более эффективного управления водными ресурсами.

Ключевые слова: гидрологическая сеть, водохозяйственный бассейн, ландшафт, наблюдения

ҚАЗАҚСТАН РЕСПУБЛИКАСЫНДАҒЫ ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЯЛЫҚ ҚЫЗМЕТ ЖЕЛІСІНІҢ ГИДРОЛОГИЯЛЫҚ БАҚЫЛАУ ПУНКТТЕРІНІҢ МИНИМАЛДЫ САНЫН ЕСЕПТЕУ

С.Б. Саиров* *з.э.к.*, **Д.К. Алимбаева**, **Н.Т. Серікбай**, **А.Ғ. Елтай** *PhD*, **Тілләкәрім Т.А.**

«Қазгидромет» РМК, Астана Қазақстан

E-mail: sairov_s@meteo.kz

Жұмыста гидрологиялық бақылау пункттерінің саны оларды орналастырудың минималды тығыздығын ескере отырып және ДМҰ ұсынымдарына сәйкес бағаланады. Климаттық жағдайлар мен табиғи аймақтардың алуан түрлілігімен ерекшеленетін Қазақстан аумақтарының сулануы әртүрлі және республиканың белгілі су шаруашылығы өңірлеріндегі өзен бассейндеріндегі бақылау пункттерін ұйымдастыру кезінде жекелеген нормаларды талап етеді. Әр өзен бассейні үшін әр түрлі табиғи аймақтарға жататын физикалық-географиялық аудандардың, соның ішінде 700 мың км²-ден астам ағынсыз аймақтардың аудандары есептелді. Есептеу нәтижесінде бүкіл ел үшін гидрологиялық бекеттердің жалпы минималды саны 500-ді құрады. Алайда, экономиканың өсуімен бұл мөлшерді су ресурстарын тиімді басқару үшін әзірленген қағидаттарға және аумақтық аудандастыруға сәйкес ұлғайту қажет.

Түйін сөздер: гидрологиялық желі, су шаруашылық бассейні, ландшафт, бақылау

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

Sairov Serik – Candidate of Geographical Sciences, First Deputy Director General of RSE "Kazhydromet", Astana, Mangilik El 11/1, sairov_s@meteo.kz

Alimbayeva Danara - Director General of RSE "Kazhydromet", Astana, Mangilik El 11/1, alimbayeva_d@meteo.kz

Serikbai Nurgalym – Head of the Department of Modeling of hydrological processes and hydrological calculations of the Research Center of RSE "Kazhydromet", Astana, Mangilik El 11/1, serikbai_n@meteo.kz

Yeltay Aizat – Head of the Department of Hydrometeorological research of the Caspian Sea of the Research Center of RSE "Kazhydromet", Astana, Mangilik El 11/1, eltai_a@meteo.kz

Tillakarim Tursyn - Head of the Climate Research Department of the Research Center of RSE "Kazhydromet", Astana, Mangilik El 11/1, tillakarim_t@meteo.kz

Саиров Серік Бияхметұлы - география ғылымдарының кандидаты, "Қазгидромет" РМК Бас директорының бірінші орынбасары, Астана, Мәңгілік Ел 11/1, sairov_s@meteo.kz

Әлімбаева Данара Қизатқызы - Генеральный директор РГП "Казгидромет", Астана, Мәңгілік Ел 11/1, alimbayeva_d@meteo.kz

Серікбай Нұрғалым Тәжібайұлы - "Қазгидромет" РМК Ғылыми-зерттеу орталығының гидрологиялық үдерістерді үлгілеу және гидрологиялық есептеулер басқарма бастығы, Астана, Мәңгілік Ел 11/1, serikbai_n@meteo.kz

Елтай Айзат Ғалиқызы - PhD, "Қазгидромет" РМК Ғылыми-зерттеу орталығының Каспий теңізін гидрометеорологиялық зерттеулер басқарма бастығы, Астана, Мәңгілік Ел 11/1, eltai_a@meteo.kz

Тілләкәрім Түрсын Адамбекқызы - "Қазгидромет" РМК Ғылыми-зерттеу орталығының Климаттық зерттеулер басқарма бастығы, Астана, Мәңгілік Ел 11/1, tillakarim_t@meteo.kz

Саиров Серик Бияхметович – кандидат географических наук, Первый заместитель Генерального директора РГП «Казгидромет», Астана, Мәңгілік Ел 11/1, sairov_s@meteo.kz

Алимбаева Данара Кизатовна – Генеральный директор РГП «Казгидромет», Астана, Мәңгілік Ел 11/1, alimbayeva_d@meteo.kz

Серікбай Нұрғалым Тәжібайұлы – Начальник управления моделирования гидрологических процессов и гидрологических расчётов Научно-исследовательского центра РГП «Казгидромет», Астана, Мәңгілік Ел 11/1, serikbai_n@meteo.kz

Елтай Айзат Ғалиқызы – PhD, Начальник управления гидрометеорологических исследований Каспийского моря Научно-исследовательского центра РГП «Казгидромет», Астана, Мәңгілік Ел 11/1, eltai_a@meteo.kz

Тілләкәрім Түрсын Адамбекқызы – Начальник управления климатических исследований Научно-исследовательского центра РГП «Казгидромет», Астана, Мәңгілік Ел 11/1, tillakarim_t@meteo.kz

Authors contribution/Авторлардың қосқан үлесі/Вклад авторов:

Sairov Serik – concept development, methodology development, conducting statistical analysis, preparing and editing the text, visualization;

Alimbayeva Danara - methodology development;

Serikbai Nurgalym – creating software, conducting statistical analysis, conducting a research, resources, preparing and editing the text, visualization;

Yeltay Aizat – resources, preparing and editing the text, visualization;

Tillakarim Tursyn - resources, preparing and editing the text, visualization.

Саиров Серік Бияхметұлы - тұжырымдаманы әзірлеу, әдістемені әзірлеу, статистикалық талдау жүргізу, мәтінді дайындау және өңдеу, көрнекілік;

Әлімбаева Данара Қизатқызы - әдістемені әзірлеу;

Серікбай Нұрғалым Тәжібайұлы - бағдарламалық жасақтама жасау, статистикалық талдау жүргізу, зерттеу жүргізу, ресурстар, мәтінді дайындау және өңдеу, көрнекілік;

Елтай Айзат Ғалиқызы - ресурстар, мәтінді дайындау және өңдеу, көрнекілік;

Тілләкәрім Түрсын Адамбекқызы - ресурстар, мәтінді дайындау және өңдеу, көрнекілік.

Саиров Серик Бияхметович – разработка концепции, разработка методологии, проведение статистического анализа, подготовка и редактирование текста, визуализация;

Алимбаева Данара Кизатовна – разработка методологии;

Серікбай Нұрғалым Тәжібайұлы – создание программного обеспечения, проведение статистического анализа, проведения исследования, ресурсы, подготовка и редактирование текста, визуализация;

Елтай Айзат Ғалиқызы – ресурсы, подготовка и редактирование текста, визуализация;

Тілләкәрім Түрсын Адамбекқызы – ресурсы, подготовка и редактирование текста, визуализация.

УДК 551.578.42 (46) + 551.321.15

МРНТИ 37.29.15

РАЗРАБОТКА ТЕРМОМЕТРИЧЕСКОЙ СКВАЖИНЫ НА ПЛОЩАДКЕ БЕЗ ЕСТЕСТВЕННОГО ПОКРОВА МЕТЕООБСЕРВАТОРИИ МГУ

В.Е. Гагарин *к.г.-м.н.*, А.В. Кошульников *д.г.-м.н.*, Д.М. Фролов*, Г.А. Ржаницын

МГУ имени М.В. Ломоносова, Москва, Россия

E-mail: denisfrolov@mail.ru

В работе представлены метеорологические особенности в Москве осенью 2023 года и первые результаты по бурению и обустройству термометрической скважины на открытой площадке без естественного покрова на метеообсерватории МГУ посредством отбора изучения керна из скважины. Даны сведения о влажности, теплопроводности и теплоёмкости грунта, а также о температуре замерзания грунта. Также даны сведения о термометрии грунта и величине глубины сезонного промерзания. Собраны и подготовлены все материалы для проведения теплофизического моделирования температуры грунта в компьютерной программе.

Ключевые слова: метеообсерватория МГУ, метеорологические особенности, бурение, изучение керна, влажность, теплоёмкость, теплопроводность, термометрия

Поступила: 14.11.23

DOI:10.54668/2789-6323-2024-112-1-47-53

ВВЕДЕНИЕ

По данным климатических сайтов (<https://climate.copernicus.eu/>, <https://public.wmo.int/en/media/news/>, <https://www.nasa.gov/>) сентябрь 2023 стал самым тёплым за всё время наблюдений вслед за самым тёплым августом, июлем и июнем 2023 г. В сентябре 2023 года средняя температура на Земле составила +16,58°C. Это на 0,87°C выше нормы по данным японского реанализа JRA-55 (https://jra.kishou.go.jp/JRA-55/index_en.html). По Северному полушарию аномалия составляет 0,99°C. Ещё никогда ранее в сентябре температура не превышала отметку +16°C. Ранее самым тёплым был сентябрь 2020 г. Тогда температура была +15,98°C, что значительно

ниже, чем сейчас. Такие же температурные аномалии отмечались и в Москве.

Отмечаемое изменение климата привело, в частности, к повышению его контрастности, а усиленное сокращение площади летнего морского льда в Арктике привело к увеличению испарения с поверхности воды и к более частым аномальным осадкам. Так, например, уже 26 октября 2023 г. в Московском регионе выпал первый снег. На следующий день уже образовался снежный покров высотой от 2 до 6 см, а на 28 октября толщина снежного покрова составляла от 3 см на юге области до 12 см на северо-востоке (рисунок 1).



Рис. 1. Толщина снежного покрова на 28 октября 2023 года в Москве и области

Такой снежный покров формируется в Москве обычно только в ноябре. Этот первый неустоявшийся снежный покров просуществовал 5 дней и 31 октября уже весь растаял. Однако и следующая за тем первая половина ноября 2023 г. была очень тёплой: Норма среднемесячной температуры ноября составляет $-0,5^{\circ}\text{C}$ (<http://www.pogodaiklimat.ru/>). Фактическая температура первой половины месяца по данным наблюдений составила $6,2^{\circ}\text{C}$ (<https://trp5.ru/>) с отклонением от нормы в $+6,7^{\circ}\text{C}$. Норма суммы осадков в ноябре 52 мм, однако в первой ее половине выпало 91% от нормы (48 мм). Самая высокая температура воздуха ($15,8^{\circ}\text{C}$) была наблюдаема 1 ноября, низкая ($0,1^{\circ}\text{C}$) 16 ноября. Таким образом, в Москве в первой половине ноября 2023 года была аномально теплая погода. Вообще, согласно новым климатическим нормам (1991...2020 гг.), устойчивый переход температуры воздуха через 0°C в сторону отрицательных значений происходит в Москве с 12 ноября. Однако в 2022 году такой переход произошел 15 ноября, а в 2023 году он произошёл 17 ноября. Так что в этом году приход метеозимы в Москву осенью 2023 года (то есть момент, когда происходит устойчивый переход среднесуточных температур через ноль в сторону отрицательных значений) произошёл только 17 ноября. 23...24 ноября начал интенсивно выпадать снег. На 24 ноября толщина снежного покрова в Москве

и Московской области составила 4...6 см. Это был уже установившийся снежный покров.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Влияние изменения климата на состояние многолетнемерзлых грунтов рассмотрено в работах (Kanevskiy et.al., 2021, Jan et.al, 2020, Cao et.al., 2020). Так, в зоне распространения многолетнемерзлых пород, площадь которых составляет порядка 60% территории суши РФ, происходило накопление и консервация углерода в почве. Однако, в связи с потеплением климата на территории распространения многолетнемерзлых пород происходит усиление процессов в почвах. В результате этого процесса становится более интенсивным выход углерода из почвы в атмосферу в виде эмиссии метана и CO_2 . Также в результате потепления климата и грунтов, и увеличения СТС нарушается несущая способность фундаментов зданий и сооружений, находящихся в зоне распространения многолетнемерзлых пород. Для оценки этих опасных явлений в Российской Федерации в последнее время создается Государственная система фоновый мониторинга состояния многолетней мерзлоты. На метеоплощадке МГУ была также пробурена экспериментальная термометрическая скважина, и опытная система температурного мониторинга грунтов действует уже некоторое время на площадке



Рис. 2. Бурение скважины на открытой площадке без естественного покрова на метеообсерватории МГУ

время на площадке метеообсерватории МГУ (Фролов и др., 2023). Однако в свете описанных быстро идущих климатических изменений осенью 2023 года усилиями сотрудников и студентов кафедры криолитологии и гляциологии и лаборатории снежных лавин и селей географического факультета МГУ было начато бурение скважины на открытой площадке без естественного (снежного и растительного) покрова на метеообсерватории МГУ (рисунок 2).

Бурение осуществлялось буровой

системой производства российского производителя бурового оборудования «Завод им. Воровского». При бурении был произведён отбор грунтового керна, который был изучен в лабораторных условиях.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЯ

При бурении скважины на открытой площадке без снежного и растительного покрова на метеообсерватории МГУ был отобран и описан грунтовой керн (Рисунок 3).



Рис. 3. Грунтовой керн из скважины на открытой площадке без естественного покрова на метеообсерватории МГУ

Извлеченный при бурении грунтовой керн был изучен в лабораторных условиях. Основной слагающей породой являлся суглинок. Были определены массовая влажность (методом взвешивания исходных

и высушенных образцов), а также теплопроводность и теплоёмкость слагающих грунтовых пород при помощи прибор KD2Pro (<https://decagon.ru/environment/kd2pro/>). Результаты представлены на рисунке 4.

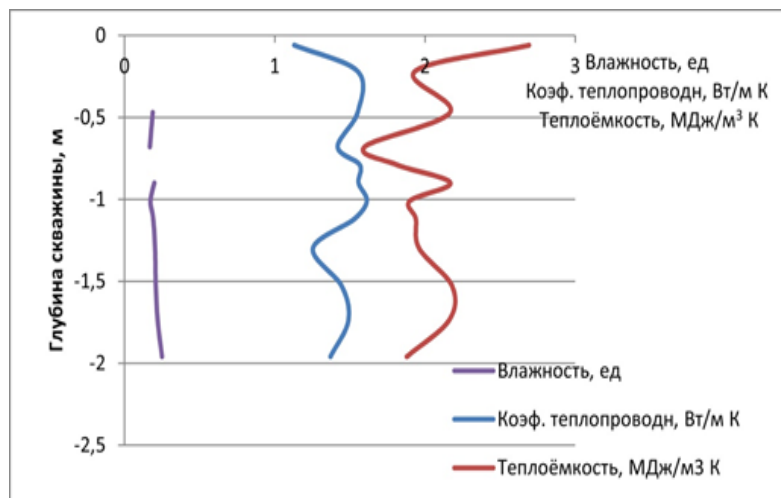


Рис. 4. Влажность, теплопроводность и теплоёмкость слагающих грунтовых пород керна из скважины на открытой площадке без естественного покрова на метеообсерватории МГУ

На графике видно, что массовая влажность грунта ядра составляла порядка 17...20%. Коэффициент теплопроводности составлял 1,2...1,5 Вт/м К и теплоёмкость слагающих грунтовых пород составляла по-

рядка 2 МДж/м³К и, в общем-то, достаточно умеренно менялись по глубине. Также для отобранных образцов грунта из пробуренной скважины была определена точка замерзания, которая оказалась равной около -2°C (рисунок 5).

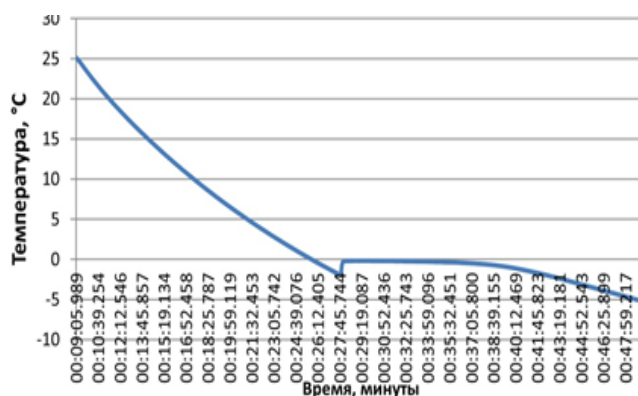


Рис. 5. Температура замерзания грунтовых пород ядра из скважины на открытой площадке без естественного покрова на метеообсерватории МГУ

Также на открытой площадке ринг температуры грунта посредством без естественного покрова на метеообсерватории МГУ производился мониторинг температуры грунта посредством вытяжных термометров. Результаты его многолетнего усреднения приведены на рисунке 6.



Рис. 6. Годовое изменение температуры грунта на открытой площадке без естественного покрова на метеообсерватории МГУ (многолетнее усреднение)

На рисунке 6 видно, что глубина сезонного промерзания на открытой площадке без естественного (снежного и растительного) покрова на метеообсерватории МГУ составляет порядка 30 см.

Занятия со студентами по изучению снега на наблюдательной площадке метеорологической обсерватории МГУ были проведены в феврале. Была подготовлена 20-метровая снежная траншея. Была изучена пространственная неоднородность строения снежной толщи в траншее, в том числе и при помощи измерений прибором микротвердомером snow micro rep (рисунок 7).

Были проведены температурные на-

блюдения в снежной толще. Так, в частности установлено, что волна холода в снежном покрове распространялась от пика холода на поверхности (-10°C в ранние утренние часы) до глубины в 30 см ближе к полудню (приблизительно за 5...6 часов).

Зимний сезон 2023/24 г в Москве отличался повышенным снегонакоплением. Снежный покров установился в конце ноября и накапливался в первой половине декабря и таял во второй во время оттепели. В январе и феврале снегонакопление устойчиво росло и ко второй половине февраля на метеостанции ВДНХ стало более 60 см снега, а на метеообсерватории МГУ около

70 см. Это повышенные значения по сравнению со средними многолетними значениями.

Во второй половине февраля (на момент максимума снегонакопления) снежная толща состояла из 6...7 слоев свежего, осевшего и метаморфизованного снега с наличием ледяных корок. Это было отмечено в работе студентов.

Подобные наблюдения за снежным покровом на наблюдательной площадке метеообсерватории МГУ с участием студентов ведутся сотрудниками географического факультета уже достаточно долгое время. Это позволяет наблюдать и устанавливать закономерности пространственно-временной неоднородности строения и свойств снежной толщи.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Выполненные на экспериментальной площадке без естественного (снежного и растительного) покрова метеообсерватории МГУ осенью 2023 года работы по подготовке и бурению термометрической скважины, а также отбору и последующему изучению и описанию отобранного грунтового керна позволили достичь некоторых результатов. Были определены значения влажности, теплопроводности и теплоёмкости грунта, а также о температуре замерзания слагающего грунта. Также даны сведения о термометрии грунта и величине глубины сезонного промерзания. Таким образом, были собраны и подготовлены все материалы для проведения полномасштабного теплофизического моделирования температуры грунта в компьютерной программе как для площадки с естественным (снежным и растительным покровом), так и для площадки без него и произвести их сравнение.

Работа выполнена в соответствии с государственной темой «Эволюция криосферы при изменении климата и антропогенном воздействии» (121051100164-0), «Опасность и риск природных процессов и явлений» (121051300175-4).

ММУ МЕТЕОБСЕРВАТОРИЯСЫНЫҢ ҚАР ЖӘНЕ ӨСІМДІК ЖАМЫЛҒЫСЫ ЖОҚ АЛАҢДА ТЕРМОМЕТРИЯЛЫҚ ҰҢҒЫМАНЫ ӘЗІРЛЕУ

В.Е. Гагарин *г.-м.ғ.к.*, **А.В. Кошурников** *г.-м.ғ.д.*, **Д.М. Фролов***, **Г.А. Ржаницын**

Ломоносов ағындағы Мәскеу Мемлекеттік Университеті, Мәскеу қ., Ресей
E-mail: denisfrolov@mail.ru

Жұмыста 2023 жылдың күзіндегі Мәскеудегі метеорологиялық ерекшеліктер және Мәскеу мемлекеттік университетінің метеорологиялық обсерваториясында ұңғымадан керн үлгілерін таңдау арқылы қар мен өсімдіктері жоқ ашық аумақта

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. The Copernicus Climate Change Service. <https://climate.copernicus.eu/>. 05.11.2023.
2. WMO. <https://public.wmo.int/en>. 15.10.2023.
3. The National Aeronautics and Space Administration. <https://www.nasa.gov/>. 10.10.2023.
4. JRA project. https://jra.kishou.go.jp/JRA-55/index_en.html. 15.10.2023.
5. Погода и климат. <http://www.pogodaiklimat.ru/>. 05.11.2023.
6. Расписание погоды. <https://rp5.ru/>. 05.11.2023.
7. Kanevskiy M., Shur Y., Walker D.A., Jorgenson T., Raynolds M.K. The shifting mosaic of ice-wedge degradation and stabilization in response to infrastructure and climate change, Prudhoe Bay Oilfield, Alaska, USA // Arctic Science 8(2). - 2021. - P. 498-530. <https://doi.org/10.1139/as-2021-0024>
8. Jan A., Painter S.L. Permafrost thermal conditions are sensitive to shifts in snow timing // Environ. Res. Lett. 15, 084026. - 2020. doi: 10.1088/1748-9326/ab8ec4
9. Cao B., Gruber S., Zheng D. The ERA5-Land soil temperature bias in permafrost regions // The Cryosphere 14, 2581-2595. - 2020. doi: 10.5194/tc-14-2581-2020
10. Фролов Д.М., Селиверстов Ю.Г., Сократов С.А., Кошурников А.В., Гагарин В.Е., Николаева Е.С.. Криологические исследование снежной толщи и грунта на площадке МО МГУ зимой 2022/2023 // Гидрометеорология и экология, (1):6-18/ - 2023.
11. Прибор KD2 Pro. <https://decagon.ru/environment/kd2pro/>. 25.10.2023.

REFERENCES

1. The Copernicus Climate Change Service. <https://climate.copernicus.eu/>. 05.11.2023.
2. WMO. <https://public.wmo.int/en>. 15.10.2023.
3. The National Aeronautics and Space Administration. <https://www.nasa.gov/>. 10.10.2023.
4. JRA project. https://jra.kishou.go.jp/JRA-55/index_en.html. 15.10.2023.
5. Pogoda i klimat. <http://www.pogodaiklimat.ru/>. 05.11.2023.
6. Raspisanie pogody. <https://rp5.ru/>. 05.11.2023.
7. Kanevskiy M., Shur Y., Walker D.A., Jorgenson T., Raynolds M.K. The shifting mosaic of ice-wedge degradation and stabilization in response to infrastructure and climate change, Prudhoe Bay Oilfield, Alaska, USA // Arctic Science 8(2). - 2021. - P. 498-530. <https://doi.org/10.1139/as-2021-0024>
8. Jan A., Painter S.L. Permafrost thermal conditions are sensitive to shifts in snow timing // Environ. Res. Lett. 15, 084026. - 2020. doi: 10.1088/1748-9326/ab8ec4
9. Cao B., Gruber S., Zheng D. The ERA5-Land soil temperature bias in permafrost regions // The Cryosphere 14, 2581-2595. - 2020. doi: 10.5194/tc-14-2581-2020
10. D.M. Frolov, Yu.G. Seliverstov, S.A. Sokratov, A.V. Koshurnikov, V.E. Gagarin, E.S. Nikolaeva. Kriologicheskie issledovanie snezhnoi tolshchi i grunta na ploshchadke MO MGU zimoi 2022/2023. Gidrometeorologiya i ekologiya, Almaty, (1):6-18, 2023.
11. Pribor KD2 Pro. <https://decagon.ru/environment/kd2pro/>. 25.10.2023.

термометриялық ұңғыманы бұрғылау мен салудың алғашқы нәтижелері берілген. Топырақтың ылғалдылығы, жылу өткізгіштігі және жылу сыйымдылығы, сондай-ақ топырақтың қату температурасы туралы ақпарат беріледі. Сондай-ақ топырақ термометриясы және маусымдық мұздату тереңдігі туралы ақпарат беріледі. Топырақ температурасын компьютерлік бағдарламада термофизикалық модельдеуге арналған барлық материалдар жиналып, дайындалды.

Түйін сөздер: ММУ метеорологиялық обсерваториясы, метеорологиялық ерекшеліктер, бұрғылау, керндік зерттеу, ылғалдылық, жылу сыйымдылығы, жылу өткізгіштік, термометрия

DEVELOPMENT OF A THERMOMETRIC WELL ON A SITE WITHOUT SNOW AND VEGETATION COVER OF THE MSU METEOROLOGICAL OBSERVATORY

V. Gagarin candidate of geological and mineralogical sciences, **A. Koshurnikov** doctor of geological and mineralogical sciences, **D. Frolov***, **G. Rzhanitsyn**

Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russia

E-mail: denisfrolov@mail.ru

The paper presents meteorological features in Moscow in the fall of 2023 and the first results of drilling and constructing a thermometric well in an open area without snow and vegetation cover at the Moscow State University meteorological observatory through the extraction of core samples from the well. Information is given on the moisture content, thermal conductivity and heat capacity of the soil, as well as the freezing temperature of the soil. Information is also provided on soil thermometry and the depth of seasonal freezing. All materials for thermophysical modeling of soil temperature have been collected and prepared.

Key words: meteorological observatory of MSU, meteorological features, drilling, core study, moisture content, heat capacity, thermal conductivity, thermometry

Сведения об авторах/ Авторлар туралы мәліметтері/ About the authors

Кошурников Андрей Викторович - д.г.-м.н., в.н.с., МГУ имени М.В. Ломоносова, Россия, Москва, Ленинские горы, 1, koshurnikov@msu-geophysics.ru

Гагарин Владимир Евгеньевич - к.г.-м.н., с.н.с., МГУ имени М.В. Ломоносова, Россия, Москва, Ленинские горы, 1, gagar88@yandex.ru

Фролов Денис Максимович - н.с., МГУ имени М.В. Ломоносова, Россия, Москва, Ленинские горы, 1, denisfrolov@mail.ru

Ржаницын Герман Анатольевич - инженер, МГУ имени М.В. Ломоносова, Россия, Москва, Ленинские горы, 1, german-r@mail.ru

Кошурников Андрей Викторович - геология-минералогия ғылымдарының докторы, жетекші ғылыми қызметкер., М. Ломоносов атындағы Мәскеу Мемлекеттік Университеті, Ресей, Мәскеу қ., Ленинские горы, 1, koshurnikov@msu-geophysics.ru

Гагарин Владимир Евгеньевич - геология-минералогия ғылымдарының кандидаты, аға ғылыми қызметкер, М. Ломоносов атындағы Мәскеу Мемлекеттік Университеті, Ресей, Мәскеу қ., Ленинские горы, gagar88@yandex.ru

Фролов Денис Максимович - ғылыми қызметкер, М. Ломоносов атындағы Мәскеу Мемлекеттік Университеті, Ресей, Мәскеу қ., Ленинские горы, 1, denisfrolov@mail.ru

Ржаницын Герман Анатольевич - инженер, М. Ломоносов атындағы Мәскеу Мемлекеттік Университеті, Ресей, Мәскеу қ., Ленинские горы, 1, german-r@mail.ru

Koshurnikov Andrey - Doctor of Geological and Mineralogical Sciences, leading researcher., M. Lomonosov Moscow State University, Russia, Moscow, Leninskie Gory, 1, koshurnikov@msu-geophysics.ru

Gagarin Vladimir - Candidate of Geological and Mineralogical Sciences, senior researcher, M. Lomonosov Moscow State University, Russia, Moscow, Leninskie Gory, 1, gagar88@yandex.ru

Frolov Denis - researcher, M. Lomonosov Moscow State University, Russia, Moscow, Leninskie Gory, 1, denisfrolov@mail.ru

Rzhanitsyn German - engineer, M. Lomonosov Moscow State University, Russia, Moscow, Leninskie Gory, 1, german-r@mail.ru

Вклад авторов/ Авторлардың қосқан үлесі/ Authors' contribution

Кошурников Андрей Викторович - разработка концепции

Гагарин Владимир Евгеньевич - разработка концепции, разработка методологии, проведение статистического анализа

Фролов Денис Максимович - проведение статистического анализа, подготовка и редактирование текста, визуализация

Ржаницын Герман Анатольевич - проведение исследования

Кошурников Андрей Викторович - тұжырымдаманы әзірлеу

Гагарин Владимир Евгеньевич - тұжырымдаманы әзірлеу, әдістемені әзірлеу, статистикалық талдау жүргізу

Фролов Денис Максимович - статистикалық талдау жүргізу, мәтінді дайындау және өңдеу, көрнекілік

Ржаницын Герман Анатольевич - зерттеу жүргізу

Koshurnikov Andrey - concept development

Gagarin Vladimir - concept development, methodology development, conducting statistical analysis

Frolov Denis - conducting statistical analysis, preparing and editing the text, visualization

Rzhanitsyn German - conducting a research

ДИНАМИКА КЛИМАТИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ В СЕВЕРО-ЗАПАДНОМ РЕГИОНЕ КАЗАХСТАНА**А.В. Чередниченко¹ д.г.н., профессор, В.С. Чередниченко² д.г.н., профессор, I. Б. Әшім^{2*}**¹ АО «Жасыл Даму», Алматы, Казахстан² Казахский национальный университет им. аль-Фараби, Алматы, Казахстан

E-mail: inkar-ashim@mail.ru

Оценён климатический потенциал северо-запада Республики Казахстан и его динамика на период до 2050 г. в связи с изменением климата. Для анализа использованы данные четырёх метеорологических станций Актюбинской и одной – Западноказахстанской области. В ходе работы нами проанализирован временной ход осадков и температуры, а также смоделированы изменения этих метеопараметров в течение последующих 30 лет. Для региона характерны высокие летние и достаточно низкие зимние температуры. Количество осадков, 180...295 мм/год, недостаточно для устойчивого богарного земледелия, вместе с тем при наличии полива возможно успешное выращивание широкого диапазона сельскохозяйственных культур. Территория региона используется в основном под пастбища. Смоделированные нами ожидаемые изменения температуры и осадков по десятилетиям на период до 2050 г. показывают, что следует ожидать дальнейшего роста температуры примерно на 0,4 °С за каждое десятилетие и некоторого роста количества осадков, на 2...4 мм/десятилетие, что не компенсирует, однако, расходы на испарение. Полученные данные имеют важное значение для развития сельскохозяйственной отрасли, а также для разработки мер адаптации к климатическим изменениям.

Ключевые слова: северо-запад Казахстана, климат, динамика температуры, осадки, динамика осадков, изменение климата

Поступила: 11.12.23

DOI: 10.54668/2789-6323-2024-112-1-54-64

ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время проблема изменения климата является одной из самых актуальных, поскольку это отражается практически на всех сферах экономики и жизни самого человека. Климатические изменения наблюдаются и на северо-западе Казахстана по последним отчетам Казгидромета, которой посвящено данное исследование.

По данным Казгидромета глобальные климатические изменения привели к массовому падежу скота и высыханию сельскохозяйственных угодий в ряде областей Казахстана.

Казахстан - огромная страна в Центральной Азии с обширными территориями - ведет борьбу с негативными

последствиями глобального потепления. Невиданная ранее засуха наблюдается в южных и западных областях страны. Температура воздуха в Казахстане в среднем повышается на 0,3 градуса каждые 10 лет.

Сильная жара, при которой столбики термометра в этом году превысили средние показатели, особенно сказалась на растениеводстве и животноводстве.

Есть мнение, что изменение климата происходит в результате деятельности человека (Груза Г.В., Ранькова Э.Я., 2004). Использование нами ископаемых видов топлива, а также вырубка лесов, распашка огромных территорий под сельскохозяйственные культуры привели к значительному увеличению содержания в земной атмосфере углекислого газа (CO₂),

а также других парниковых газов. Эти парниковые газы создают эффект удержания тепла в земной атмосфере, не позволяя ему уходить в космическое пространство. Другие авторы, однако, на основе изучения кернов льда Антарктиды указывают на наличие естественных циклов в жизни Земли и её климата и показывают, что сейчас мы находимся почти у пика цикла в 120 тысяч лет, после чего начнётся довольно резкое похолодание (Petit, J.R., 1999). И эти данные хорошо согласуются с циклами Миланковича (Большаков В.А., 1999), которые он рассчитал на основе астрономических факторов, влияющих на движение Земли как планеты. Отсюда следует, что наши старания остановить глобальное потепление тщетны и надо приспосабливаться к ним. В то же время следует признать, что снижение выбросов в окружающую среду существенно способствуют её очищению, улучшая условия проживания человека.

Северо-западный регион Казахстана является уникальным объектом исследования с точки зрения своего климатического потенциала. С этой точки зрения, важно понимать влияние климатических факторов на экосистемы, сельское хозяйство, и общую устойчивость региона к изменениям климата. В условиях глобальных климатических изменений, внимание к региональным особенностям становится неотъемлемой частью разработки эффективных стратегий адаптации и смягчения негативных последствий.

Научные исследования (Чекалин С.Г., 2012), направленные на оценку климатического потенциала северо-западного Казахстана, предоставляют ценную информацию для разработки устойчивых методов землепользования, водохозяйственной практики и стратегий борьбы с климатическими аномалиями. В данной статье мы проведем обзор текущих знаний о климатических характеристиках региона, анализируя их влияние на природные и человеческие системы. Кроме того, мы рассмотрим возможности улучшения управления ресурсами и реализации мер по адаптации к изменениям климата в северо-западном Казахстане. Результаты наших исследований способствуют более глубокому пониманию климатического потенциала данного региона и разработке действенных мероприятий по устойчивому

развитию.

Учет климатических условий и оценка их изменений необходимы для определения возможных потенциальных последствий и принятия своевременных и адекватных мер адаптации, в конечном итоге, для обеспечения устойчивого развития Казахстана.

Цель данного исследования заключалась в том, чтобы оценить наблюдаемые и прогнозные изменения температуры воздуха и в северо-западном регионе Казахстан, исследованы экстремумы, с целью в перспективе оценить влияние происходящих изменения на хозяйственную деятельность в регионе.

Важность данного исследования обусловлена не только академическим интересом, но и практической значимостью результатов. Понимание климатических изменений в западном Казахстане имеет критическое значение для разработки стратегий адаптации и митигации, направленных на устойчивое развитие региона в условиях изменяющейся климатической обстановки.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Характерной особенностью региона является наличие восточнее него Южного Урала, продолжением которого являются Мугалжары. Актюбинск расположен всего в 50...60 км западнее гор. Он расположен в понижении между обширными возвышенностями Подуральского плато (к западу) и Мугалжарских гор (к востоку). Местность относится к равнинному сухостепному району Общего Сырта и Подуральского плато. Рельеф – обширная равнина с редкими отдельными невысокими холмами. Абсолютная высота 290 м, относительные высоты 15...25 м. К западу и юго-западу от Актюбинска местность постепенно понижается (рис. 1).

Город Уральск расположен на максимальном удалении от гор, на равнине, к северу от Прикаспийской низменности, которая в данном районе несколько повышаясь (до 50 м над уровнем моря) переходит в Общий Сырт на севере и Подуральское плато – на западе. Район месторасположения станции богат водными объектами.

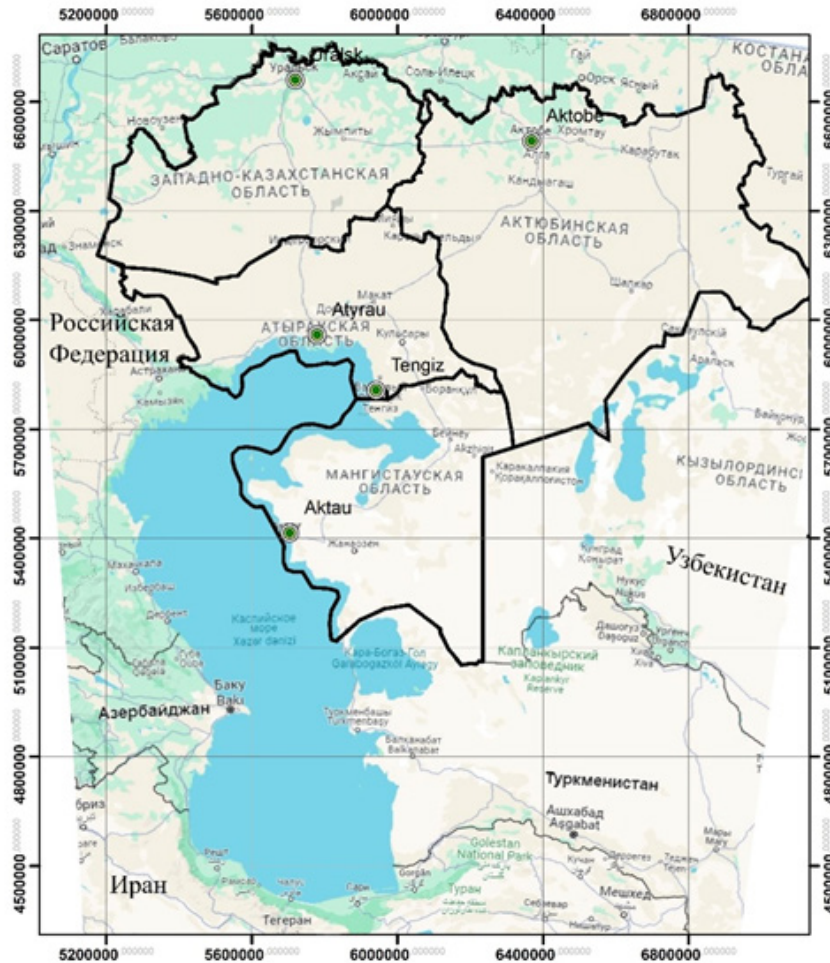


Рис. 1. Расположение исследуемого региона

Станция Мугалжар расположена южнее Актюбинска на предгорной возвышенной равнине в зоне полупустынь. В 3 км к западу относительно станции расположены Мугалжарские горы, являющиеся продолжением Южного Урала. Горы состоят из двух хребтов, ориентированных с севера на юг. Абсолютная высота 600 м, относительная 100-150 м. Западный хребет постепенно суживается к северу и сглаживается. Восточный хребет на севере выражен резко. Между ними местность имеет характер слабо волнистой равнины, шириной 15...20 км.

Поселок Иргиз расположен на юге Тургайской столовой страны, в долине реки Иргиз, на правом возвышенном берегу. Абсолютная высота 220 м, относительные высоты 60...80 м. Поперечный профиль долины с широкими пологими склонами равен 1,5...2,0 км. Продольный профиль долины в радиусе 5 км от станции извилистый. Долина ориентирована с северо-запада на юго-запад.

Удаление метеорологической станции от выхода из долины 600 м.

Рельеф – равнина в зоне полупустынь, местами встречаются обширные пространства, покрытые песками и барханами, в 2 км на восток местность переходит в ровную степь. На юге и юго-западе, в 10 км местность немного повышается, переходя в более высокие холмы.

Северо-Западный Казахстан представляет собой регион с уникальными географическими особенностями. В этом районе преобладают степные ландшафты, характеризующиеся широкими открытыми пространствами и травяным покровом. Эти степи являются важными для сельского хозяйства и ведения скотоводства.

Особое внимание заслуживает река Урал, которая протекает через северные области региона, обеспечивая водоснабжение и важные природные экосистемы. Северо-Западный Казахстан также оказывается под влиянием Уральского хребта, который

протягивается вдоль северной границы региона.

Климатические условия в северных областях Казахстана подвержены суровым зимами, что оказывает влияние на сельское хозяйство и повседневную жизнь местного населения. Однако эти территории также богаты природными ресурсами, такими как леса и богатые рыбой водоемы, предоставляя важные возможности для регионального развития.

Важным аспектом северо-западных регионов Казахстана является также их роль в сельском хозяйстве и производстве продовольствия для страны. Здесь развивается сельскохозяйственный сектор, а также добывающие отрасли, включая добычу полезных ископаемых.

Стоит отметить, что северо-западная часть нашей страны наиболее подвержена изменениям климата, находясь в переходной зоне, на стыке разных циркуляционных систем (Чередниченко А.В., 2015).

Для решения поставленной задачи мы использовали данные наблюдений перечисленных выше метеостанций Актобе, Иргиз, Мугалжар и Уральск за период с 1930 г. по 2020 г. Также использовались данные из Климатсправочника (Казгидромет, 2005). Данные о годовом распределении температуры и осадков были взяты на сайте [pogodaiklimat \(http://www.pogodaiklimat.ru/history.php\)](http://www.pogodaiklimat.ru/history.php).

Из данных источников получены временные ряды температуры и осадков и построены графики многолетнего хода метеорологических величин за 90 лет.

В ходе работы изучили временной ряд температуры и осадков за 90 лет. Для всех станций рассмотрены среднегодовые и среднемесячные показатели температуры воздуха, среднегодовые показатели осадков. Также проанализировали климатические данные: максимумы и минимумы температур за весь период наблюдений.

При анализе использовались статистические методы, в частности гармонический анализ и полиномиальная аппроксимация.

В ходе оценки будущих изменений климата использовался сценарий RCP 4.5. Сценарий RCP 4.5 (Representative Concentration Pathway 4.5), представляющий собой один из четырех сценариев, разработанных для использования в исследованиях, связанных с оценкой воздействия антропогенных выбросов парни-

ковых газов на климат (IPCC Sixth Assessment Report (2021), Representative Concentration Pathways (RCPs)). В сценарии RCP 4.5 предполагается, что меры по сокращению выбросов парниковых газов будут предприняты, что приведет к снижению темпа роста этих выбросов. К концу века уровень CO₂ эквивалента достигнет 538 ppm (частиц на миллион), что делает его одним из относительно умеренных сценариев.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

В ходе работы были проанализированы среднегодовые и сезонные изменения с использованием среднемесячных характеристик. Временной ход среднегодовой температуры на станциях Актобе, Иргиз, Мугалжар, Уральск приведен на рисунке 2.

Можно видеть, что для всех станций характерен рост температуры за последние 80-90 лет. Рост этот составляет около полутора градусов, что хорошо согласуется с исследованиями (1,3 и др.). Вместе с тем, в шестидесятые – семидесятые годы на станции Иргиз хорошо просматривается климатическое похолодание. Несколько хуже оно просматривается в Актобинске и совсем слабо в Мугалжаре и Уральске.

Рассмотрим далее, какой ход температуры на этих же станциях в срединные месяцы сезонов. На рис. 3 представлен ход температуры в январе (рис. 3).

Можно видеть, что в январе для всех станций региона характерен рост температуры в целом за выбранный промежуток времени и он на всех станциях выше, чем рост среднегодовых температур. Соответственно коэффициенты наклона линии аппроксимации годовых температур не превышают 0,30; в то время как для январских температур коэффициенты наклона составляют 0,35...0,40 (см. рис.2 и 3). В то же время на фоне линейного роста температуры хорошо заметны её рост в пятидесятые и девяностые годы, и заметное понижение в семидесятые годы. Колебания температуры не превышали один градус.

Рассмотрим далее временной ход температуры в июле (рис. 4).

В июле температура в целом также растёт, однако её рост минимален по сравнению с другими сезонами, всего 0,009...0,012 °С. На фоне отмеченного небольшого общего роста хорошо прослеживаются два

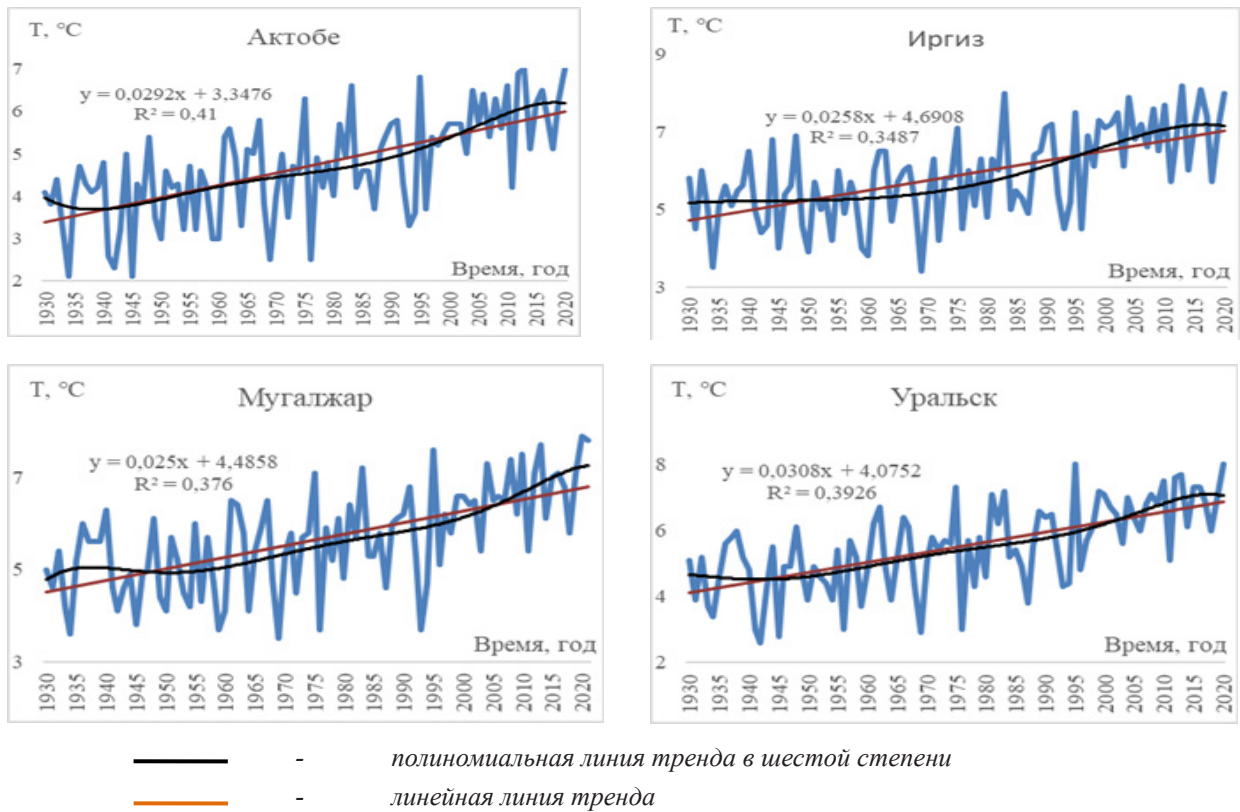


Рис.2. Временной ход среднегодовой температуры на станциях Западного Казахстана, аппроксимированные полиномом шестой степени

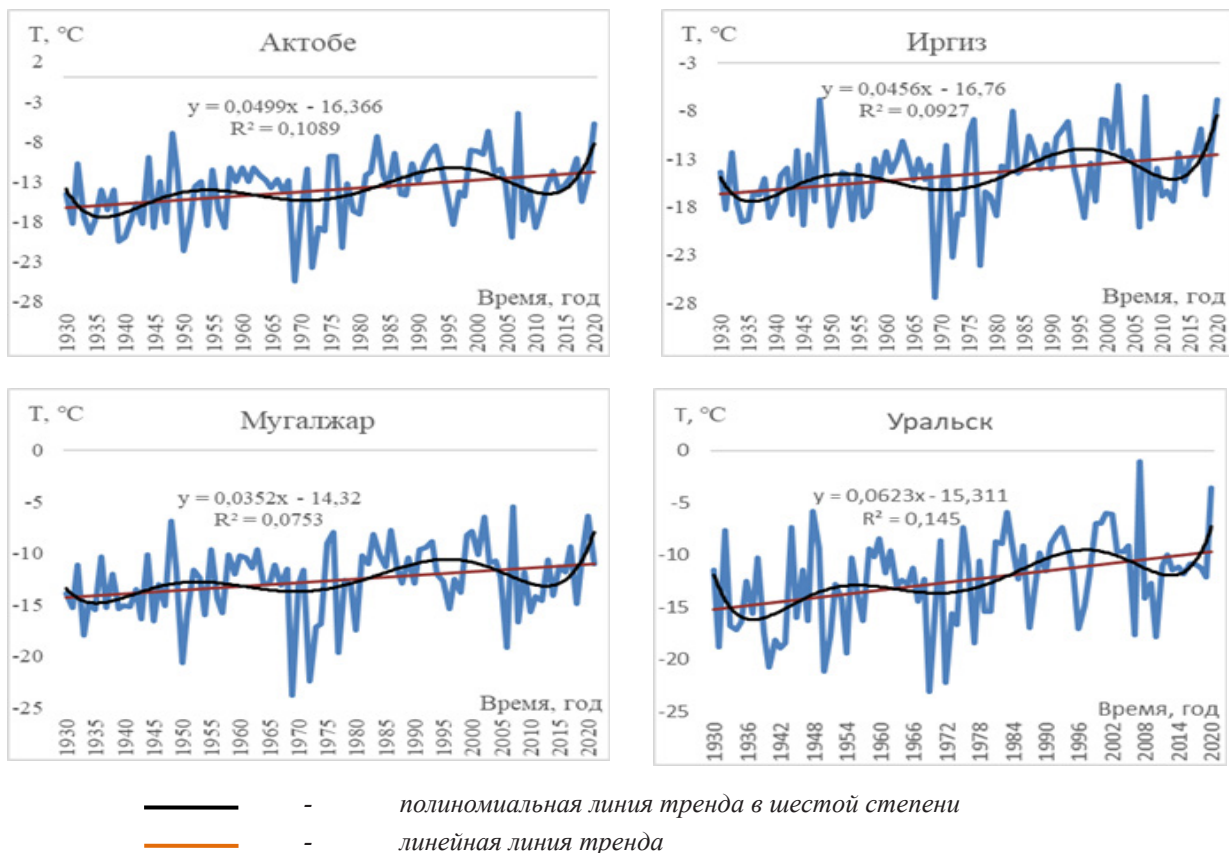


Рис. 3. Временной ход среднемесячной температуры на станциях за январь, аппроксимированный полиномом шестой степени

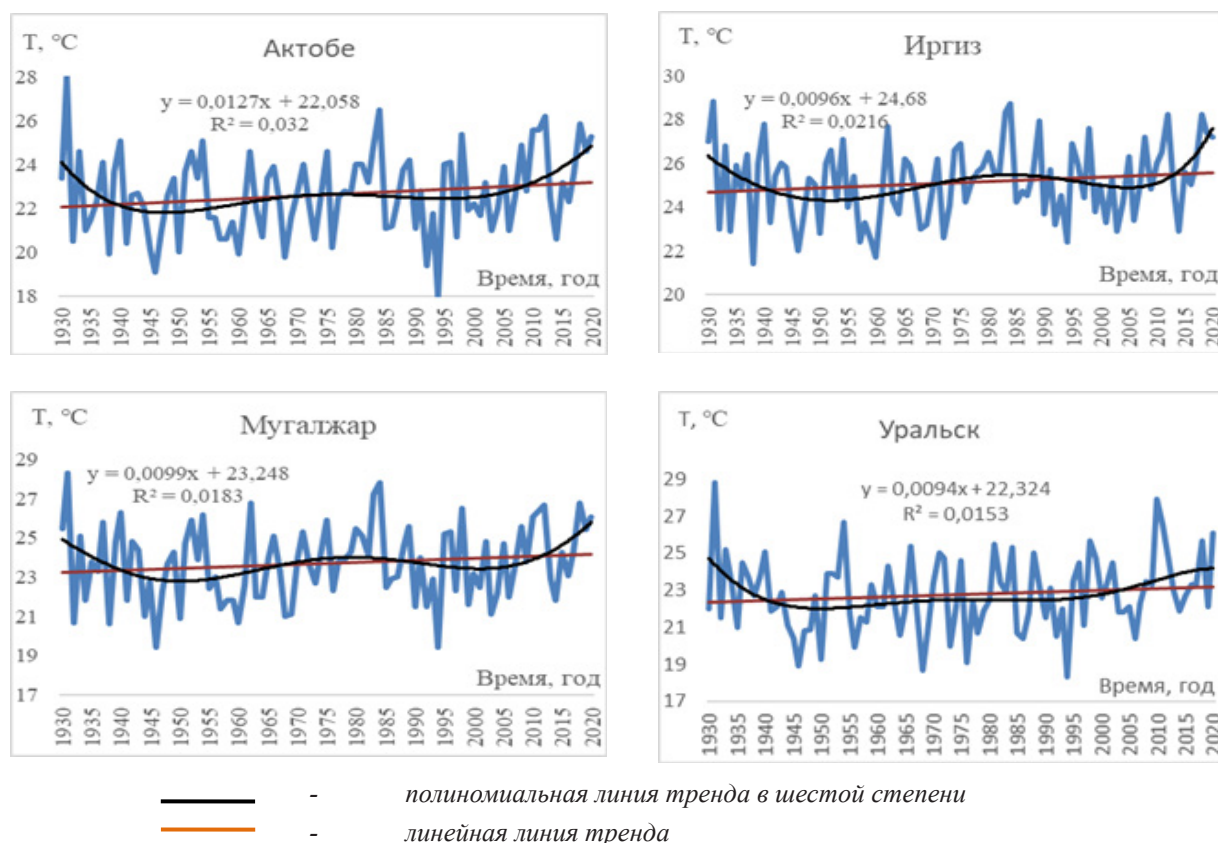


Рис. 4. Временной ход среднемесячной температуры на станциях за июль, аппроксимированный полиномом шестой степени

понижения температуры в пятидесятые и девяностые годы, и рост в семидесятые годы. Отклонения от линейного тренда не превышали один градус. Заметим, что в январе в эти периоды температура менялась в противоположном направлении.

Рассмотрим далее динамику температуры в переходные сезоны года.

В апреле, как и в другие сезоны, имеет место общий рост температуры со скоростью, близкой к зимней. На фоне этого роста, как и в июле, наблюдаются два минимума температуры в ранние пятидесятые и девяностые годы, и максимум в семидесятые.

В октябре, тоже на фоне общего роста температуры, но с градиентами около 0,2 °С, т.е. большими, чем летом, но меньшими, чем зимой и осенью. Имеют место два понижения температуры в пятидесятые и девяностые годы, и рост в семидесятые. Колебания температуры, как и в другие сезоны, составляли примерно один градус. Следовательно, в пределах рассмотренного временного промежутка на фоне общего роста температуры в январе и октябре

они отклонялись от линии аппроксимации синхронно, а в июле и апреле в противофазе.

Рассмотрим далее по данным станции Актобе динамику экстремальных температур (табл.1).

Из таблицы 1 можно заметить, что абсолютный минимум температур в разные месяцы наблюдался с 1909 по 2002 год. Абсолютный максимум температур наблюдался чаще в начале 21 века.

По временным рядам температуры на обеих станциях (Актобе, Ирғиз, Мугалжар, Уральск) наблюдается общее повышение температуры. За данный промежуток времени с 1930 по 2020 год (90 лет) средняя годовая температура повысилась от 2,2 до 2,4 °С, о чем свидетельствует линейный тренд. На станции Актобе и Уральск повышение температуры более выражено, чем на станции Ирғиз и Мугалжар.

Сравнив графики по четырем станциям за 2 сезона стоит отметить, что в целом в регионе наблюдается увеличение температуры воздуха и эти изменения наиболее выражены зимой (январь),

Таблица 1

Климатические данные по температуре воздуха на станции Актобе (°C)

Месяц	Средняя	Абсолют. минимум	Средний многолетний минимум	Средний многолетний максимум	Абсолют. максимум
январь	-12.5	-48.5 (1940)	-16.7	-8.4	4.5 (1912)
февраль	-11.7	-45.0 (1917)	-16.2	-6.8	5.5 (2016)1
март	-4.6	-37.0 (1917)	-9.0	0.3	23.6 (2008)1
апрель	7.6	-18.9 (1913)	1.8	14.1	30.9 (2010)1
май	15.6	-7.6 (1969)	8.4	22.9	39.0 (1916)
июнь	21.1	-0.9 (1926)	13.5	28.4	40.3 (2021)1
июль	23.0	4.1 (1929)	15.8	30.1	42.2 (1984)
август	21.2	1.0 (1976)	13.9	29.0	42.9 (1940)
сентябрь	14.2	-7.9 (1909)	7.5	22.0	38.8 (2017)1
октябрь	6.1	-26.3 (1976)	0.9	12.6	29.7 (2004)1
ноябрь	-3.0	-35.0 (1916)	-6.4	1.1	17.0 (2012)1
декабрь	-9.8	-41.5 (2002)	-13.6	-5.9	11.2 (1909)
год		-48.5 (1940)			42.9 (1940)

меньше всего увеличение температуры наблюдается в летний сезон (июль). В среднем на этих четырех станциях среднегодовая температура повысилась на 2,4 °C, а среднемесячная температура за январь – на 3,2 °C за последние 90 лет.

По климатическим данным можно сделать вывод, что абсолютные минимумы температур наблюдались преимущественно в 20 веке, а абсолютные максимумы преимущественно в последнее двадцатилетие, что также свидетельствует о потеплении климата в Актюбинской области.

Режим осадков.

Для оценки изменения климата рассмотрели изменение среднегодовых значений поля осадков с 1930 по 2020 год на станциях Актобе, Иргиз, Мугалжар и Уральск.

На данном графике (рис.6) приведены среднегодовые значения осадков с 1930 по 2020 года на тех же четырех станциях Западного Казахстана.

Пространственная изменчивость осадков на выбранных станциях довольно велика. Этому в значительной степени способствует топография. Рассматривая графики на рис. 6, можно заметить, что на станциях Актобе и Уральск в течение рассматриваемого

периода осадки росли, а на станциях Иргиз и Мугалжар несколько понижались. При этом на станции Актобе имеет место рост количества осадков до конца восьмидесятых годов прошлого века с превышением над линией линейного тренда около 10...15 мм, а на станции Уральск два максимума в пятидесятые и поздние девяностые годы с превышением над линией тренда на 10 и 20 мм соответственно, следовательно, максимумы в девяностые годы на обеих станциях по времени совпадают. На станции Иргиз максимум осадков имел место в ранние шестидесятые годы с превышением над линией тренда примерно на 10 мм, после чего осадки медленно понижались. На станции Мугалжар, данные для которой имеются только с 1977 г. осадки имеют минимум в ранние девяностые годы с последующим ростом до 2015 г. Эти колебания происходят на фоне наиболее низкого количества осадков среди взятых станций, около 200 мм.

Используя возможности модели CMIP 5, с базовым вариантом RCP4,5 мы моделировали ожидаемые изменения температуры и осадков в регионе по десятилетиям на период до 2050 г. Результаты представлены в таблицах 2 и 3, данные за апрель и октябрь в таблицы не включены, но они также проанализированы.

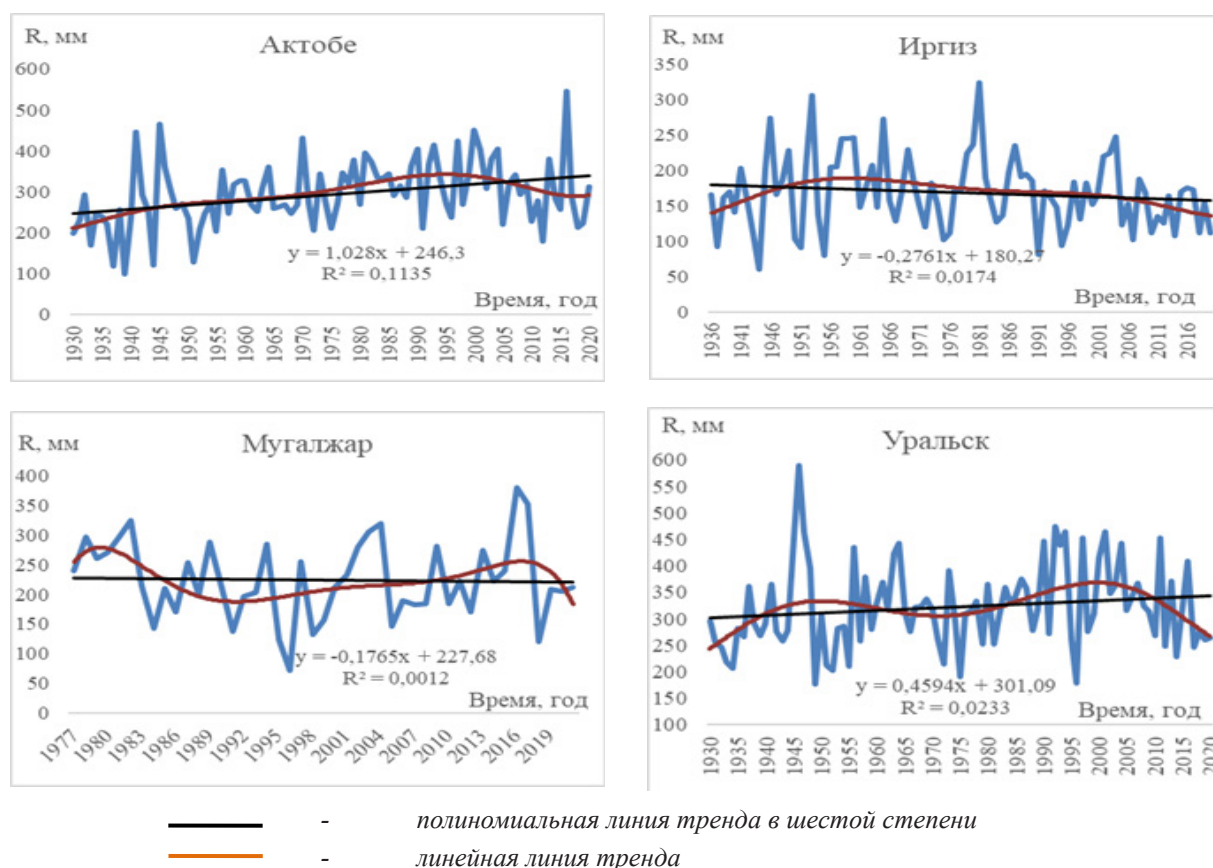


Таблица 2

Климатические данные по температуре воздуха на станции Актобе (°C)

Периоды	Десятилетия			Сумма 2021-2050
	2021...2030	2031...2040	2041...2050	
Актюбинск				
Год	0.4	0.4	0.5	1.3
Январь	0.3	-0.2	0.4	
Июль	0.3	0.4	0.5	
Уральск				
Год	0.4	0.5	0.4	1.3
Январь	0.0	0.2	-0.2	
Июль	0.3	0.5	0.4	
Иргиз				
Год	0.4	0.4	0.4	1.2
Январь	0.3	-0.2	0.5	
Июль	0.4	0.5	0.5	
Мугалжар				
Год	0.4	0.4	0.5	1.3
Январь	0.3	-0.2	-0.2	
Июль	0.4	0.4	0.5	

Из таблицы 2 видно, что в течение всех трёх десятилетий ожидается рост годовой температуры со скоростью примерно 0.4...0.5°C в десятилетие. В результате к концу периода температура вырастет на 1.2...1.3°C. При этом в отдельные десятилетия в отдельные сезоны ожидается даже понижение

температуры – практически синхронно на всех станциях региона в январе и октябре второй декады и апреле третьей.

В ожидаемых изменениях осадков такой синхронности нет (табл.3). В восточной части региона на станциях Актюбинск, Иргиз и Мугалжар ожидается рост осадков, наиболее

Таблица 3

Ожидаемые изменения количества осадков по десятилетиям (мм/10 лет)

Периоды	Десятилетия			Сумма 2021...2050
	2021...2030	2031...2040	2041...2050	
Актюбинск				
Год	22	8	24	54
Январь	4	-2	4	
Июль	3	-1	3	
Уральск				
Год	-18	-7	12	-13
Январь	3	6	5	
Июль	-1	3	-3	
Иргиз				
Год	4	6	18	28
Январь	3	-2	5	
Июль	3	-1	0	
Мугалжар				
Год	4	7	18	29
Январь	1	-3	5	
Июль	5	-1	3	

значительный в Актюбинске, а на станции Уральск – снижение в первые две декады, а затем рост. При этом на каждой станции во все декады в отдельные сезоны ожидается снижение количества осадков с последующим их ростом. Ожидаемый рост количества осадков в Актюбинске к 2050 г. представляется несколько завышенным, видимо, влияние гор моделью несколько переоценено.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В ходе проведенного исследования было выявлено значимое изменение климатических условий в Северо-западных регионах Казахстана. Полученные данные свидетельствуют о необходимости разработки мер адаптации к климатическим изменениям. В частности, негативные воздействия могут быть связаны с ростом количества засушливых лет и уменьшением количества осадков в летний период, и их увеличением в зимний.

Сравнив графики по четырем станциям за два сезона, стоит отметить, что в целом в регионе наблюдается увеличение температуры воздуха и эти изменения наиболее выражены зимой (январь), меньше всего увеличение температуры наблюдается в летний сезон (июль). В среднем на этих четырех станциях среднегодовая температура повысилась на 2,4 °С, а наибольшие изменения произошли в зимний период, где среднемесячная температура за январь повысилась на 3,2 °С.

Выявлено увеличение среднегодовой

температуры на всех станциях Актюбинской области, в среднем температура растет на 0,3 °С / 10 лет, наиболее выражено увеличение среднемесячной температуры в январе.

При анализе пространственно-временного распределения осадков наблюдалось уменьшение количества осадков на 15...20 %, а также рост количества засушливых лет, которые чаще наблюдаются в последние десятилетия.

Результаты моделирования ожидаемого изменения климат на период до 2050 г. по наиболее предпочитаемой модели CMIP5 показывают, что в регионе следует ожидать плавного повышения температуры на 0,4...0,5°С/10 лет, а количество осадков будет расти на 3...6 мм/10 лет. Следовательно, климатические условия в регионе будут оставаться примерно такими же, на фоне некоторого роста температуры.

Статья подготовлена при поддержке проекта BR21882122 «Устойчивое развитие природно-хозяйственных и социально-экономических систем Западно-Казахстанского региона в контексте зеленого роста: комплексный анализ, концепция, прогнозные оценки и сценарии».

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Чердниченко А.В. Динамика климата Казахстана. Начало эпохи похолодания. - Алматы: ИП Волкова Е. В., 2015. – 237 с.
2. Груза Г.В., Ранькова Э.Я. Обнаружение изменений климата: состояние, изменчивость и экстремаль-

ность климата // Метеорология и гидрология. - 2004.- № 4. – С.50-68.

3. Груза Г.В., Ранькова Э.Я. Структура и изменчивость наблюдаемого климата. Температура воздуха Северного полушария. - Л., Гидрометеиздат, 1980. – 72 с.
4. Petit, J.R. Climate and atmospheric history of the past years from the Vostok ice core, Antarctica / J.R. Petit et al. // Nature. – 1999. – V. 399. – P. 429–436.
5. Национальный атлас республики Казахстан//Институт географии АО «Национальный научно-технический холдинг «Парасат» МОН РК-2010. - Т.І, ІІ, ІІІ. - Алматы.
6. Справочник по климату Казахстана. // Многолетние данные. Вып.1-14. - Алматы: Казгидромет, 2005
7. Климат Казахстана / под ред. Утешева А.С. -Л.: Гидрометеиздат, 1959. – 366 с.
8. University of Nebraska - Lincoln 2017 [Электронный ресурс]: Precipitation change in the United States // core.ac.uk URL <https://core.ac.uk/download/pdf/188128981.pdf> (дата обращения 17.10.2023).
9. Climatechange2020[Электронныйресурс]://ipcc URL <https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg1/chapter/chapter-1/#Charlton-Perez--2013> (дата обращения: 20.11.2023).
10. Большаков В.А. Теория М. Миланковича: некоторые проблемы и возможные решения // Науки о Земле и смежные экологические науки. - 1999. - №63. - С. 33-42.

REFERENCES

1. Cherednichenko A.V. Dinamika klimata

ҚАЗАҚСТАННЫҢ СОЛТҮСТІК БАТЫС АЙМАҒЫНДАҒЫ КЛИМАТТЫҚ ПАРАМЕТРЛЕРДІҢ ДИНАМИКАСЫ

А.В. Чередниченко¹ г.ғ.д., профессор, В.С. Чередниченко² г.ғ.д., профессор, І. Б. Әшім^{2*}

¹ «Жасыл Даму» АҚ, Алматы, Қазақстан

² әл-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университеті, Алматы, Қазақстан

E-mail: inkar-ashim@mail.ru

Қазақстан Республикасының солтүстік-батысының Климаттық әлеуеті және оның климаттың өзгеруіне байланысты 2050 жылға дейінгі динамикасы бағаланды. Талдау үшін Ақтөбе және Батыс Қазақстан облыстарының төрт метеорологиялық станциясының деректері пайдаланылды. Аймақ жаздың жоғары және қыстың өте төмен температура-сымен сипатталады. Жауын-шашын мөлшері жылына 180...295 мм, тұрақты егіншілік үшін жеткіліксіз, сонымен бірге суару кезінде дақылдардың кең ауқымын сәтті өсіруге болады. Аймақ аумағы негізінен жайылымдар үшін пайдаланылады. 2050 жылға дейінгі онжылдықтар бойынша біз модельдеген температура мен жауын-шашынның күтілетін өзгерістері температураның әр онжылдықта шамамен 0,4 °С-қа және жауын-шашынның 2...4 мм/10 жыл сайын өсуі күтілетінін көрсетеді, бұл булану шығындарын өтемейді.

Түйін сөздер: Қазақстанның солтүстік-батысы, климат, температура динамикасы, жауын-шашын, жауын-шашын динамикасы, климаттың өзгеруі

DYNAMICS OF CLIMATE PARAMETERS IN THE NORTHWEST REGION OF KAZAKHSTAN

A. Cherednichenko¹ doctor of geographical sciences, professor, V. Cherednichenko² doctor of geographical sciences, professor, I. Ashim^{2*}

¹ JSC “Zhasyl Damu”, Almaty, Kazakhstan

² Kazakh National University named after. al-Farabi, Almaty, Kazakhstan

E-mail: inkar-ashim@mail.ru

Kazakhstan. Nachalo epokhi pokholodaniya. - Almaty: IP Volkova E. V., 2015. – 237 p.

2. GruzaG.V.,Ran'kovaE.Ya.Obnaruzhenieizmenenii klimata: sostoyanie, izmenchivost' i ekstremal'nost' klimata // Meteorologiya i gidrologiya. - 2004.- № 4. – P.50-68.
3. GruzaG.V.,Ran'kovaE.Ya.Strukturaizmenchivost' nablyudaemogo klimata. Temperatura vozdukha Severnogo polushariya. - L., Gidrometeoizdat, 1980. – 72 p.
4. Petit, J.R. Climate and atmospheric history of the past years from the Vostok ice core, Antarctica / J.R. Petit et al. // Nature. – 1999. – V. 399. – P. 429–436.
5. Natsional'nyi atlas respubliky Kazakhstan// Institut geografii AO «Natsional'nyi nauchno-tekhnicheskii kholding «Parasat» MON RK-2010. - Т.І, ІІ, ІІІ. - Almaty.
6. Spravochnik po klimatu Kazakhstan. // Mnogoletnie dannye. Vyp.1-14.-Almaty: Kazgidromet, 2005
7. Klimat Kazakhstana / pod red. A.S. Utesheva. -L.: Gidrometeoizdat, 1959. – 366 p.
8. University of Nebraska - Lincoln 2017 [Elektronnyi resurs]: Precipitation change in the United States // core.ac.uk URL <https://core.ac.uk/download/pdf/188128981.pdf> (data obrashcheniya 17.10.2023).
9. Climate change 2020 [Elektronnyi resurs]: // ipcc URL <https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg1/chapter/chapter-1/#Charlton-Perez--2013> (data obrashcheniya: 20.11.2023).
10. Bol'shakov V.A. Teoriya M. Milankovicha: nekotorye problemy i vozmozhnyeresheniya// Nauki o Zemle i smezhnye ekologicheskie nauki. - 1999. - №63. - P. 33-42.

The climatic potential of the north-west of the Republic of Kazakhstan and its dynamics for the period until 2050 in connection with climate change are assessed. For the analysis, data from four meteorological stations in the Aktobe region and one in the West Kazakhstan region were used. The region is characterized by high summer and fairly low winter temperatures. The amount of precipitation, 180...295 mm/year, is not enough for sustainable rainfed agriculture, however, with the presence of irrigation, successful cultivation of a wide range of crops is possible. The region's territory is used mainly for pastures. Our modeled expected changes in temperature and precipitation by decades for the period up to 2050 show that we should expect a further increase in temperature about 0.4 °C per decade and some increase in precipitation by 2...4 mm / decade, which does not compensate, however, evaporation costs.

Key words: north-west of Kazakhstan, climate, temperature dynamics, precipitation, precipitation dynamics, climate change

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

Чердниченко Александр Владимирович – профессор, д.г.н., АО «Жасыл Даму», Алматы, geliograf@mail.ru

Чердниченко Владимир Сергеевич – профессор, д.г.н. кафедры метеорологии и гидрологии факультета географии и природопользования НАО «Казахский Национальный университет им. аль-Фараби», Алматы, аль-Фараби 71

Әшім Іңкәр - кафедра метеорология және гидрология факультеті география және табиғаттану НАО «Қазақстан Республикасының Ұлттық Ақпарат және Қоршаған орта Министрлігінің Ғылыми Орталығы», Алматы, аль-Фараби 71, inkar-ashim@mail.ru

Чердниченко Александр Владимирович - профессор, г.ғ.д., «Жасыл Даму» АҚ, Алматы, geliograf@mail.ru

Чердниченко Владимир Сергеевич - профессор, г.ғ.д., «Ал-Фараби Қазақ ұлттық университеті» КЕАҚ география және табиғаттану факультеті метеорология және гидрология кафедрасы профессоры, Алматы, ал-Фараби 71

Әшім Іңкәр - «Ал-Фараби Қазақ ұлттық университеті» КЕАҚ география және табиғаттану факультеті метеорология және гидрология кафедрасы, Алматы, ал-Фараби 71, inkar-ashim@mail.ru

Cherdnichenko Alexander Vladimirovich – Professor, Doctor of Geographical Sciences, JSC «Zhasyl Damu», Almaty, geliograf@mail.ru

Cherdnichenko Vladimir Sergeevich – Professor, Doctor of Geographical Sciences of the Department of Meteorology and Hydrology, Faculty of Geography and Environmental Management, Al-Farabi Kazakh National University, Almaty, al-Farabi 71

Ashim Inkar - Department of Meteorology and Hydrology, Faculty of Geography and Environmental Management, Al-Farabi Kazakh National University, Almaty, al-Farabi 71, inkar-ashim@mail.ru

Вклад авторов/ Авторлардың қосқан үлесі/ Authors contribution:

Чердниченко Александр Владимирович – разработка концепции, разработка методологии, проведения исследования, подготовка и редактирование текста

Чердниченко Владимир Сергеевич – разработка концепции, разработка методологии, создание программного обеспечения, проведение статистического анализа, проведения исследования, ресурсы, подготовка и редактирование текста, визуализация

Әшім Іңкәр - проведение статистического анализа, проведения исследования, ресурсы, визуализация

Чердниченко Александр Владимирович - тұжырымдаманы әзірлеу, әдістемені әзірлеу, зерттеу жүргізу, мәтінді дайындау және өңдеу

Чердниченко Владимир Сергеевич - тұжырымдаманы әзірлеу, әдістемені әзірлеу, бағдарламалық жасақтама жасау, статистикалық талдау жүргізу, зерттеу жүргізу, ресурстар, мәтінді дайындау және өңдеу, көрнекілік

Әшім Іңкәр - статистикалық талдау жүргізу, зерттеу жүргізу, ресурстар, көрнекілік

Cherdnichenko Alexander – concept development, methodology development, conducting a research, preparing and editing the text

Cherdnichenko Vladimir – concept development, methodology development, creating software, conducting statistical analysis, conducting a research, resources, preparing and editing the text, visualization

Ashim Inkar - conducting statistical analysis, conducting a research, resources, visualization

ӘОЖ 551.524.3

ГТАМР 37.23.29

ҚЫЗЫЛОРДА ОБЛЫСЫНДАҒЫ АУА ТЕМПЕРАТУРАСЫНЫҢ 1961...2020 ЖЫЛДАР АРАЛЫҒЫНДА ӨЗГЕРУІ

Н.С. Абдолла^{1,2*}, А.С. Нысанбаева² *д.ғ.к.*, А.К. Әбдіразақ³¹«Қазгидромет» РМК, Астана, Қазақстан²әл-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университеті, Алматы, Қазақстан³РМК «Қазақэроавиация», Астана, Қазақстан

E-mail: abdolla_n@meteo.kz

Мақаланың мақсаты қазіргі уақытта климат өзгеруінің айқын көрсеткіштерінің бірі ауа температурасының динамикасын Қызылорда облысының мысалында талдау және аталған аумақта ауа температурасының ұзақ уақыт бойы өзгеру тенденцияларын анықтау болып табылады. Қазақстанның оңтүстік-батысында орналасқан, құрғақ климатымен ерекшеленетін және экологиялық апатты аумаққа кіретін Қызылорда облысындағы ауа температурасының өзгерістерін қарастыру осы бағытта жүргізілетін зерттеулердің маңыздылығын көрсетеді. Беріліп отырған жұмыста авторлар Манн–Кендаллдың параметрлік емес статистикалық әдісіне сүйене отырып, 1961...2020 жылдар аралығындағы ауа температурасының өзгерістерін зерттеді. Манн–Кендалл әдісі зерттелетін деректердің монотонды трендінің болуын анықтауда қолданылады. Сонымен қатар, уақыт қатарларын бағалау нәтижесінің дәлдігін арттыруға бағытталады және трендтің болуын анықтауға мүмкіндік береді. Алынған нәтижелер Қызылорда облысының уақыттық қатарында температураның айтарлықтай өзгеруімен сипатталды. Таңдалған кезеңде Сен критерийі бойынша өзгерістерді бағалау барысында температураның орташа жылдық өзгерістері 0,02...0,05°C-қа артқаны атап өтілді. Маусымдық тенденциялар жыл бойы орташа температураның жоғарылауын көрсетті, ал көктем мен жаз айлары Қызылорда облысында байқалған жылынуға айтарлықтай үлес қосты. Зерттеу барысында алынған нәтижелер аймақтық климаттың өзгеруін бағалауға негіз бола алады. Себебі метеорологиялық параметрлер, атап айтқанда ауа температурасы Қызылорда облысы ауасының ластануын зерттеудегі маңызды көрсеткіштердің бірі болып табылады.

Түйін сөздер: Қызылорда облысы, ауа температурасы, климат өзгерісі, Сен критерийі, параметрлік емес Манн Кендалл сынағы

Қабылданды: 20.12.23

DOI: 10.54668/2789-6323-2024-112-1-65-78

КІРІСПЕ

Климат динамикалық форма ретінде тарихи өткен кезеңде үнемі өзгеріп отырды, қазіргі уақытта да өзгеруде және болжамдарға сәйкес болашақта да өзгереді (NRC, 2020). Дегенмен, қазіргі климаттың бұрынғы климаттан айырмашылығы, атмосфераның төменгі қабатының жылынуына антропогендік әсерлердің көп қатысы бар (МГЭИК, 2014). Атмосфералық жылыну және климаттың өзгеруінің басқа аспектілерін көрсететін зерттеулер (MacKaу және Ко 2001; Kуган және Guo 2014; Alexander 2016) Орталық Азия аймағына ерекше назар аударып, жаһандық және аймақтық ауқымда кең ауқымда жүргізіле отырып, солтүстік жарты шардың ортаңғы ендіктері,

соңғы бірнеше онжылдықта жарты шардың басқа аймақтарына қарағанда жылдамырақ жылынғаны зерттеулер нәтижесінде белгілі болды (Santer және т.б., 2018). Жер бетіндегі температураның көтерілуі мен жауын-шашынның ықтимал азаюына байланысты Орталық Азияның онсыз да құрғақ жерлері ауқымды құрғақшылық кезеңдерін арттырды (de Beurs және т.б 2018).

Қазақстан аумағында да климаттың өзгеруі айқын көрініс тапты. Республика территориясында ауыл шаруашылығы, криосфера, қоршаған орта, денсаулық сақтау, су ресурстары, өнеркәсіп және инфрақұрылымды дамыту сияқты әртүрлі салаларда климаттың өзгеруі әсерінің

белгілерін әртүрлі белгілермен сипатталды (ЕЭК ООН 2019). Қазақстанның климатын ертерек зерттеуді алғашқы болып 19 ғасырдың екінші жартысында (1927 жыл) ғана Пономарев пен Борсук жүргізе бастады және алынған зерттеулер нәтижесінде Қазақстанда гидрометеорологиялық станциялардың сирек кездесетінін анықтады. Сонымен қатар, Өтешевтің редакциясымен (1959 ж.) Қазақстан климаты туралы алғашқы көлемді монографиялық зерттеу жарық көрді. Қазақстандағы жылдық, маусымдық және айлық температура тенденцияларын параметрлік емес статистикалық әдістерді қолдана отырып, 1970–2017 жылдар аралығын зерттеді (Ғаруқ және т.б., 2021). Бұл ретте кейбір зерттеулер климаттық параметрлер (температура, жауын-шашын және жел) мен ауылшаруашылық дақылдарын (яғни бидай өндірісі) (UNDP 2013; Нысанбаева және т.б., 2019), табиғи өсімдіктер, шөлейттену, құрғақшылық өзгермеліліктерінің байланыстарына бағытталған (Сальников және т.б., 2014). Осы ретте, ауылдық жермен салыстырғанда температураның салыстырмалы түрде жоғарылауы (Argüeso және т.б., 2013) қалалар мен қала маңындағы аудандар арасында температура айырмашылығы бар екенін көрсетеді (Yamamoto және т.б., 2006). IPCC 2013 мәліметі бойынша, Қазақстанда температураның айтарлықтай жоғарылауы байқалды, бұл бірқатар экологиялық проблемаларға алып келді, олардың ішінде су тапшылығы мен су күйзелісі аса маңызды болып табылады. Елдегі бидай өндірісі мен экспортының негізгі аймағы болып табылатын республиканың солтүстік бөлігі жылу толқындары, топырақ ылғалдылығы, дала және орман зоналарының салқындауы салдарынан құрғақшылық сипатында бірнеше климаттық әсерге ұшырады (UNECE 2019). Далалық аумақта жылыну тенденциясы сақталатынын, ал құрғақшылық тенденциясы Арал маңындағы шөлдерде байқалатынын көрсетті (Russell және т.б., 2018). Метеорологиялық құрғақшылық елдің оңтүстік бөлігінде тұрақты құбылыс ретінде сипатталады (Dubovuk және т.б., 2019). Бірнеше зерттеулер Қазақстанның бүкіл аумағын (Salnikov және т.б., 2014; Russell және т.б., 2018) және Сырдария бассейні сияқты

басқа жергілікті табиғи аймақтарды қамтиды (Үао және Chen 2014). Өнеркәсіптік секторлары дамыған қазіргі Қазақстан аймақтық және салалық ауқымда экологиялық проблемаларға тап болып отыр (Т. Alimbaev және т.б., 2020). Қазақстанның ең ірі аймақтарының бірі – Қызылорда облысындағы экологиялық жағдай талқыланады. Осыған орай, XX ғасырдың аяғында Қызылорда облысының барлық дерлік өнеркәсіп орталықтары алаңдатарлық және күрделі экологиялық ахуалы бар аймақтар санатына енгізілгені маңызды. Жер шарындағы ең ірі экологиялық проблемалардың бірі – бұл күндері өте өткір болған Арал проблемасы. Аймақтың әлеуметтік-экономикалық және экологиялық жағдайы жергілікті халықты әлеуметтік қорғау шараларын заңнамалық тұрғыдан шешуді және құқықтық реттеуді талап етті. Қызылорда облысының барлық аудандары мен Қызылорда қаласы экологиялық апат аймағы деп жарияланды (Regional program for environmental protection, 2009). Аймақ үшін кеңістіктік және уақытша қол жетімді толық емес және тұрақсыздандырылған деректер жиынтығына байланысты зерттеулер шектелген және Қазақстан сияқты кең аумақты қамту үшін жерүсті бақылау станцияларының тығыз желісі қажет болады.

Зерттеудің мақсаты әртүрлі уақыт бағамында температураның кеңістіктік динамикасын, сондай-ақ құрғақшылық сияқты температураға сезімтал салаларды түсіну үшін пайдалы болады. Ауа температурасының айлық және маусымдық тенденциялары, әсіресе вегетациялық кезеңге сәйкес келетін салалар, егістіктің дамуы мен өнімділігі туралы маңызды ақпаратты бере алады және Қызылорда аймағы үшін қолайлы бейімделу стратегияларын ұсынуға көмектеседі. Зерттеу тақырыбы су ресурстарының тапшылығы және жаңбырлы егіншілік жағдайында, облыс аумағының ластануына әсер ететін метеорологиялық параметрлерді зерттеу барысында өте өзекті болып табылады. Осылайша, бұл зерттеудің негізгі міндеттері ауа температурасы өзгерістері мен тенденцияларының сипаты, шамасын, орташа уақыттық қатарын, сондай-ақ аталған параметрлердің базалық кезең мен ағымдағы кезең үшін айырмашылығын анықтау және бағалау болып табылады. Аталған міндеттерді

орындау барысында, жылдық, маусымдық және орташа айлық ауа температурасы тенденциялары есептеліп, параметрлік емес емес Манн-Кендалл статистикалық әдісті қолдану арқылы өзгерістері анықталды.

ЗЕРТТЕУ АЙМАҒЫ

Қызылорда облысы Қазақстанның оңтүстік бөлігінде орналасқан. Шығысында және оңтүстік-шығысында Оңтүстік Қазақстанмен, солтүстігінде Қарағандымен, солтүстік-батысында Қазақстан Республикасының Ақтөбе облыстарымен, оңтүстігінде Өзбекстан Республикасымен шектеседі. 1938 жылы 15 қаңтарда құрылған. Ауданы бойынша облыс республикада төртінші орында. Әкімшілік орталығы – Қызылорда қаласы. Жер шарындағы ең ірі экологиялық апаттардың бірі – өте өткір болған Арал проблемасы Қызылорда аймағында орналасқандықтан облыстың барлық аудандары экологиялық апат аймағы деп жарияланды.

Облысаумағы Арал теңізінің шығысында Сырдария өзенінің төменгі ағысында, негізгі бөлігі Тұран ойпатында (биіктігі 50-200 м) орналасқан. Облыстың батысы Арал теңізімен іргелес, оңтүстік-шығысында Қаратау жотасының солтүстік-батыс сілемдері мен тау етегі жазықтары, солтүстік-батысында Арал Қарақұмының таулы құмдарының кең алқаптары бар. Сырдарияның сол жағалауында Жаңадария мен Қуандарияның құрғақ арналары арқылы кесілген Қызылқұмның қыратты-жоталы құмдарының кең кеңістігі бар. Оң жағалауында төбешіктер (Егізқара), құмды аймақтар (Арысқұм, т.б.), сортаңдар алып жатқан таяз алаптар бар. Солтүстігінде дөнес құм массивтері (кіші Борсық және Арал Қарақұмы) бар. Төтенше оңтүстік-шығыста Қаратау жотасының (биіктігі 1419 м дейін) солтүстік-батыс сілемдері облыс аумағына кіреді. Тұран ойпаты – шеткі шетінен орталыққа қарай біртіндеп төмен түсетін кең ойыс жазықта сазды жазықтармен қиылысатын бірқатар ірі құмды массивтер бар. Кейбір жерлерде шағын қалдық таулар (Қазақтау, Жетімтау және т.б.) кездеседі. Арал маңындағы Қарақұмдар Арал маңындағы құмды шөл. Арал теңізінің солтүстік-шығысында орналасқан, оңтүстігінде Сырдария өзенімен шектеседі. Шөл аумағының көп бөлігі Қызылорда облысының Арал және Қазалы аудандарының шегінде орналасқан.

Абсолютті биіктігі 100 м-ге дейін жететін Арал маңындағы Қарақұмдар толқынды-төбелі рельефпен сипатталады, оларда бекітілген түйнек құмдар басым, ал кейбір жерлерде барқыттар кездеседі. Сырдария және Сарысу жазықтары, аттас өзендердің бойында орналасқан, жазық және сазды жерлер.

Жалпы бұл белдеудің климаты жаздың ұзақ ыстықтығымен, осы ендіктер үшін суық қыспен, ауаның өте құрғақтығымен, аз бұлттылығымен, жыл бойына біркелкі таралмаған жауын-шашынның аздығымен және қар жамылғысының шамалы болуымен сипатталады. Бұл климаттық режим аймақтың Еуразия материгінің ішіндегі орналасуымен, оның оңтүстіктегі жағдайымен, атмосфералық циркуляцияның ерекшеліктерімен, жер асты бетінің сипатымен және басқа факторлармен анықталады. Континенттік климат метеорологиялық элементтердің үлкен ауытқуларында, олардың тәуліктік, айлық және жылдық циклдерінде көрінеді. Солтүстікке қарай ашықтық суық ауа массаларының аймаққа еркін еніп, әсіресе қыста кенеттен суытуына мүмкіндік береді. Жылына 100...190 мм-ден аспайтын жауын-шашын аз болатын аймақтың климатына тән құрғақшылық ерекшеліктердің бірі. Жауын шашын жыл мезгілдері бойынша біркелкі таралмаған, негізінен қыс пен көктемде болады, жалпы жауын-шашынның 60% құрайды. Облыстың барлық аумағында жиі және күшті желдер басым, орташа жылдық жылдамдығы 3,1 ден 6,0 м/с-қа дейін соғады. Қыста бұл желдер қар жамылғысын ұшырып, топырақтың терең тоңуына әкеліп соғады, ал жазда шаңды дауылдар байқалады. Негізінен облыстың барлық аумағы солтүстік-шығыс бағытта жиі және күшті желмен сипатталады. (Өтешов А.С., Қазақстан климаты).

БАСТАПҚЫ ДЕРЕКТЕР МЕН ЗЕРТТЕУ ӘДІСТЕРІ

Метеорологиялық станцияларды таңдау. Метеорологиялық станцияларды таңдау климаттың жалпы өзгеруін және белгілі бір аймақтың өзгермелілігін түсіну үшін өте маңызды. Таңдалған станциялардың таралуы кеңістіктік таралудың айқын бейнесін дұрыс түсіну үшін әрбір алдын ала анықталған климаттық аймақ пен биіктік белдеуі қамтылуы керек. Осыған ұқсас себептерге байланысты зерттелетін Қызылорда облысының аймағы

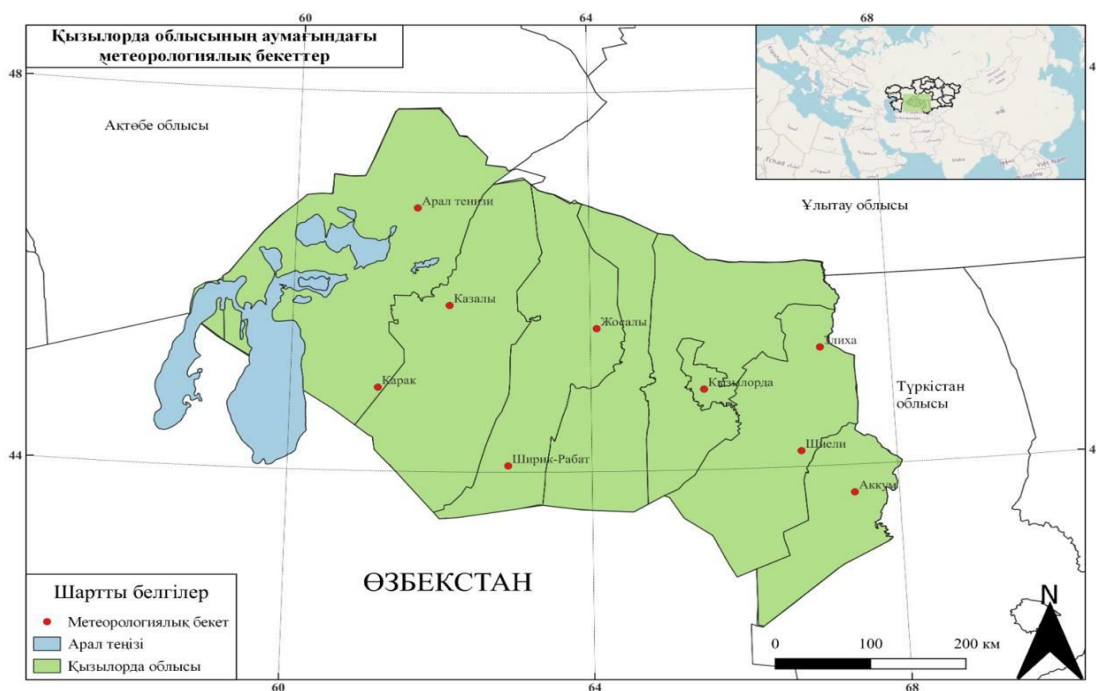
Қызылорда облысы аумағында орналасқан метеостанциялар

Тұран ойпаты				
Метеостанция	Синоптикалық индекс	Ендік	Бойлық	Теңіз деңгейінен биіктік
Арал теңізі	35746	46,8	61,65	52
Қазалы	35849	45,8	62,11	66
Жосалы	35953	45,5	64,09	99
Шірік-Рабат	38049	42,9	72,8	88
Қарак	38051	44,8	63,2	90
Жазық дала				
Злиха	35969	45,2	66,8	138
Қызылорда	38062	44,8	65,53	129
Шиелі	38069	44,2	66,73	151
Аққұм	38191	43,72	67,42	174

үшін де метеорологиялық станцияларды таңдау кезінде бірнеше факторлар ескерілді (1 кесте). Қызылорда облысының физикалық-географиялық орналасуына байланысты 2 аумаққа бөлініп, Тұран ойпатына кіретін – Арал теңізі, Қазалы, Қарак, Жосалы, Шірік-Рабат метеостанциялары және жазық далада орналасқан – Қызылорда, Шиелі, Злиха, Аққұм метеостанциялардың мәліметтері қарастырылды (сурет 1).

Бастапқы деректер. Бұл мақалада РМК «Қазгидромет» мемлекеттік гидрометеорологиялық қорының 1961...2020 жылдар аралығындағы ауа температурасының жылдық, мезгілдік, айлық мәліметтері пайдаланылады. Қызылорда облысы аумағындағы станциялар-

дың температура мен жауын-шашынның динамикасы қарастырылды. Екі кезең қатарынан облыстың орташа ауа температурасы сипаттамасына салыстырмалы талдау жүргізілді: 1961...1990 жж. және 1991...2020 жж. Дүниежүзілік метеорологиялық ұйым анықтағандай, 30 жылдық кезеңдерде есептелген орташа климаттық көрсеткіштер: 1991 жылғы 1 қаңтардан 2020 жылғы 31 желтоқсанға дейінгі климаттық стандартты нормалар болып табылады. Белгілі бір уақыт аралығындағы ауа температурасы өзгеруін бағалау үшін ең кіші квадраттар әдісімен анықталатын сызықтық тренд коэффициенттері пайдаланылды.



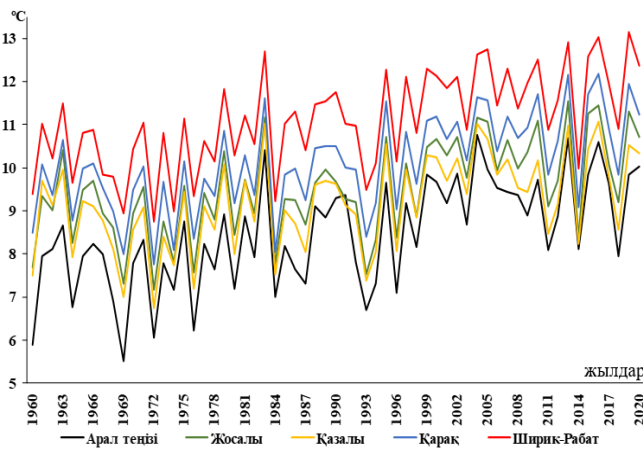
Сур.1. Қызылорда облысында метеорологиялық станциялардың бөлініп орналасу карта-схемасы.

Зерттеу әдісі. Қазіргі климаттық өзгерістер температура параметрі бойынша монотонды өсу немесе төмендеу тенденциясының талдауы Манн-Кендалл статистикалық сынағы (Манн, 1945) көмегімен орындалды. Манн-Кендалл тесті берілген уақыт қатарының деректерінде кез келген өсу немесе кему үрдісін анықтайды. Нөлдік гипотеза (H0) белгіленеді, ол жоғары немесе төмендеу тенденциясының бар екендігін білдіретін альтернативті гипотезадан (H1) айырмашылығы деректерде монотонды тенденцияның жоқтығын білдіреді. Манн-Кендалл сынағы климаттық және гидрологиялық деректер сериясындағы монотонды үрдістерді анықтау үшін кеңінен қолданылады (Ғауқ I және т.б., 2016). Есептеу тұрғысында қолданылатын бұл сынақ түрі, R программалау тілінде жинақталған.

НӘТИЖЕЛЕР МЕН ТАЛДАУ

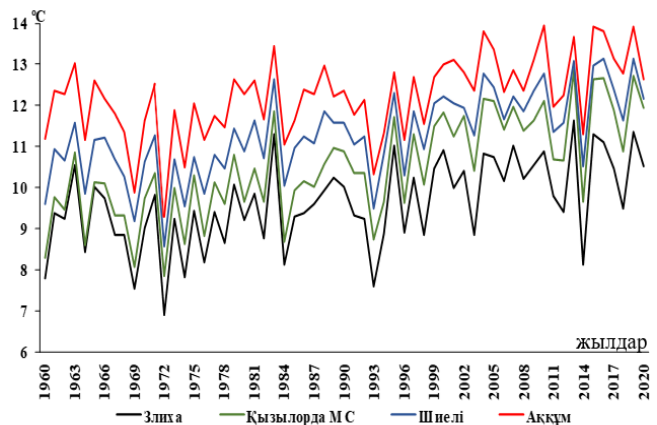
Температурадағы тенденциялар. Қазақстанның барлық облыстарының аумағында орташа жылдық ауа температурасының тұрақты жоғарылауы байқалады. Қазақстан аумағы бойынша орташа алғанда ауаның орташа жылдық температурасының жоғарылауы әр 10 жыл сайын $0,32\text{ }^{\circ}\text{C}$ құрайды (Қазақстан климатының өзгеру мониторингісінің жыл сайынғы бюллетені, 2021). Осы ретте, Қызылорда облысы бойынша орташа температураның көпжылдық тенденцияларын талдау үшін 1961 жылдан 2020 жылға дейін 60 жылдық уақыт шкаласы бар 9 метеостанция таңдалды. Температураның уақытша қатарын динамикалық талдау Қызылорда территориясында орташа жылдық температураның жоғарылауының елеулі өзгерісі байқалатынын көрсетті.

Тұран ойпаты



Сур.2. Тұран ойпаты бойынша ауа температурасының ($^{\circ}\text{C}$) 1961...2020 жылдар аралығындағы таралу динамикасы

Жазық дала



Сур.3. Жазық дала бойынша ауа температурасының ($^{\circ}\text{C}$) 1961...2020 жылдар аралығындағы таралу динамикасы

Қызылорда облысы бойынша ауа температурасы өзгеруінің динамикасы аумақты физикалық-географиялық аудандастыру арқылы көрсетілді. Тұран ойпатында орналасқан Арал теңізі, Қазалы, Жосалы, Шірік-Рабат, Қарақ МС-да 1961...2020 жж. кезеңі бойынша ауа температурасының әрбір 10 жыл сайын $0,29...0,43\text{ }^{\circ}\text{C}$ аралығында өсуінде оң тенденция бақыланды (2-сурет).

Жазық дала бөлінісі бойынша орналасқан Аққұм, Злиха, Қызылорда, Шиелі МС-да ауа температура тенденциясының 10 жылда $0,28...0,49\text{ }^{\circ}\text{C}$ оң мәні бақыланып, детерминация коэффициенті $0,2...0,5$ аралығында болды (3 сурет, 2 кесте).

1960...1990 жж. және 1991...2020 жж.

кезеңіндегі орташа көпжылдық ауа температурасының айырмашылығы көрсетілді (3-кесте).

Ағымдағы 1991...2020 жж. кезеңде базалық 1961...1990 жж. кезеңіне қарағанда ауа температурасының өсуі анықталды: максималды мәні Арал теңізі МС-да $-1,2\text{ }^{\circ}\text{C}$, минималды мәні Қазалы МС-да $-0,9\text{ }^{\circ}\text{C}$. Жылдың суық кезеңінде (қаңтар-наурыз) ауа температурасының өсуі $1,03...2\text{ }^{\circ}\text{C}$, төмендеуі қараша және желтоқсан айларында $0,003...0,6\text{ }^{\circ}\text{C}$ диапазонында болды. Жылдың жылы кезеңінде (сәуір-қазан) 1991...2020 жж., 1961...1990 жж. салыстырғанда ауа температурасының өсуі $0,1...1,9\text{ }^{\circ}\text{C}$ бақыланып, тек қана шілде айында Қазалы МС-да минус $0,2\text{ }^{\circ}\text{C}$ мәнімен төмендеуі анықталды (3 кесте).

2-кесте

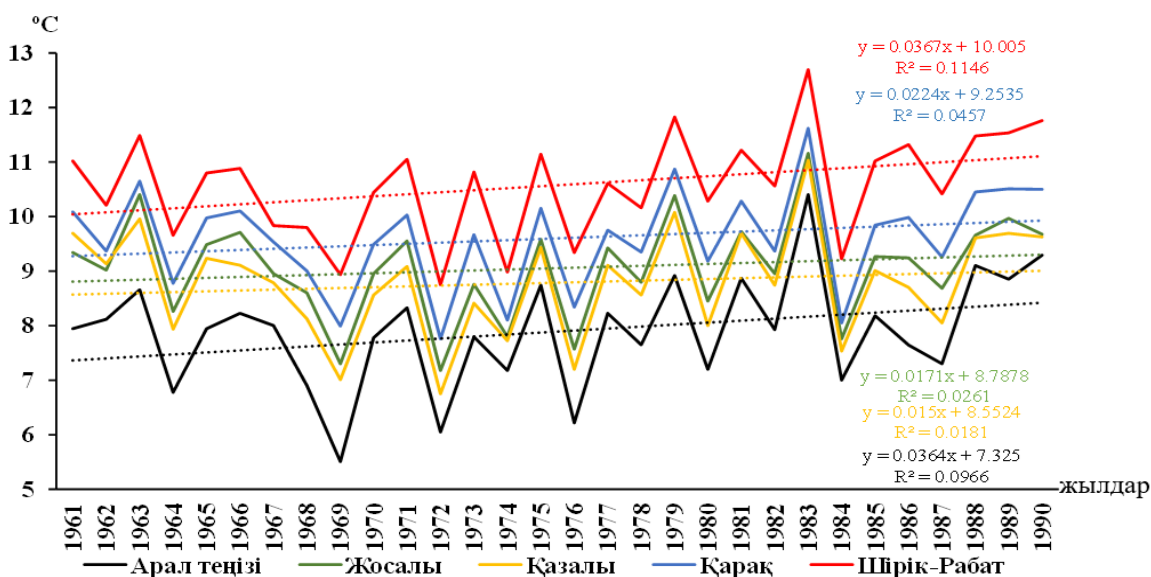
Қызылорда облысы аумағында орналасқан метеостанциялар

Метеостанциялар		Ауа температура тенденциялары	
		y	R ²
Тұран ойпаты	Арал теңізі	$y = 0,0436x + 7,1124$	$R^2 = 0,3889$
	Қазалы	$y = 0,0293x + 8,2772$	$R^2 = 0,2326$
	Жосалы	$y = 0,0348x + 8,4374$	$R^2 = 0,3033$
	Шірік-Рабат	$y = 0,0392x + 9,8862$	$R^2 = 0,3838$
	Қарақ	$y = 0,0369x + 8,9692$	$R^2 = 0,3517$
Жазық дала	Злиха	$y = 0.0316x + 8.6433$	$R^2 = 0.2747$
	Қызылорда	$y = 0.0499x + 8.9608$	$R^2 = 0.5168$
	Шиелі	$y = 0.0383x + 10.109$	$R^2 = 0.4439$
	Аққұм	$y = 0.0282x + 11.365$	$R^2 = 0.2625$

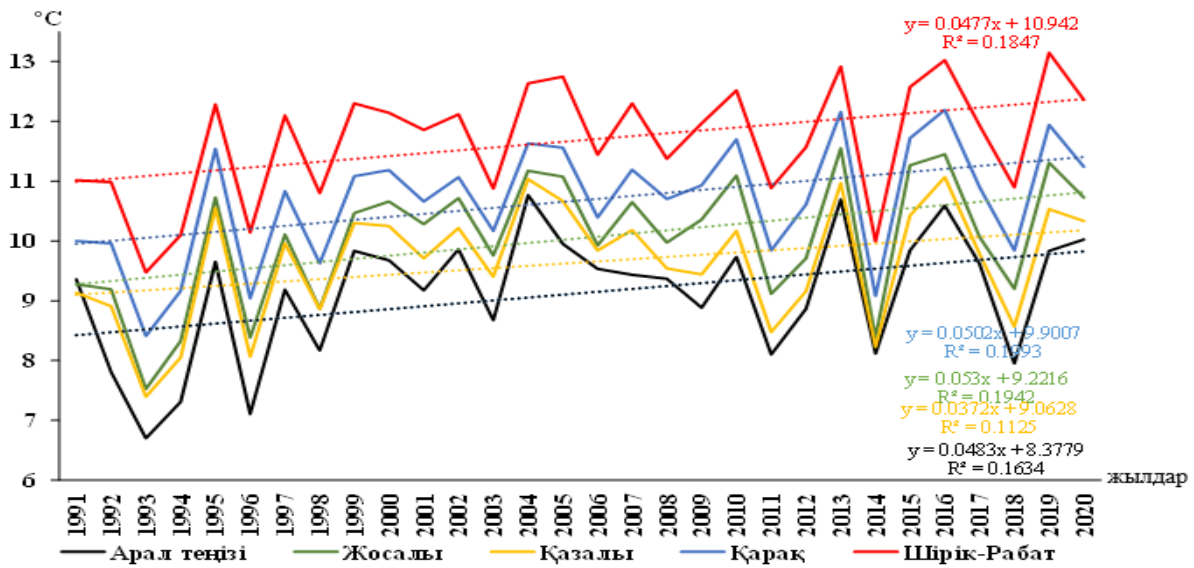
3-кесте

Тұран ойпаты метеостанциялары бойынша 1961...1990 жж. және 1991...2020 жж. кезеңіндегі орташа көпжылдық ауа температурасының айырмашылығы

Метеостанция	Кезең	Ай												Жыл
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
Тұран ойпаты														
Арал Теңізі	1961-1990	-12	-12	-2,9	10,0	18,4	24,2	27,1	24,2	17,5	7,6	-0,2	-7,3	7,9
	1991-2020	-10,7	-9,4	0	11,8	19,7	25,8	27,7	25,7	18,1	9,2	-0,5	-7,9	9,1
	айырмашылық	1,3	2,6	2,9	1,9	1,3	1,6	0,6	1,5	0,6	1,6	-0,3	-0,6	1,2
Қазалы	1961-1990	-10,1	-9,9	-0,8	11,3	19,3	24,6	27,1	24,1	17,3	7,8	0,5	-5,9	8,8
	1991-2020	-8,9	-7,2	1,9	12,4	20,0	25,4	26,9	24,7	17,5	9,3	0,2	-6,5	9,6
	айырмашылық	1,1	2,7	2,7	1,1	0,6	0,8	-0,2	0,7	0,2	1,4	-0,3	-0,6	0,9
Қарақ	1961-1990	-9,1	-8,7	0,8	12,1	19,8	25,4	28,1	24,9	18,0	8,3	0,93	-5,2	9,6
	1991-2020	-7,8	-5,4	3,2	13,2	20,7	26,5	28,3	25,9	18,5	9,8	0,89	-5,6	10,7
	айырмашылық	1,3	3,2	2,5	1,1	0,9	1,1	0,2	1,0	0,5	1,5	-0,05	-0,4	1,1
Жосалы	1961-1990	-10,1	-10,1	-0,5	11,7	19,6	25,3	28,0	24,9	17,9	7,9	0,273	-6,1	9,1
	1991-2020	-9,1	-7,0	2,0	12,6	20,2	26,3	28,1	26,0	18,3	9,4	0,270	-6,6	10,0
	айырмашылық	1,0	3,1	2,6	0,9	0,6	1,0	0,1	1,0	0,5	1,5	-0,003	-0,5	1,0
Шірік-Рабат	1961-1990	-8,0	-7,0	2,2	12,9	20,5	26,2	28,8	25,8	18,7	9,1	1,8	-4,2	10,6
	1991-2020	-6,5	-4,0	4,5	14,0	21,5	27,4	29,4	27,1	19,4	10,5	1,5	-4,5	11,7
	айырмашылық	1,5	3,0	2,2	1,1	1,0	1,2	0,5	1,3	0,6	1,4	-0,3	-0,3	1,1



Сур.4. Тұран ойпатының 1961...1990 жж. кезеңіндегі ауа температурасының (°C) динамикасы



Сур.5. Тұран ойпатының 1991...2020 жж. кезеңіндегі ауа температурасының (°C) динамикасы

Тұран ойпатында орналасқан метеостанциялар үшін 1961...1990 жж. базалық кезеңінде ауа температурасы тенденциясы 10 жыл $0,15...0,36^{\circ}\text{C}$ бақыланды. Ал, ағымдағы 1991...2020 жж. кезең үшін 10 жылда ауа температурасында $0,37...0,53^{\circ}\text{C}$ мәнмен неғұрлым оң тенденция байқалды.

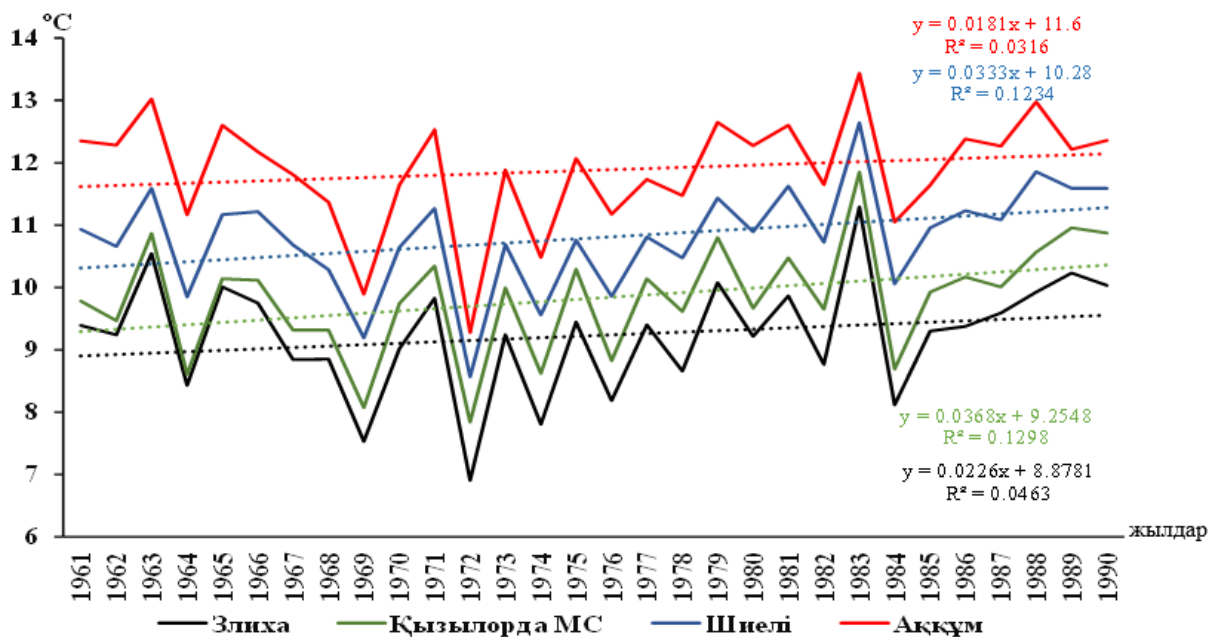
4-кесте

Жазық дала метеостанциялары бойынша 1961...1990 жж. және 1991...2020 жж. кезеңіндегі орташа көпжылдық ауа температурасының айырмашылығы

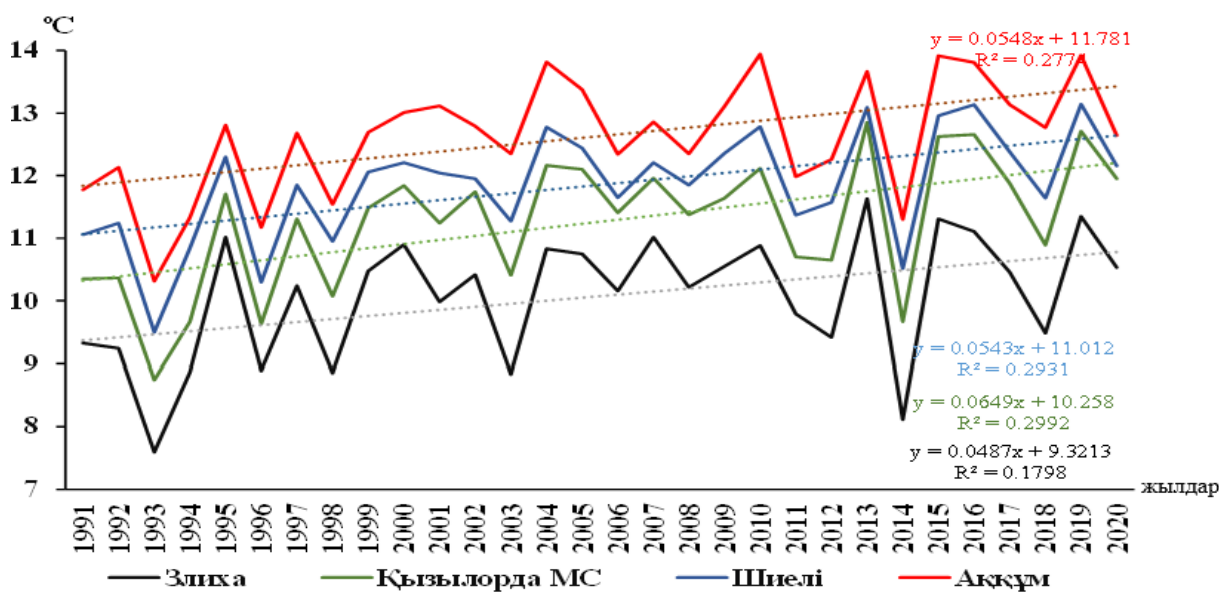
Метеостанция	Кезең	Ай												Жыл
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
		Жазық дала												
Қызылорда	1961-1990	-8,3	-7,6	1,3	12,6	20,0	25,3	27,5	24,4	17,9	8,6	1,2	-4,94	9,8
	1991-2020	-6,8	-4,6	4,0	13,9	21,1	26,7	28,3	26,2	19,0	10,6	1,7	-4,96	11,3
	айырмашылық	1,5	3,0	2,6	1,3	1,1	1,4	0,8	1,8	1,1	2,0	0,5	-0,02	1,4
Шиелі	1961-1990	-5,9	-4,2	3,9	13,6	20,0	24,8	26,7	23,8	17,8	9,3	2,7	-2,8	10,8
	1991-2020	-4,5	-2,0	5,8	14,4	21,0	25,9	27,2	25,2	18,6	11,0	2,8	-3,1	11,9
	айырмашылық	1,3	2,2	2,0	0,9	1,0	1,1	0,5	1,4	0,8	1,7	0,2	-0,3	1,1
Злиха	1961-1990	-9,9	-9,3	0,2	12,0	19,3	25,1	27,8	24,8	17,8	8,1	0,6	-5,9	9,2
	1991-2020	-8,4	-6,2	2,7	12,9	20,0	25,6	27,4	25,4	17,9	9,3	0,6	-6,2	10,1
	айырмашылық	1,5	3,0	2,4	0,8	0,7	0,5	-0,4	0,6	0,1	1,2	0,0	-0,4	0,8
Аққұм	1961-1990	-5,9	-3,5	5,1	14,2	20,8	26,5	28,9	26,3	19,4	10,1	3,1	-2,5	11,9
	1991-2020	-4,4	-1,4	6,7	14,7	21,5	27,0	28,8	26,9	19,9	11,4	3,2	-2,9	12,6
	айырмашылық	1,4	2,2	1,6	0,5	0,7	0,6	-0,04	0,6	0,5	1,3	0,1	-0,4	0,7

Жазық далада орналасқан МС-лар үшін ауа температурасының деректерінің базалық период (1961...1990) пен ағымдағы периодтың (1991...2020) айырмашылығы көрсетілді. 1991...2020 жж. кезеңде базалық 1961...1990 жж. кезеңіне қарағанда негізінен ауа температурасының максималды өзгерісі Қызылорда МС-да ($1,4^{\circ}\text{C}$), мнималды өзгерісі Аққұм МС-да ($0,7^{\circ}\text{C}$) анықталды. Ағымдағы кезеңнің

қаңтар-наурыз айларының аралығында ауа температурасының өсуі $0,1...3,0^{\circ}\text{C}$, төмендеуі желтоқсан айында $0,02...0,4^{\circ}\text{C}$ диапазонында болды. Жылдың жылы кезеңінде (сәуір-қазан) 1991...2020жж., 1961...1990 жж. салыстырғанда ауа температурасының өсуі $0,1...2,0^{\circ}\text{C}$ аралығында болды, тек қана шілде айында Злиха МС ($-0,4^{\circ}\text{C}$) және Аққұм МС да ($-0,04^{\circ}\text{C}$) төмендеуі бақыланды (4 кесте).



Сур.6. Жазық даланың 1961...1990 жж. кезеңіндегі ауа температурасының (°C) динамикасы



Сур.7. Жазық даланың 1991...2020 жж. кезеңіндегі ауа температурасының (°C) динамикасы

Жазық дала аумағында орналасқан метеостанциялар үшін 1961...1990 жж. базалық кезеңінде ауа температурасы тенденциясының $0,18...0,36^{\circ}\text{C}/10$ жыл өсуі анықталды. Ағымдағы 1991...2020 жж. кезең үшін ауа температурасының өсу тенденциясы $0,48...0,64^{\circ}\text{C}/10$ жыл құрады.

Манн-Кендалла сынағы бойынша қазіргі климаттық өзгерістер. Қызылорда облысы бойынша орташа температураның ұзақ мерзімді тенденцияларын талдау үшін 1961 жылдан 2020 жылға дейін 60 жылдық

уақыт шкаласы бар 9 метеостанция таңдалды. Температуралық уақыт қатарын талдау облыс аумағында орташа жылдық температураның жоғарылауының елеулі ($p < 0,001$) тенденциясы бар екенін көрсетті. Мұны параметрлік емес Манн-Кендалл статистикалық сынағы растады және әрбір метеостанциядағы температуралық уақыт қатарларына жылдық орташа температура мен маусымдық орташа температурамен көрсетілетін тенденция бағытын анықтау үшін қолданылды.

5-кесте

1960...2020 жылдар аралығындағы Қызылорда облысының Тұран ойпатындағы метеостанциялар үшін жылдық және маусымдық температуралардың (°C-де) Манн – Кендалл статистикасы (Z мәндері)

Тұран ойпаты бойынша метеостанциялар															
Ай	Арал			Қазалы			Қарақ			Жосалы			Шірік-Рабат		
	Test Z	Sign.	Q	Test Z	Sign.	Q	Test Z	Sign.	Q	Test Z	Sign.	Q	Test Z	Sign.	Q
Қаңтар	1,42		0,046	1,10		0,036	1,76	+	0,056	1,49		0,048	1,98	*	0,063
Ақпан	1,78	+	0,065	1,87	+	0,063	2,19	*	0,075	2,00	*	0,074	1,82	+	0,075
Наурыз	2,73	**	0,089	2,72	**	0,083	2,76	**	0,079	2,72	**	0,084	2,70	**	0,071
Сәуір	2,97	**	0,054	2,22	*	0,033	2,25	*	0,033	1,69	+	0,028	1,98	*	0,033
Мамыр	3,35	***	0,048	2,05	*	0,025	2,67	**	0,034	1,98	*	0,025	3,27	**	0,041
Маусым	4,40	***	0,067	3,12	**	0,036	3,87	***	0,042	3,75	***	0,041	4,50	***	0,049
Шілде	2,91	**	0,040	1,12		0,014	2,16	*	0,023	1,62		0,018	3,47	***	0,037
Тамыз	4,04	***	0,052	2,58	**	0,026	3,33	***	0,036	3,62	***	0,038	4,36	***	0,044
Қыркүйек	2,22	*	0,022	1,11		0,009	2,46	*	0,024	2,37	*	0,023	2,91	**	0,029
Қазан	2,30	*	0,033	2,43	*	0,034	3,18	**	0,046	2,88	**	0,041	2,78	**	0,038
Қараша	-0,80		-0,013	-0,66		-0,013	-0,16		-0,004	-0,24		-0,005	-0,57		-0,011
Желтоқсан	-0,56		-0,016	-0,69		-0,016	-0,21		-0,006	0,00		0,000	-0,20		-0,005
Жылдық	4,76	***	0,041	3,50	***	0,027	4,57	***	0,037	4,15	***	0,035	4,79	***	0,039
Көктем	3,79	***	0,066	3,13	**	0,047	3,09	**	0,046	2,87	**	0,044	3,27	**	0,047
Жаз	5,73	***	0,050	3,27	**	0,024	4,57	***	0,033	4,49	***	0,032	5,59	***	0,043
Күз	1,50		0,015	1,35		0,013	2,30	*	0,024	2,03	*	0,021	1,99	*	0,022
Қыс	1,35		0,033	1,17		0,028	1,88	+	0,041	1,61		0,041	2,07	*	0,046

Ескерту: * - 90 % қамтамасыз деңгейі, ** - 95 % қамтамасыз деңгейі, *** - 99,9 % қамтамасыз деңгейі

6-кесте

1960...2020 жылдар аралығындағы Қызылорда облысының жазық даладағы метеостанциялар үшін жылдық және маусымдық температуралардың (°C-де) Манн – Кендалл статистикасы (Z мәндері)

Жазық дала бойынша метеостанциялар												
Ай	Қызылорда			Злиха			Шиелі			Аққұм		
	Test Z	Sign.	Q	Test Z	Sign.	Q	Test Z	Sign.	Q	Test Z	Sign.	Q
Қаңтар	2,22	*	0,069	2,39	*	0,073	2,14	*	0,060	2,21	*	0,067
Ақпан	2,33	*	0,087	2,28	*	0,086	1,74	+	0,053	1,63		0,059
Наурыз	2,88	**	0,081	2,64	**	0,077	2,65	**	0,064	2,26	*	0,050
Сәуір	2,79	**	0,046	1,74	+	0,027	2,03	*	0,030	1,37		0,016
Мамыр	3,47	***	0,045	2,23	*	0,027	3,60	***	0,042	2,69	**	0,033
Маусым	4,98	***	0,054	2,21	*	0,021	4,45	***	0,044	2,53	*	0,025
Шілде	3,81	***	0,040	0,15		0,000	3,29	***	0,030	1,12		0,011
Тамыз	5,38	***	0,060	2,34	*	0,024	5,02	***	0,050	2,77	**	0,027
Қыркүйек	4,26	***	0,044	1,17		0,011	3,41	***	0,033	2,59	**	0,022
Қазан	3,99	***	0,059	2,47	*	0,033	3,37	***	0,050	2,48	*	0,037
Қараша	0,66		0,014	-0,15		-0,003	0,29		0,007	-0,17		-0,004
Желтоқсан	0,47		0,013	0,22		0,008	0,31		0,009	0,03		0,000
Жылдық	5,87	***	0,051	4,09	***	0,032	5,59	***	0,037	3,87	***	0,027
Көктем	3,50	***	0,057	2,77	**	0,042	3,36	***	0,043	2,68	**	0,031
Жаз	6,62	***	0,050	2,09	*	0,015	5,96	***	0,040	3,38	***	0,022
Күз	3,62	***	0,041	1,35		0,014	2,83	**	0,030	2,24	*	0,021
Қыс	2,47	*	0,049	2,42	*	0,049	1,76	+	0,033	1,69	+	0,034

Ескерту: * - 90 % қамтамасыз деңгейі, ** - 95 % қамтамасыз деңгейі, *** - 99,9 % қамтамасыз деңгейі

Статистика көрсеткендей, орташа жылдық температура барлық станциялар үшін жоғарылау тенденциясы бар (оң Z мәндері). Қызылорда облысы аумағында орналасқан бірде бір метеостанцияда орташа жылдық температураның теріс үрдісі байқалмады. Кестелерде 9 метеостанция үшін орташа жылдық температура мен орташа маусымдық температура (көктем, жаз, күз және қыс) бойынша Манн – Кендалл статистикасы берілген (5-кесте, 6-кесте).

Облыс аумағындағы әр метеостанция үшін 60 жыл таңдалған уақыт кезеңінде температураның максималды мәні $0,05\text{ C}$ өскенін көрсетті. Жылдық аралықта қарастырғанда, екі бөлініс аумағында орналасқан барлық метеостанцияларда ауа температурасының өте жоғары маңызды өзгерістер бақыланды: ең жоғары өзгерушілік Тұран ойпаты үшін Арал МС ($0,04\text{ C}$, қамтамасыз деңгейі 99,9%), жазық дала бойынша Қызылорда МС ($0,05\text{ C}$, қамтамасыз деңгейі 99,9%) анықталды. Маусымдық көрсеткіш бойынша барлық төрт мезгілге сәйкес орташа температураның өсу тенденциясы байқалды, әр түрлі таңдалған метеостанциялар үшін маңызды Z мәндерімен сипатталды. Станциялардың ең аз саны қысқы маусымда тіркелді, 7 метеостанция температураның елеулі тенденциясын көрсетті. Өзгерушілік маңыздылығы қыстан басқа барлық маусымдар үшін жоғары қамтамасыз деңгейіне ие болды: тек Тұран ойпатындағы Шірік Рабат МС (қамтамасыз деңгейі 90%) мен Қарақ МС ($0,05\text{ C}$, қамтамасыз деңгейі 90%), сондай-ақ, жазық далада орналасқан барлық 4 метеостанцияда $0,06...0,07\text{ C}$ аралығында температура өзгеруінің маңыздылығы қаңтар айында бақыланды. Әр маусымда орташа температураның өзгеріс маңыздылығы әртүрлі болды. Көктемгі маусымда таңдалған 9 станция айтарлықтай тенденция көрсетті. Ең жоғары маңыздылық көрсеткіші Арал, Қызылорда, Шиелі метеостанцияларында (99,9% қамтамасыз деңгейі), Қазалы, Қарақ, Жосалы, Злиха, Аққұм метеостанцияларында (95% қамтамасыз деңгейі) бақыланды. Жазғы және күзгі маусымда да маңызды өзгерішіліктер анықталды, әсіресе едәуір өзгерістер жаз мезгілінде Тұран ойпатындағы Қазалы МС (95% қамтамасыз деңгейі) мен жазық далада орналасқан Злиха МС (қамтамасыз деңгейі 90%)

бөлек 7 метеостанцияда 99,9% қамтамасыз деңгейі байқалды. Күз мезгілінде ауа температурасының неғұрлым жоғары өзгеріс Қызылорда МС болды, Шиелі, Қарақ, Жосалы, Шірік Рабат, Аққұм МС бойынша маңызды өзгерістер бақыланды, Арал, Қазалы, Злиха МС-да өзгерістер орын алмады. Ауа температурасының ең төменгі маңызды өзгерістері қыста (90% қамтамасыз деңгейі) Тұран ойпатындағы кейбір метеостанцияларында (Қарақ, Шірік-Рабат МС), жазық даланың барлық метеостанцияларында сипатталды.

ҚОРЫТЫНДЫ

Бұл мақалада Қызылорда облысының территориясында соңғы уақытта байқалған ұзақ мерзімді температура тенденцияларын зерттеу нәтижелері бойынша келесі қорытындылар жасалды:

1. Қызылорда аумағы бойынша зерттелген 60 жыл ішінде орташа жылдық температураның айтарлықтай өсу үрдісі байқалды. Таңдалған уақыттық кезеңінде ауа температурасының бірте-бірте 10 жылда $0,2...0,89\text{ C}$ көтерілді деп сипаттауға болады.

2. Орташа жылдық температура мәндері бойынша максималды жылдық өсу көрсеткіші Қызылорда МС-да $0,051\text{ C}$ құрады.

3. Барлық метеостанцияда төрт маусымға сәйкес орташа температураның өсу тенденциясы байқалды. Ауа температура өзгерістері көктем, жаз және күз мезгілдерінде маңызды сипатқа ие болып, Манн-Кендалл статистикасы бойынша айлардың көпшілігінде өсу тенденциясы (оң Z мәндері) байқалды.

4. Ауа температурасы жоғарылауының маңызды өзгерісі маусым және тамыз айларына сәйкес келді, сондай-ақ наурыз, мамыр, қыркүйек және қазан айлары бойынша өзгеріс үрдістері бақыланды. Сонымен қатар, суық кезеңнің қараша және желтоқсан айларында температураның біршама төмендеуі (теріс M K статистикасы) байқалды, бірақ өзгеру тенденциялар маңызды болмады.

5. Тұран ойпатындағы орналасқан метеостанциялар үшін ауа температурасының өте маңызды өзгерістері көктем, жаз айларында бақыланып, максималды температура жоғарылауы Арал МС ($0,089\text{ C}$) бойынша наурыз айына сәйкес келді.

6. Жазық далада орналасқан метеостанцияларда ауа температурасының жоғарылауының маңызды өзгерістері көктем, жаз және күз айларында бақыланды. Қараша-желтоқсан айларын есептегенде Қызылорда мен Шиелі МС-да температура өсуінің статистикалық маңызды мәндері анықталды.

Қаржыландыру. Бұл зерттеуді Қазақстан Республикасы Ғылым және жоғары білім министрлігінің Ғылым комитеті (грант № BR18574227) қаржыландыруда.

ӘДЕБИЕТТЕР ТІЗІМІ:

- National Research Council (NRC) (2020) Climate change: evidence and causes: update 2020. The National Academies Press, Washington, DC
- МГЭИК, 2014: Изменение климата, 2014 г.: Обобщающий доклад. Вклад Рабочих групп I, II и III в Пятый оценочный доклад Межправительственной группы экспертов по изменению климата [основная группа авторов, Р.К. Пачаури и Л.А. Мейер (ред.)]. МГЭИК, Женева, Швейцария, 163 стр.
- MacKay R, Ko M (2001) An analysis of simulated and observed global mean near-surface air temperature anomalies from 1979 to 1999: trends and attribution of causes. *Chemosphere Glob Change Sci* 3(4):393–411. [https://doi.org/10.1016/s1465-9972\(01\)00020-4](https://doi.org/10.1016/s1465-9972(01)00020-4)
- Kogan F, Guo W (2014) Early twenty-first-century droughts during the warmest climate. *Geomat Nat Hazards Risk* 7(1):127–137. <https://doi.org/10.1080/19475705.2013.878399>
- Alexander L (2016) Global observed long-term changes in temperature and precipitation extremes: a review of progress and limitations in IPCC assessments and beyond. *Weather Clim Extremes* 11:4–16.
- Santer BD, Stephen PC, Zelinka MD et al (2018) Human influence on the seasonal cycle of tropospheric temperature. *Science* 361:6399. <https://doi.org/10.1126/science.aas8806> (eaas8806)
- de Beurs K, Henebry G, Owsley B, Sokolik I (2018) Large scale climate oscillation impacts on temperature, precipitation and land surface phenology in Central Asia. *Environ Res Lett* 13(6):065018. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/aac4d0>
- ЭК ООН (2019) Обзоры результативности экологической деятельности: Казахстан, 3 й обзор. ООН, Женева.
- Пономорев М.Д., Борсук В.Н. (1927) Климатический профиль Казахстана. Общества изучения Казахстана, Кызылорда.
- Утешов А.С.: Климат Казахстана, Ленинград: Гидрометеоиздат, 1959
- Faruq I, Shah AR, Salik KM, Ismail M (2021) Annual, seasonal and monthly trend analysis of temperature in Kazakhstan during 1970–2017 using non-parametric statistical methods and GIS technologies. *Earth Syst Environ* 5:575–595
- UNDP (2013) National Human Development Report 2008. Climate change and its impact on Kazakhstan's human development. Astana. <http://hdr.undp.org/en/content/climate-change-and-its-impact-kazakhstan%E2%80%99s-human-development>.
- Nyssonbayeva AS, Cherednichenko AV, Cherednichenko VS et al (2019) Bioclimatic conditions of the winter months in Western Kazakhstan and their dynamics in relation to climate change. *Int J Biometeorol* 63:659–669
- Salnikov V, Turulina G, Polyakova S et al (2014) Climate change in Kazakhstan during the past 70 years. *Quat Int* 358:77–82
- Argüeso D, Evans JP, Fita L et al (2013) Temperature response to future urbanization and climate change. *Clim Dyn* 42(7):2183–2199
- Yamamoto Y (2006) Measures to mitigate urban heat islands. *Sci Technol Trends Q Rev* 18(1):65–83
- IPCC (2013) Climate change 2013: the physical science basis. In: Stocker TF, Qin D, Plattner GK, Tignor M, Allen SK, Boschung J, Nauels A, Xia Y, Bex V, Midgley PM (eds) Contribution of Working group I to the fifth assessment report of the intergovernmental panel on climate change. Cambridge University Press, Cambridge
- Russell A, Ghalaieny M, Gazdiyeva B et al (2018) A spatial survey of environmental indicators for Kazakhstan: an examination of current conditions and future needs. *Int J Environ Res* 12(5):735–748
- Dubovyk O, Ghazaryan G, Gozalez J, Graw V, Low F, Schreier J (2019) Drought hazard in Kazakhstan in 2000–2016: a remote sensing perspective. *Environ Monit Assess* 191:510
- Yao J, Chen Y (2014) Trend analysis of temperature and precipitation in the Syr Darya Basin in Central Asia. *Theor Appl Climatol* 120(3–4):521–531
- Alimbaev, Zh. Mazhitova, B. Omarova, B. Kamzaev, K. Atanakova. Ecological problems of modern central Kazakhstan: challenges and possible solutions E3S Web of Conferences, 157, 1–8 (2020)
- T. Alimbaev, Zh. Mazhitova, B. Omarova, B. Kamzaev, K. Atanakova. Ecological problems of modern central Kazakhstan: challenges and possible solutions E3S Web of Conferences, 157, 1–8 (2020)
- Regional program for environmental protection of the Kyzylorda region for 2009–2011 Kyzylorda, 76 (2009)
- Mann HB (1945) Non parametric tests against trend. *Econometrica* 13:245–259
- Ezhegodnyi byulleten' monitoringa sostoyaniya i izmeneniya klimata Kazakhstana: 2021 god. - Astana, 2022. - 76 s.

REFERENCES:

- National Research Council (NRC) (2020) Climate change: evidence and causes: update 2020. The National Academies Press, Washington, DC
- MGEIK, 2014: Izmenenie klimata, 2014 g.: Obobshchayushchii doklad. Vklad Rabochikh grupp I, II i III v Pyaty otsechnyy doklad Mezhpavitel'stvennoi gruppy ekspertov po izmeneniyu klimata [osnovnaya grupp avtorov, R.K. Pachauri i L.A. Meier (red.)]. MGEIK, Zheneva, Shveitsariya, 163 p.
- MacKay R, Ko M (2001) An analysis of simulated and observed global mean near-surface air temperature anomalies from 1979 to 1999: trends and attribution of causes.

4. Kogan F, Guo W (2014) Early twenty-first-century droughts during the warmest climate. *Geomat Nat Hazards Risk* 7(1):127–137. <https://doi.org/10.1080/19475705.2013.878399>
5. Alexander L (2016) Global observed long-term changes in temperature and precipitation extremes: a review of progress and limitations in IPCC assessments and beyond. *Weather Clim Extremes* 11:4–16.
6. Santer BD, Stephen PC, Zelinka MD et al (2018) Human influence on the seasonal cycle of tropospheric temperature. *Science* 361:6399. <https://doi.org/10.1126/science.aas8806> (eas8806)
7. de Beurs K, Henebry G, Owsley B, Sokolik I (2018) Large scale climate oscillation impacts on temperature, precipitation and land surface phenology in Central Asia. *Environ Res Lett* 13(6):065018. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/aac4d0>
8. ЕЕК ООН (2019) Обзор результатов экологической деятельности: Казахстан, 3-й обзор. ООН, Женева.
9. Ponomarev M.D., Borsuk V.N. (1927) *Климатический профиль Казахстана. Обзор исследований Казахстана, Кызылорда.*
10. Uteshev A.S. *Климат Казахстана, Ленинград: Гидрометеиздат, 1959*
11. Faruq I, Shah AR, Salik KM, Ismail M (2021) Annual, seasonal and monthly trend analysis of temperature in Kazakhstan during 1970–2017 using non-parametric statistical methods and GIS technologies. *Earth Syst Environ* 5:575–595
12. UNDP (2013) National Human Development Report 2008. Climate change and its impact on Kazakhstan's human development. Astana. <http://hdr.undp.org/en/content/climate-change-and-its-impact-kazakhstan%E2%80%99s-human-development>.
13. Nyssanbayeva AS, Cherednichenko AV, Cherednichenko VS et al (2019) Bioclimatic conditions of the winter months in Western Kazakhstan and their dynamics in relation to climate change. *Int J Biometeorol* 63:659–669
14. Salnikov V, Turulina G, Polyakova S et al (2014) Climate change in Kazakhstan during the past 70 years. *Quat Int* 358:77–82
15. Argüeso D, Evans JP, Fita L et al (2013) Temperature response to future urbanization and climate change. *Clim Dyn* 42(7):2183–2199
16. Yamamoto Y (2006) Measures to mitigate urban heat islands. *Sci Technol Trends Q Rev* 18(1):65–83
17. IPCC (2013) Climate change 2013: the physical science basis. In: Stocker TF, Qin D, Plattner GK, Tignor M, Allen SK, Boschung J, Nauels A, Xia Y, Bex V, Midgley PM (eds) Contribution of Working group I to the fifth assessment report of the intergovernmental panel on climate change. Cambridge University Press, Cambridge
18. Russell A, Ghalaieny M, Gazdiyeva B et al (2018) A spatial survey of environmental indicators for Kazakhstan: an examination of current conditions and future needs. *Int J Environ Res* 12(5):735–748
19. Dubovyk O, Ghazaryan G, Gozalez J, Graw V, Low F, Schreier J (2019) Drought hazard in Kazakhstan in 2000–2016: a remote sensing perspective. *Environ Monit Assess* 191:510
20. Yao J, Chen Y (2014) Trend analysis of temperature and precipitation in the Syr Darya Basin in Central Asia. *Theor Appl Climatol* 120(3–4):521–531
21. T. Alimbaev, Zh. Mazhitova, B. Omarova, B. Kamzaev, K. Atanakova. Ecological problems of modern central Kazakhstan: challenges and possible solutions E3S Web of Conferences, 157, 1–8 (2020)
22. Regional program for environmental protection of the Kyzylorda region for 2009–2011 Kyzylorda, 76 (2009)
23. Mann HB (1945) Non parametric tests against trend. *Econometrica* 13:245–259
24. *Ezhegodnyi byulleten' monitoringa sostoyaniya i izmeneniya klimata Kazakhstana: 2021 god. - Astana, 2022. - 76 p.*

ИЗМЕНЕНИЯ ТЕМПЕРАТУРЫ ВОЗДУХА В КЫЗЫЛОРДИНСКОЙ ОБЛАСТИ КАЗАХСТАНА В ПЕРИОД 1961...2020 ГГ.

Н.С. Абдолла^{1,2*}, А.С. Нысанбаева² к.г.н., А.К. Әбдіразақ³

¹РГП «Казгидромет», Астана, Казахстан

²Казахский национальный университет им. аль-Фараби, Алматы, Казахстан

³РГП «Казэроавиация», Астана, Казахстан

E-mail: abdolla_n@meteo.kz

Цель статьи – проанализировать динамику температуры воздуха, одного из наиболее очевидных индикаторов изменения климата, и определить долгосрочные тенденции изменения температуры воздуха в Кызылординской области. Кызылординская область расположена на юго-западе Казахстана, характеризуется засушливым климатом и относится к зоне экологического бедствия. В данной работе авторами были изучены изменения температуры воздуха в период с 1961 по 2020 год на основе непараметрического статистического метода Манн–Кендалла. Метод Манн–Кендалла используется для определения наличия монотонного тренда изучаемых данных. Тест Манн–Кендалла ориентирован на повышение точности результата оценки временных рядов и позволяет определить наличие тренда. Полученные результаты характеризуются значительным изменением температуры во временных рядах Кызылординской области. Отмечено, что за выбранный период, для оценки изменений по критерию Сена,

среднегодовые изменения температуры увеличились на 0,02...0,05°C. Сезонные тенденции показали повышение средних температур в течение года, а летние месяцы существенно способствовали потеплению, наблюдаемому в Кызылординской области. Полученные данные могут служить основой для оценки как регионального изменения климата так и для оценки экологического состояния, так как метеорологические параметры а именно температура воздуха является одной из важных показателей при изучении загрязнения атмосферного воздуха Кызылординской области.

Ключевые слова: температура воздуха, изменение климата, критерий Сена, непараметрический тест Манн–Кендалла

AIR TEMPERATURE CHANGES IN KYZYLORDA REGION OF KAZAKHSTAN IN THE PERIOD 1961...2020

N.S. Abdolla^{1,2*}, A.S. Nyssanbayeva² *candidate of geographical sciences*, A.K. Abdirazak³

¹RSE «Kazhydromet», Astana, Kazakhstan

²Al-Farabi Kazakh National University, Almaty, Kazakhstan

³RSE «Kazaeronavigatsia», Astana, Kazakhstan

E-mail: abdolla_n@meteo.kz

The purpose of the article is to analyze the dynamics of air temperature, one of the most obvious indicators of climate change, and to determine the long-term trends of air temperature change in Kyzylorda region. Kyzylorda region is located in the south-west of Kazakhstan, is characterized by arid climate and belongs to the zone of ecological disaster. In this paper, the authors studied the changes in air temperature in the period from 1961 to 2020 based on the nonparametric statistical method of Mann–Kendall. The Mann-Kendall method is used to determine whether there is a monotonic trend in the studied data. The Mann–Kendall test is aimed at increasing the accuracy of the result of time series estimation and allows to determine the presence of a trend. The obtained results are characterized by a significant change in temperature in time series of Kyzylorda region. It is noted that for the selected period, to assess changes in the criterion Sen, the average annual temperature changes increased by 0.02...0.05°C. Seasonal trends showed an increase in average temperatures during the year, and the summer months significantly contributed to the warming observed in Kyzylorda region. The obtained data can serve as a basis for assessing both regional climate change and for assessing the ecological state, as meteorological parameters, namely air temperature is one of the important indicators in the study of atmospheric air pollution in Kyzylorda region.

Keywords: air temperature, climate change, Sen's criterion, Mann–Kendall non-parametric test

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

Абдолла Назерке Сұңғатқызы – жетекші инженер, Қазгидромет, РМК Ғылыми зерттеу орталығы, Климаттық зерттеулер басқармасы, Астана, Мәңгілік ел 11/1, abdolla2001n@gmail.com

Нысанбаева Айман Сагынбаевна – ғ.ғ.к., доцент, әл-Фараби атындағы ҚазҰУ, География және табиғатты пайдалану факультеті, Метеорология және гидрология кафедрасының меңгерушісі, Алматы, әл-Фараби 71, nyssaiman@mail.ru

Әбдіразак Айжарық Кенжеқызы – жетекші инженер-синоптик РМК Қазақэронавигация, ai_jarik-92@mail.ru

Абдолла Назерке Сұңғатқызы – ведущий инженер РГП Казгидромет, Научно-исследовательский центр, Управления Климатических исследований, Астана, Мәңгілік ел 11/1, abdolla2001n@gmail.com

Нысанбаева Айман Сагынбаевна – к.ғ.н., доцент, КазНУ имени аль-Фараби, Факультет географии и природопользования, заведующий кафедрой метеорологии и гидрологии, Алматы, аль-Фараби 71, nyssaiman@mail.ru

Әбдіразак Айжарық Кенжеқызы – ведущий инженер-синоптик РГП Казаэронавигация, ai_jarik-92@mail.ru

Abdolla Nazerke – leading engineer, RSE Kazhydromet, Scientific Research Center, Department of Climatic Research, Astana, Mangilik el 11/1, abdolla2001n@gmail.com

Nysanbayeva Ayman - Candidate of Geographical Sciences, Associate Professor, Al-Farabi KazNU, Faculty of Geography and Nature Management, Head of the Department of Meteorology and Hydrology, Almaty, al-Farabi 71, nyssaiman@mail.ru

Abdirazak Aizharyk – RSE Kazaeronavigatsia, leading forecaster engineer, ai_jarik_92@mail.ru

Авторлардың қосқан үлесі/ Вклад авторов/ Authors contribution:

Абдолла Назерке Сұңғатқызы – тұжырымдаманы әзірлеу, әдістемені әзірлеу, мәтінді дайындау және өңдеу, көрнекілік
Нысанбаева Айман Сағынбаевна – статистикалық талдау жүргізу, зерттеу жүргізу, ресурстар
Әбдіразақ Айжарық Кенжеқызы – бағдарламалық жасақтама жасау

Абдолла Назерке Сұңғатқызы – проведение статистического анализа, проведение исследования, ресурсы, подготовка и редактирование текста, визуализация

Нысанбаева Айман Сағынбаевна – разработка концепции, разработка методологии

Әбдіразақ Айжарық Кенжеқызы – создание программного обеспечения

Abdolla Nazerke – conducting statistical analysis, conducting a research, resources, preparing and editing the text, visualization

Nysanbayeva Ayman - concept development, methodology development

Abdirazak Aizharyk – creating software

EVALUATION OF THE TIME-SPACE DISTRIBUTION OF ATMOSPHERIC PRECIPITATION IN THE KURA-ARAS PLAIN IN THE AZERBAIJAN REPUBLIC

N.Sh. Huseynov¹ Professor, J.S. Huseynov^{2*} PhD, A.Kh. Hajiyev¹

¹National Aviation Academy, Baku, Azerbaijan

²“Azeraeronavigation” Air Traffic Control, Baku, Azerbaijan

E-mail: camal_huseynov_88@mail.ru

Characteristics of the space and time changes in the amount of precipitation in the Kura-Aras lowland were studied in the research paper. The precipitation data of the hydrometeorological station covering a decade from 1992 to 2022 was utilized in the analyses. To conduct research, the mathematical-statistical and cartographic methods were used. According to the conducted research, the amount of precipitation in the Kura-Aras lowland is 310 mm. 40% of the total amount of precipitation rains during the warm semi-period, while 60% falls in the cold semi-period in the lowland. The amount of precipitation decreases from the coastal areas to the plains during the cold, while in the warm period, this process occurs oppositely. It was determined that atmospheric precipitation decreased in January, March, April, May, June, August, October, November and December, and this indicator increased in February, July and September. The annual indicator of the amount of precipitation in the plain decreased by 10% during the years 1991-2022 compared to the base quantity (1961-1990). 18% of the total precipitation was in the range of 10-19 mm, and 16% was in the range of 20-29 mm. Compared to the norm, in the period 1991-2022, in the Kura-Aras lowland, a 19% decrease was recorded in monthly recurrences of precipitation above 50 and 60 mm, and a 15% decrease in precipitation above 70 mm. The research results can be used in the establishment of novel economic areas in the lowland, in the development of maps, economic assessment and mitigation measures against climate change.

Keywords: amount of precipitation, climate change, precipitation limits, oscillation, trend curve, variation integral

Accepted: 5.01.24

DOI: 10.54668/2789-6323-2024-112-1-79-88

INTRODUCTION

Atmospheric precipitation, which is considered one of the main climate-forming factors on Earth, is the main link of the water cycle in nature (Pierrehumbert, 2007). Falling of precipitation in case of solid and liquid directly depends on air temperature (Mammadov, 2015). In the territory of Azerbaijan, precipitation decreases from the plains to the highlands, but on the northeastern slopes of the Great Caucasus Mountains, in the Tallish Mountains, this regularity is violated (Hajiyev, 2015; Safarov, 2022). Mesoscale atmospheric circulations, air masses and local air circulation play the main role in falling of atmospheric precipitation in the country. The basis of this process is the creation of temperature differences on individual surfaces that move air masses. Thus, high heating in plain

areas causes to the acceleration of evaporation and the formation of vertical movements towards higher altitudes. The temperature of the air particles rising towards the highlands decreases and begins to saturate, and clouds and associated precipitation are formed (Huseynov, 2011; Otto, 2023). It is already known to everyone that modern warming has been rapidly expanding its effects over the past 30 years on Earth. The increase in global temperature in 1.5...2.0°C compared to previous years has accelerated the disruption of the traditional climate regime in all regions and the recurrence of anomalous atmospheric events (Mahmudov, 2022; Hajiyev, 2023). Global warming has caused beside with increase in air temperature in the South Caucasus region as well as a decrease in precipitation. A decrease in atmospheric

precipitation will lead for a decrease in water reserves, which will create conditions for a decrease in the flow volume of most rivers that take their source from the mountains. This means a decrease in underground water reserves, drying up of swamps and acceleration of salinization in plain areas, especially in the Kura-Aras lowland (Huseynov, 2020). The research of the temporal-spatial distribution of precipitation in the country area had been widely investigated by many researchers. A.M. Shikhlinski, A.A. Madatzade, N.Sh. Huseynov, F.A. Imanov, Said H. Safarov, R.N. Mahmudov, A.S. Mammadov, C.S. Huseynov, Kh.Sh. Rahimov, H.S. Nabiyev and others, carried out such researches. In such researches, the distribution of precipitation in the territory of the republic for regions, altitude zones throughout the year, it had been considered to dynamics within time (Huseynov, 2020; Safarov, 2021). However, in recent times, the increase of time series, refinements through new research methods, and the effect of climate changes on precipitation require a re-examination of the time-space distribution of atmospheric precipitation in the Kura-Aras lowland, which is the largest agricultural region of the country.

Purpose of work

Determining the modern distribution characteristics of atmospheric precipitation in Kura-Aras lowland is the main goal of the conducted research. For this purpose, determination of precipitation series in different limits, distribution on the surface of the station and the plain and multi-year dynamics were evaluated.

MATERIAL AND METHODS

All the analyzes conducted in the research work are based on the precipitation observation data conducted in Kura-Aras plain in 1992...2022. In the analysis, time-space dependencies of precipitation distributions were investigated based on mathematical, statistical and cartographic methods, using the primary data of 10 hydrometeorological stations (Goychay, Kurdamir, Zardab, Imishli, Jafarkhan, Hajigabul, Bilasuvar, Salyan, Neftchala, Goytepe). In the study, a comparative analysis of the indicators of the amount of precipitation for the years 1961...1990 and the corresponding indicators of the years 1991...2022 was carried out (WMO, 2017).

From the obtained results, graphs, histograms and tables are illustrated with the support of MS Excel and map ArcGIS software (Hydrometeorological conditions and dangerous hydrometeorological events in the territory of the Republic of Azerbaijan, 2001...2017).

DISCUSSION

The physical and geographical location of the Kura-Aras lowland creates conditions for the different distribution of atmospheric precipitation here in time and space. First of all, the location of the southeastern regions of the lowland on the coast of the Caspian Sea and the abundance of moisture reserves make it possible for the amount of precipitation to be higher in those areas. Thus, the air masses entering this region from the east and southeast are constantly transformed over the sea, the humidity of the air masses increases due to evaporation, and the warm, dry air masses are slightly moistened. Meridional currents, which form the main conditions for rainfall in the country, play a key role in the entry of more humid air masses into this region (Abdullayev, 2015). For the continental climate prevails in the central and western parts of the plain, the amount of precipitation is relatively lower than the surrounding areas. On the other hand, the average annual air temperature observed in the plain (15.5°C) is the highest average temperature in the country. This leads for long-term droughts and high evaporation rates which are harmful to agriculture in the area. Usually, moist, cold air masses from the north cannot directly enter the Kura-Aras plain. However, hot and dry air masses from the south of the lowland - the Iranian plateau dominate here in the hot season. In the coastal plain and surrounding regions, the moderating effect of the sea manifests itself in the region throughout the year (Safarov, 2021). Continentally is higher in the center and west of the plain (Mammadov, 2015). In the northwest, passing through the Jeyranchol lowland, air masses from Asia Minor and the Black Sea also affect the central part. The analysis shows that the average annual precipitation in Kura-Aras plain was 315 mm (226...606 mm) in 1991...2022. In the lowland, 40 % of the perennial precipitation fell in the warm half-period and 60% in the cold half-period (Safarov and et al., 2021).

The most annual precipitation here is 610 mm, and it rains in the plain, foothills (Goytapa) areas located in its southeast, some distance from the sea. Goychay, located on the border with the foothills of the southern ones of the Greater Caucasus Mountains, receives more precipitation than other stations located in the coastal and interior parts of the plain. Here, the distribution of precipitation in different seasons of the year gradually changes from

the coastal regions to the west of the plain. In other words, in the warm season, the amount of precipitation falling on the plain increases from east to west, and in the cold season, the amount of precipitation decreases on the contrary (Karimov, 2016; Huseynov, 2022). Seasonal distribution of precipitation becomes almost equal as you approach the border of the foothills of the southern slope of the Greater Caucasus Mountains. Precipitation in these regions is almost evenly distributed throughout the year (Table 1).

Table 1

Seasonal and semiannual distribution of precipitation in Kura-Aras plain

Station	Amount of precipitation, mm							Period, %	
	Winter	Spring	Summer	Fall	Year	Period I	Period II	Warm	Cold
Goychay	83	118	58	107	366	176	190	48	52
Kurdamir	78	105	45	104	332	150	181	45	55
Zardab	59	88	40	84	271	128	143	47	53
İmişli	64	84	33	83	265	118	147	44	56
Jafarkhan	75	82	26	80	263	108	155	41	59
Hajıgabul	66	70	20	70	226	91	135	40	60
Bilasuvar	91	89	21	106	306	110	196	36	64
Salyan	71	62	20	77	230	82	148	36	64
Neftchala	85	69	17	112	283	86	197	30	70
Goytapa	189	127	53	237	606	181	425	30	70
Lowland	86	90	33	106	315	123	192	40	60

Note: All indicators are normalized.

The change trend of atmospheric precipitation in the Kura-Aras plain during 1991...2022 compared to the climate norm (1961...1990) is also of special interest (Table 2). As can be seen from Table 2, the average monthly precipitation in Kura-Aras plain in January (6%),

March (6%), April (23%), May (22%), June (26%), August (11%), October (12%), November (5%) and December (13 %) precipitation decreased, only in February (13%), July (20 %) and September (14%) normal (1961...1990) has increased.

Table 2

Average monthly and annual precipitation anomalies (mm, %-dark black)

Station	Months												Year
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	
Goychay	-7	1	-5	-16	-18	-14	-7	-10	-5	-14	2	-7	-101
	-23	2	-12	-31	-28	-32	-32	-45	-13	-27	5	-23	-22
Kurdamir	3	1	2	-3	-1	-6	-1	-6	-2	-7	7	-6	-19
	13	5	6	-8	-2	-21	-10	-41	-6	-15	27	-21	-5
Zardab	0	-1	1	-3	-6	-2	-3	-7	-4	-9	3	-3	-35
	2	-5	3	-11	-17	-8	-25	-47	-15	-22	13	-17	-11
İmişli	2	0.2	1	-3	-7	-6	0.4	-3	4	-11	0	-6	-28
	12	1	3	-10	-21	-22	-1	-37	20	-27	0	-25	-10
Jafarkhan	1	2	-3	-6	-7	-9	1	-4	6	-11	-3	-5	-39
	6	6	-8	-20	-20	-37	14	-48	31	-26	-11	-20	-13
Hajıgabul	1	6	-3	-6	-5	-6	-3	-2	9	-5	-7	-2	-24
	8	28	-12	-21	-20	-33	-44	-35	61	-15	-24	-10	-10
Bilasuvar	-2	3	-2	-6	-7	-9	1	-5	6	-1	-2	-5	-29
	-6	9	-4	-19	-22	-44	25	-52	33	-3	-4	-14	-9
Salyan	-1	-2	-5	-14	-9	-5	-2	-2	2	-7	-4	-5	-55
	-4	-6	-18	-40	-34	-28	-61	-31	11	-18	-11	-19	-19
Neftchala	3	-2	1	-11	-9	-3	0.3	-1	10	1	-6	3	-15
	11	-7	3	-32	-36	-23	-6	-22	56	3	-14	10	-5
Goytapa	-11	19	-4	-4	-5	-3	2	4	6	6	-6	0	-15
	-18	31	-7	-11	-12	-9	35	28	12	6	-8	0	-3
Lowland	-1	3	-2	-7	-7	-6	-1	-4	3	-6	-2	-4	-36
	-4	9	-5	-21	-20	-23	-13	-31	12	-12	-4	-13	-10

Note: All indicators are normalized.

In the lowland, the greatest decrease in precipitation occurred in the months of March-June, that is, in the growing season, when agricultural plants need more moisture. The second period of greater decrease in precipitation lasts from mid-autumn to early winter, which also coincides with the initial cultivation period of

grain crops. The annual indicator of the amount of precipitation in the plain decreased up to 10% or 36 mm in 1991...2022 compared to the base amount. Precipitation fluctuations based on average indicators in Kura-Aras plain are depicted in a special graph (Figure 1).

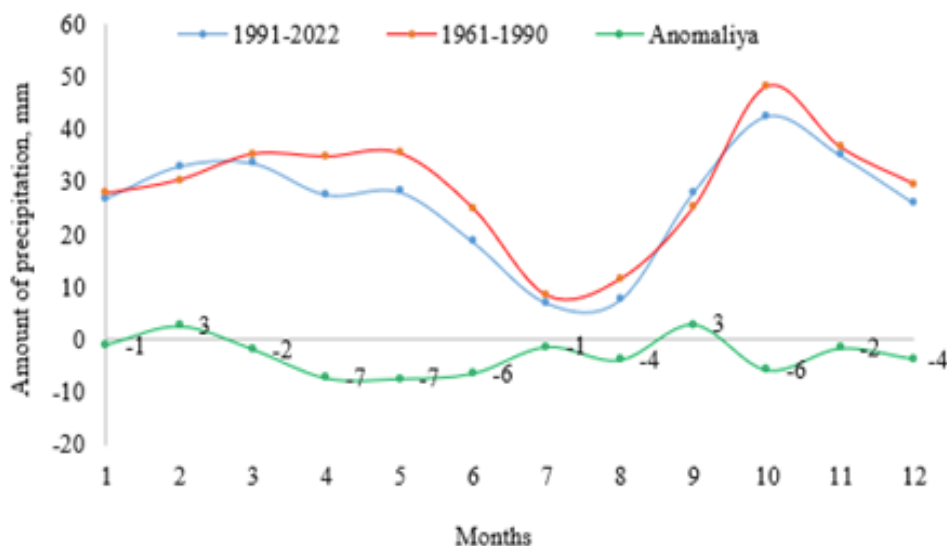


Fig. 1. Fluctuations of average monthly precipitation range in the Kura-Aras plain

The long-term dynamics of the annual amount of atmospheric precipitation in the Kura-Aras plain is accompanied by a gradual decrease (Figure 2). Thus, although there were small fluctuations in the amount of precipitation in the plain in the period covering 1961...2022, the amount of precipitation decreased during the general period. Here, precipitation increases with a greater percentage are in Hajigabul (28%, February; 61%, September), Goytapa (35%, July), Neftchala (56%, September), Bilasuvar (25%, June) and Kurdamir (27%, October). stations, notable precipitation decreases occurred at Salyan (40%, April; 61%, July), Bilasuvar (44%, June; 52%, August) and Jafarkhan (37%, June; 48%, August) stations (Table 2). The average annual rainfall in Kura-Aras plain was 355 mm in 1961...1970, 343 mm in 1971...1980, 344 mm in 1981...1990, 305 mm in 1991...2000, 2001...2010 323 mm in 2011-2020, 313 mm in 2011...2020, and 255 mm in 2021...2022. Decades spanning 1991...2000 and 2011...2020 have higher multiannual declines in lowland precipitation. During the years 1961...2022, 1964, 1970, 1971, 1983, 1989, 1995, 1998, 2001, 2019 and 2022 are

the least of the series, 1963, 1966, 1967, 1969, 1982, 1984, 1994, 2003, 2011 and 2016 are the 10 years with the most precipitation. The analyzes carried out for separate years show that 70% of the years with the most precipitation in the lowland occurred in 1994 and before. The amount of precipitation in Kura-Aras plain was 349 mm in 1961...1990, and 310 mm in 1991...2022. Difference integral curves were used to analyze multi-year dynamics of atmospheric precipitation of individual hydrometeorological stations in Kura-Aras plain (Figure 3 a, b). If we look at the graphs, in the multi-year integrated series, if we do not take into account small fluctuations in individual years, the amount of precipitation has increased in the period from 1991 to 1993 at all stations. Although this indicator decreased rapidly from 1994 to 2001, it increased again from 2002 to 2004, and from 2005 to 2015, there was a multi-year increase with occasional small fluctuations.

Since 2016, a sharp decrease in precipitation has been observed in most of the stations. There is some difference in the integral curves expressing the dynamics of precipitation in Goytapa, Neftchala and Goychay stations.

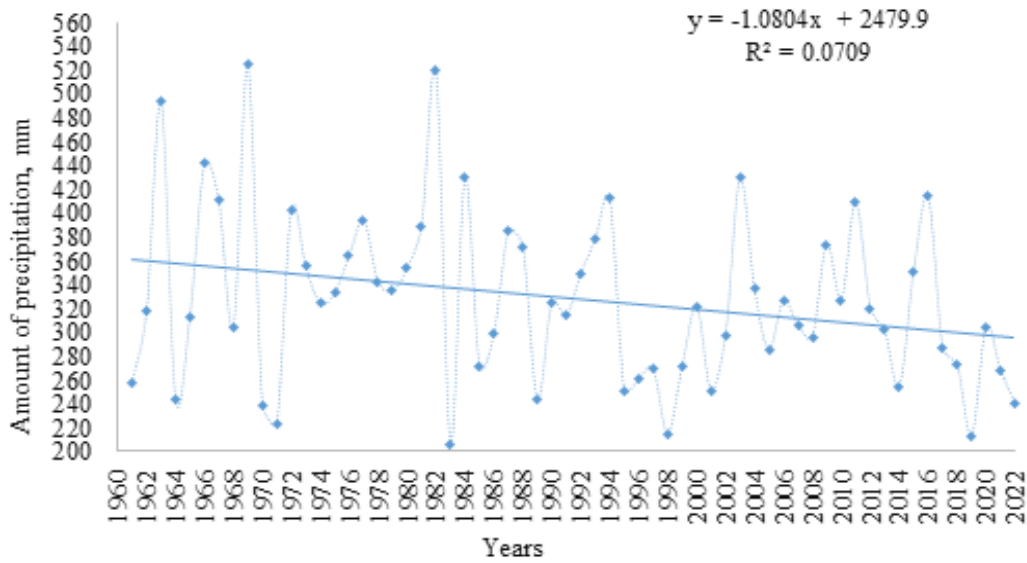
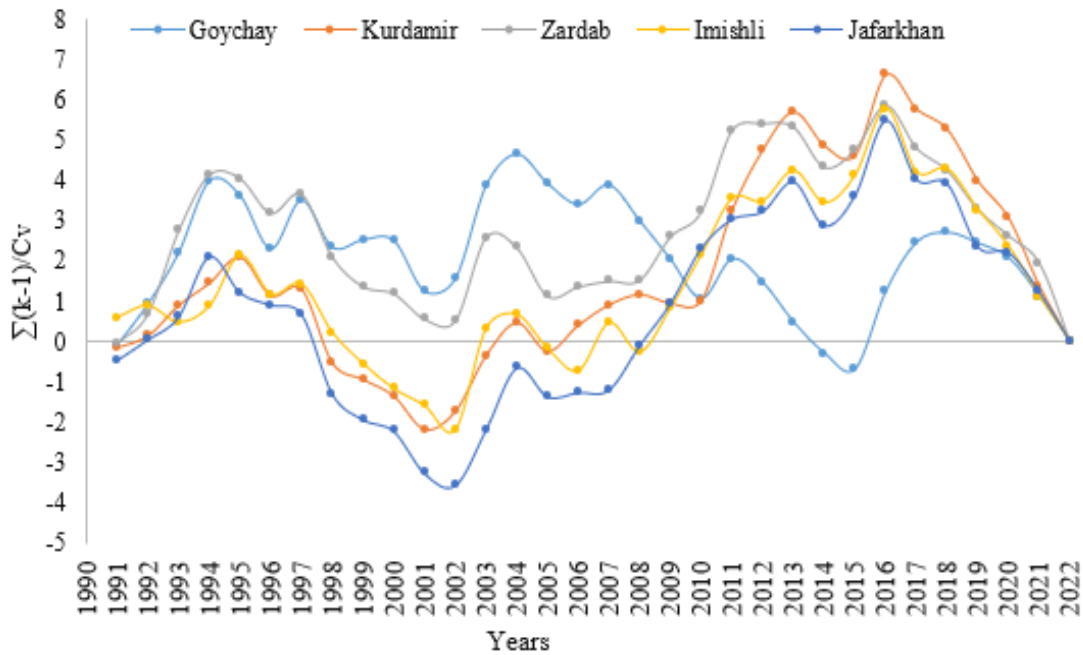


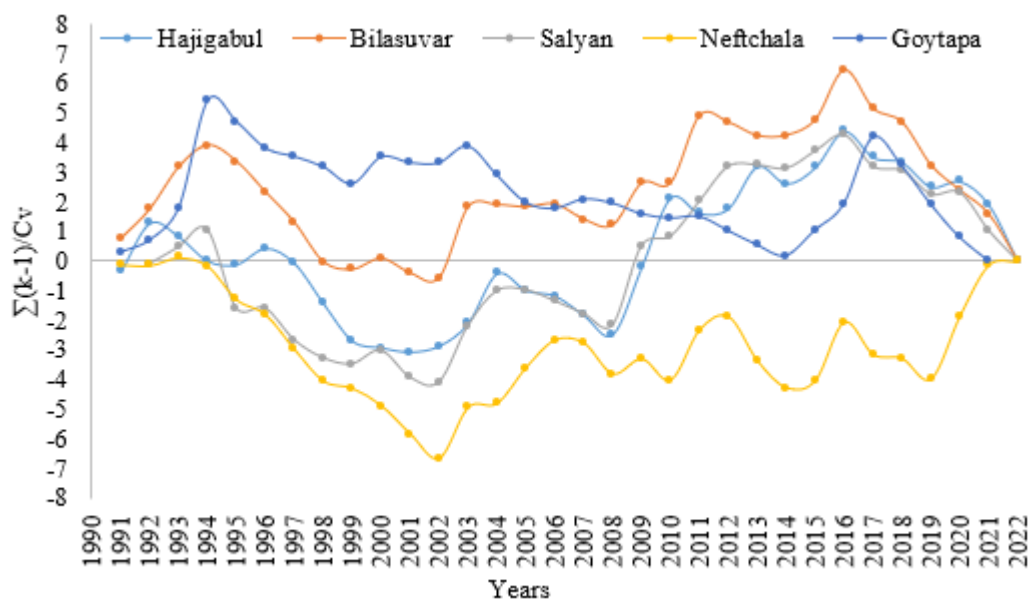
Fig. 2. Multi-year dynamics of precipitation amount in Kura-Aras plain.

This is due to the physical and geographical position of the mentioned areas. Jafarkhan, Imishli, Kurdamir, Salyan, Hajigabul and Bilasuvar stations can be mentioned as stations with more similar difference integral trends in lowland. Although this indicator decreased rapidly from 1994 to 2001, it increased again from 2002 to 2004, and from 2005 to 2015, there was a multi-year increase with occasional small fluctuations. During the general period, the highest indicator of precipitation change of the

listed hydrometeorological stations was observed in 2016, and the lowest indicator was observed in 2002, respectively. Although the internal time-space distribution of atmospheric precipitation is its main feature, the intensity and monthly amount of precipitation are also of particular importance. Determining monthly changes in rainfall within certain limits and comparing them with the climate norm are considered very important methods for detecting extreme features of dangerous precipitation.



a)



b)

Fig. 3. Dynamics of the difference integral of precipitation in 1991...2022

For this purpose, in the study, during the repetition of precipitation at 9 hydrometeorological stations (Zardab, Kurdamir, Hajigabul, Goychay, Goytapa, Bilasuvar, Jafarkhan, Salyan and Neftchala) in separate months in 1961-2022, 0-9, 10- Precipitation exceeding 0...9, 10...19, 20...29, 30...39, 40...49, 50...59, 60...69 and over 70 mm was analyzed as a hazardous event (Figure 4).

During the calculations, if the amount of precipitation meets the condition for the amount of precipitation for the analyzed months, «1», otherwise, the condition «0» is accepted, and a selection is made for the month under consideration. At the next stage, the sum of these events is found and finally the percentage of events is calculated.

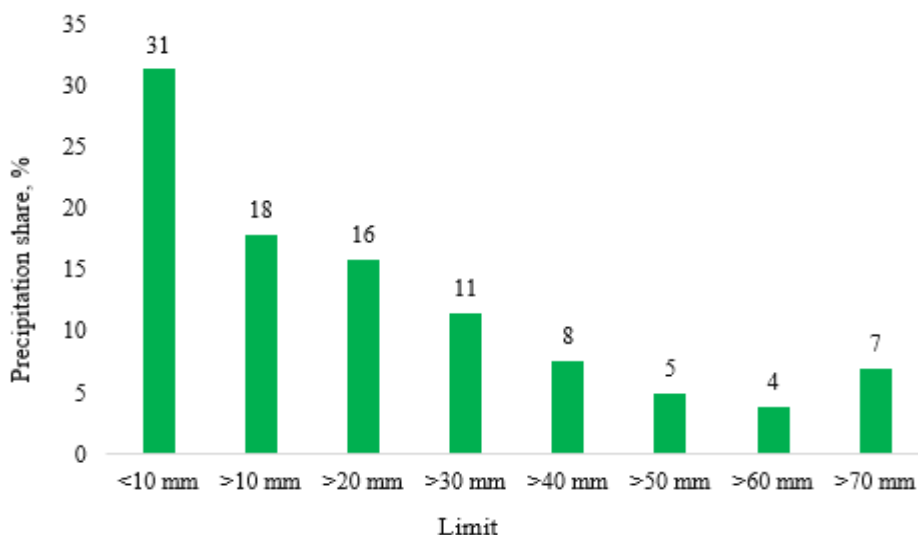


Fig. 4. Recurrence (%) of different precipitation thresholds in Kura-Aras plain

From Figure 4, it is clear that in the Kura-Aras plain, within the considered gradations, precipitation less than 10 mm prevailed. 18% of the total precipitation was in the range of 10...19 mm, and 16% was in the range of 20...29 mm. Less frequent are months with precipitation in the range of 50...70 mm. The analysis shows that

the intensity of precipitation falling on the Kura-Aras plain is very low and covers a small time phase. This is due to the lack of strong convective processes in the lowland, less observation of cumulonimbus clouds, and more precipitation falling from layered clouds. However, heavy rains also have a sufficient intensity (7%).

In addition to the above, the research also paid attention to the changes in the thresholds where precipitation is more frequent compared to the corresponding climate norm (1961...1990). The analyzes show that in the years 1991...2022, in the Kura-Aras plain, there were significant decreases in the months when the amount of precipitation was

higher than 50, 60, and 70 mm. Thus, a 19% decrease in monthly occurrences of precipitation above 50 and 60 mm, and a 15% decrease in precipitation above 70 mm was recorded. A smaller amount of variation in rainfall recurrence is observed for monthly rainfall above 10 and 20 mm (Figure 5).

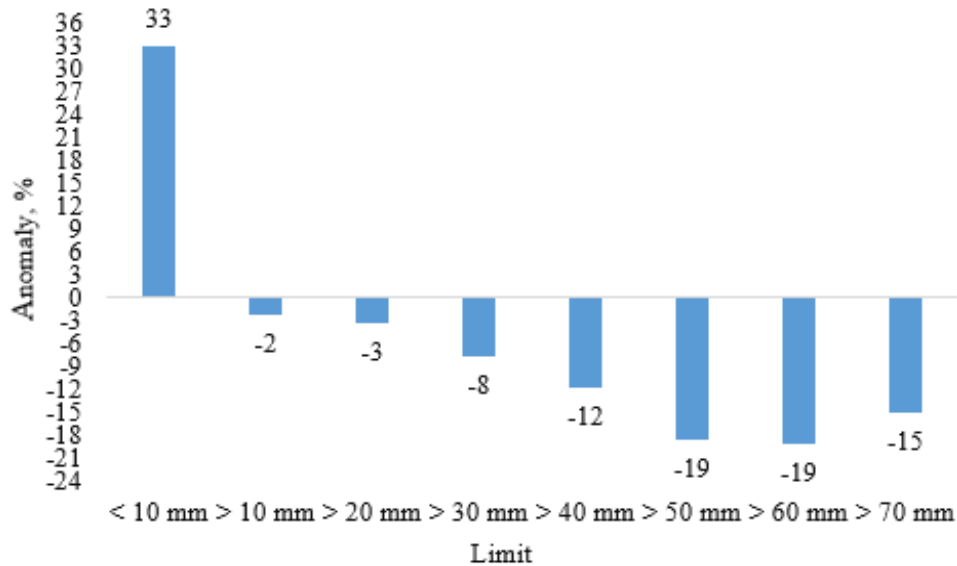


Fig. 5. Fluctuations of precipitation thresholds in Kura-Aras plain (%)

The amount of monthly precipitation is associated with a decrease in the recurrence of precipitation higher than 50... 60, and 70 mm, and a decrease in the recurrence of heavy intensity precipitation and showers. Because, in the months when continuous precipitations are not observed, the probability of repetition of precipitations in these limits is very low. However, in 1991...2022, a high (33%) increase was recorded in the recurring limit of precipitation below 10 mm. This factor creates more conditions for the expansion of droughts, which have been increasing rapidly in the region recently.

RESULTS

The following results were obtained from the analyzes carried out the basis of the preliminary data of the atmospheric precipitation of 1991...2022 in the Kura-Aras plain:

1. Average annual precipitation in Kura-Aras plain was 349 mm in 1961...1990, and 310 mm in 1991...2022.

2. 40% of the amount of precipitation in the area fell in the hot half-year and 60% in the cold half-year;

3. In January, March, April, May, June, August, October, November and December, the amount of atmospheric precipitation decreased, while

in February, July and September, this indicator increased compared to the norm. The annual indicator of the amount of precipitation in the plain decreased by 10% or 34 mm during the period 1991...2022 compared to the base amount;

4. In the Kura-Aras lowland, the amount of observed precipitation less than 10 mm was more for individual months. 18% of the total precipitation was in the range of 10...19 mm, and 16% was in the range of 20...29 mm;

5. In the Kura-Aras lowland, in 1991...2022, compared to the base (1961...1990), a 19% decrease in monthly recurrences of precipitation above 50 and 60 mm, and a 15% decrease in precipitation above 70 mm was recorded.

If the climate changes in the Kura-Aras plain continue with this dynamic, the reduction of precipitation and humidity in the Kura-Aras plain, which is considered a large agricultural region of the republic, will lead to the expansion of the area of major environmental crises (drought, salinization, etc.). The decrease in precipitation during the main periods when crops need water has led to the development of more drought-tolerant crops here. In order to mitigate the negative effects of climate changes in the area, prevention

of evaporation from the surface of existing water channels in the area, closing of the surface of water reservoirs with certain accessories (special plastic or rubber balloons), construction of field protection forest strips, mineralization of the water of artesian wells, etc. it is important to see.

REFERENCES

1. Abdullayev V.R. Distribution of atmospheric precipitation in the Caspian coastal areas of Azerbaijan // - Baku: Works of the Azerbaijan Geographical Society, - 2015. Volume XVII, - p. 311-317
2. Geography of the Republic of Azerbaijan / ed. R.M. Mammadov. - Baku: Europe, - c. 1: Physical Geography. - 2015. - 530 p.
3. Hajiyev. A. Kh. Analysis of temperature conditions during the vegetation period in the Kura-Aras plain // - Baku: Works of the Azerbaijan Geographical Society, Geography and natural resources, - 2015. No. 1, - p. 225-228.
4. Hajiyev, A.Kh. Dynamics of meteorological factors influencing desertification of the Kura-Aras lowland for the period 1991–2020. / A. Kh. Hajiyev, J.S. Huseynov, N.N. Ismayilova // – Moscow: Hydrometeorological studies and forecasts, – 2023. No. 1 (389), – p. 148-160.
5. Huseynov, N. Sh. Synoptic meteorology / N. Sh. Huseynov. - Baku: Sada, - 2011. - 316 p.
6. Huseynov, J.S., Ibrahimova, I.V. Characteristics of long-term temperature changes in the Kura-Aras plain // - Baku: Scientific Collections of the National Aviation Academy, - 2020. Volume 22, No. 1-2, - p. 80-86.
7. Huseynov.N.Sh., Huseynov.J.S. Distribution of the Contemporary Precipitation Regime and the Impact of Climate Change on it within the Territory of Azerbaijan // Journal of Geography & Natural Disasters, – Barcelona: – 04 october, – 2022, Volume 12, Issue 4, №:1000254. – P.1-7.
8. Karimov,R.N.Reducingtheeffectsofclimatechangeand adaptationmeasures/R.N.Karimov.-Baku:Teacher,-2016.-48p.
9. Mahmudov, R.N. Regional climate changes and dangerous hydrometeorological phenomena in Azerbaijan / R.N. Mahmudov. - Baku: National Aviation Academy, - 2022. - 210 p.
10. Mammadov, R.M., Safarov, S.H., Safarov, E.S. Current changes of the atmospheric precipitation regime on the territory of Azerbaijan // Geography and Natural Resources, – 2009, 30 (4), – p. 403-407.
11. Otto, FEL. (a). Attribution of extreme events to climate change // Annual Review of Environment and Resources – 2023. v.48, p. 813-828.
12. Pierrehumbert, R., Brogniez, H., Roca, R. On the relative humidity of the atmosphere // – Princeton, NJ: Princeton University Press, In The global circulation of the atmosphere, – 2007, p. 143-185.
13. Safarov,S.H.,Huseynov,C.S.,Guliyev,Z.Q.Long-term changes in the precipitation regime in the Kura valley depression region // - Baku: Works of the Azerbaijan Geographical Society, Geography and natural resources, - 2021. No. 1, - p. 11-17.
14. Safarov,S.G.Spatio-temporalfeaturesofthedistribution of precipitation on the territory of Azerbaijan / S.G. Safarov, D.S. Huseynov, Z.G. Guliyev [etc.]//– Moscow: Hydrometeorological studies and forecasts, – 2022. No. 1, – p. . 77-94.
15. World Meteorological Organization. WMO Guidelines on the Calculation of Climate Normals // Geneva, –2017. № 1203, –29 p.

ӘЗЕРБАЙДЖАН РЕСПУБЛИКАСЫНДАҒЫ КУРА-АРАКС ЖАЗЫҒЫНДАҒЫ АТМОС-ФЕРАЛЫҚ ЖАУЫН-ШАШЫННЫҢ УАҚЫТ-КЕҢІСТІК БӨЛУІН БАҒАЛАУ

Н.Ш. Гусейнов¹ профессор, Дж.С. Гусейнов^{2*} PhD, А.Х. Гаджиев¹

¹Ұлттық авиация академиясының кафедра меңгерушісі, Баку, Әзірбайжан

² «Азербайжанские Авиалинии» АҚ «Азераэронавигация» УВД, Баку, Әзірбайжан

E-mail: camal_huseynov_88@mail.ru

Мақалада Кур-Аракс жазығындағы атмосфералық жауын-шашынның кеңістік-уақыттық өзгерістерінің ерекшеліктері қарастырылады. Талдау кезінде облыстағы 10 гидрометеорологиялық станциялардың 1992...2022 жылдардағы жауын-шашын деректері пайдаланылды. Зерттеу жұмысы математикалық-статистикалық және картографиялық әдістер арқылы жүргізілді. Талдау көрсеткендей, орташа жылдық жауын-шашын мөлшері Кура-Аракс жазығында 310 мм құрайды. Жазық аймақтарда жауын-шашынның 40%-ы жылы, 60%-ы суық жартылай кезеңде түседі. Суық мезгілде жауын-шашын мөлшері жағалық аудандардан жазыққа қарай азаяды, ал жылы мезгілде керісінше. Атмосфералық жауын-шашын қаңтар, наурыз, сәуір, мамыр, маусым, тамыз, қазан, қараша, желтоқсан айларында азайып, ақпан, шілде, қыркүйекте өсті. Жазықтағы жауын-шашынның жылдық мөлшері 1991...2022 жылдар аралығында бастапқы мөлшермен салыстырғанда 10%-ға азайды. Жалпы жауын-шашынның 18%-ы 10...19 мм, ал 16%-ы 20...29 мм аралығында болды. Құра-Аракс жазығында айлық жауын-шашынның 50 және 60 мм-ден жоғары төмендеуі 19%-ға, 70 мм-ден жоғары жауын-шашынның 15%-ға азаюы тіркелді. Зерттеу нәтижелерін экономиканың жаңа бағыттарын құру үшін пайдалануға болады.

Түйін сөздер: жауын-шашын, климаттың өзгеруі, ArcGIS, жауын-шашын шектері, ауытқулар, тренд қисығы, айырмашылық интегралы

ОЦЕНКА ВРЕМЕННО-ПРОСТРАНСТВЕННОГО РАСПРЕДЕЛЕНИЯ АТМОСФЕРНЫХ ОСАДКОВ НА КУРА-АРАКСИНСКОЙ НИЗМЕННОСТИ В АЗЕРБАЙДЖАНСКОЙ РЕСПУБЛИКЕ

Н.Ш. Гусейнов¹ профессор, Дж.С. Гусейнов^{2*} PhD, А.Х. Гаджиев¹

¹Национальная Авиационная Академия, Баку, Азербайджан

²АО «Азербайджанские Авиалинии» УВД «Азераэронавигация», Баку, Азербайджан

E-mail: camal_huseynov_88@mail.ru

В статье рассмотрены особенности пространственно–временных изменений атмосферных осадков на Кура-Араксинской низменности. При анализе использовались данные об осадках с 10 гидрометеорологических станций района за период 1992...2022 гг. Исследования проводились математико-статистическими и картографическими методами. Анализ показывает, что среднегодовое количество осадков на Кура-Араксинской низменности составляет 310 мм. Здесь 40% осадков выпадает в теплый и 60% в холодный полупериод. В холодное время года количество осадков уменьшается от прибрежных районов к равнинам, а в теплое – наоборот. Атмосферные осадки уменьшились в январе, марте, апреле, мае, июне, августе, октябре, ноябре и декабре и увеличились в феврале, июле и сентябре. Годовой показатель количества осадков на равнине снизился на 10% за 1991...2022 годы по сравнению с базовой суммой. 18% общего количества осадков находилось в пределах 10...19 мм, а 16% - 20...29 мм. На Кура-Араксинской низменности зафиксировано снижение месячной выпадения осадков свыше 50 и 60 мм на 19%, а количество осадков свыше 70 мм - на 15%. Результаты исследований могут быть использованы при создании новых сфер экономики.

Ключевые слова: количество осадков, изменения климата, ArcGIS, пороги осадков, колебания, кривая тренда, интеграл разности

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

Huseynov Nazim Shakar oglu – Professor, Doctor of Science, Head of Department, National Aviation Academy, Mardakan av., 30, Baku, nazimmet@mail.ru

Huseynov Jamal Surkhay oglu – PhD, forecaster, Azerbaijan Airlines JSC, Azeraeronavigation ATM, Mardakan av., 30, Baku, jamal_huseynov_88@mail.ru

Hadjiev Agil Khanputa oglu – Postgraduate student, Senior lecturer, National Aviation Academy, Mardakan av., 30, Baku, agilhaciye35@gmail.com

Гусейнов Назим Шекар оглы – профессор, ғылым докторы, Ұлттық авиация академиясының кафедра меңгерушісі, Мардакана даңғылы 30, Баку, nazimmet@mail.ru

Гусейнов Жамал Сурхай оглы – Кандидат Наук, синоптик, «Азербайжанские Авиалинии» АҚ «Азераэронавигация» УВД, Мардакана даңғылы 30, Баку, jamal_huseynov_88@mail.ru

Хаджиев Агиль Ханпута оглы – аспирант, Ұлттық авиация академиясының аға оқытушысы, Мардакана даңғылы, 30, Баку, agilhaciye35@gmail.com

Гусейнов Назим Шакар оглы– Профессор, доктор наук, глава департамента, Национальная Авиационная Академия, Проспект Мардакана 30, Баку, nazimmet@mail.ru

Гусейнов Джамал Сурхай оглы– Кандидат наук, синоптик, АО «Азербайджанские Авиалинии» УВД «Азераэронавигация», Проспект Мардакана 30, Баку, camal_huseynov_88@mail.ru

Гаджиев Агиль Ханпута оглы - Аспирант, Старший преподаватель, Национальная Авиационная Академия, Проспект Мардакана 30, Баку, aqilhaciye35@gmail.com

Authors contribution/ Авторлардың қосқан үлесі/ Вклад авторов:

Huseynov Nazim – methodology development, conducting statistical analysis, conducting a research

Huseynov Jamal – concept development, conducting statistical analysis, conducting a research, preparing and editing the text, visualization

Hadjiev Agil – concept development, conducting a research, resources, preparing and editing the text, visualization

Гусейнов Назим Шекар оглы – әдістемені әзірлеу, статистикалық талдау жүргізу, зерттеу жүргізу

Гусейнов Жамал Сурхай оглы – тұжырымдаманы әзірлеу, бағдарламалық жасақтама жасау, статистикалық талдау жүргізу, зерттеу жүргізу, мәтінді дайындау және өңдеу, көрнекілік

Хаджиев Агиль Ханпуга оглы – тұжырымдаманы әзірлеу, бағдарламалық жасақтама жасау, статистикалық талдау жүргізу, зерттеу жүргізу, ресурстар, мәтінді дайындау және өңдеу, көрнекілік

Гусейнов Назим Шекар оглы – разработка методологии, проведение статистического анализа, проведение исследования

Гусейнов Жамал Сурхай оглы – разработка концепции, создание программного обеспечения, проведение статистического анализа, проведение исследования, подготовка и редактирование текста, визуализация

Хаджиев Агиль Ханпуга оглы – разработка концепции, создание программного обеспечения, проведение статистического анализа, проведение исследования, ресурсы, подготовка и редактирование текста, визуализация

ТИПИЗАЦИЯ ЗИМ В ИЛЕ АЛАТАУ ПО СНЕЖНОСТИ И ЛАВИННОЙ АКТИВНОСТИ

В.В. Жданов^{1*} к.т.н., Н.У. Кужагельдина^{2,3}, А.Н. Камалбекова^{1,3}, Ұ.Р. Алдаберген^{1,3}

¹ Институт географии и водной безопасности РК, Алматы, Казахстан

² РГП «Казгидромет», Астана, Казахстан

³ Казахский Национальный Университет им. аль-Фараби, Алматы, Казахстан

E-mail: zhdanovvitaliy@yandex.kz

Снежные лавины влияют на хозяйственную и рекреационную деятельность человека в горах. В отдельные лавиноактивные зимы они вызывают значительный ущерб и человеческие жертвы. В результате многолетних исследований было установлено, что сход лавин сильно зависит от метеорологических и синоптических условий каждой отдельной зимы. Основным показателем опасности текущего сезона являются суммарный и максимальный объемы сошедших лавин в конкретном речном бассейне. Он сильно зависит от высоты и водности снежного покрова и суммы выпавших осадков. Коэффициенты корреляции составляют 0,36...0,66. В отдельные лавиноопасные зимы (1965...66, 1986...87, 2016...17 гг.) в бассейне р. Киши Алматы суммарный объем лавин достигает 300...500 тыс. м³, а в нелавиноопасные зимы не превышает 20...30 тыс. м³. В годы минимальной солнечной и циклонической активности в изучаемом лавинном бассейне отмечаются наибольшие высоты снежного покрова и лавинная активность. Вероятно, это связано с тем, что зимние циклоны в холодные годы дают осадки в предгорных районах. А рост снежности и лавинной активности больше связан с весенним потеплением и началом снеготаяния. Изучение метеорологических условий лавинообразования помогает оценить потенциальную опасность текущего сезона. Это имеет практическое значение для планирования работы туристических объектов и оперативно-спасательных служб в горах.

Ключевые слова: лавинная активность, снежность, Иле Алатау, высота и водность снега, количество осадков, суммарный объем лавин

Поступила: 15.03.24

DOI: 10.54668/2789-6323-2024-112-1-89-99

ВВЕДЕНИЕ

При описании снежных лавин часто используют несколько терминов. Под лавинной активностью подразумевают частоту схода снежных лавин. Разделяют активность территории и сезона года. Лавинной опасностью называют вероятность схода лавин в конкретный промежуток времени. Термин лавинная активность используют географы при описании района, а термин лавинная опасность используют инженера-лавиноводы при составлении прогнозов (Божинский, 1987).

Изучением лавинной активности гор Иле Алатау в 60...80 годы активно занимались сектор географии АН КазССР и лавинная партия Управления гидрометслужбы КазССР. Методическое руководство осуществлял Среднеазиатский гидрометеорологический

институт в г. Ташкент. Были начаты регулярные снеголавинные наблюдения на сети снеголавинных станций. По их результатам созданы карты лавинной активности территории и разработаны методы прогноза лавинной опасности (Северский, 1978; Северский 1990).

Однако в 90-е годы из-за экономического кризиса и распада СССР были упразднены многие снеголавинные подразделения. На 2 оставшихся снеголавинных станциях проводились упрощённые наблюдения, а изучением лавин стала заниматься только лаборатория природных опасностей Института географии. Поэтому при прогнозе и оценке схода лавин до сих пор используют методики и карты, созданные еще в XX веке (Кондрашов, 1991).

В связи с глобальными изменениями климата данные, собранные много лет назад

устаревают (Селиверстов, 2007). Также устаревают методы прогноза схода лавин, потому что социалистическая экономика поменялась на рыночную и потребителя не устраивают ошибки прогнозов и экономические потери. Тема изучения природных опасностей очень актуальна. На основе новых данных будут планироваться строительство рекреационных объектов (туристических, горнолыжных) и планироваться работа оперативно-спасательных служб.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Для проведения исследований были обработаны климатические архивы РГП «Казгидромет». Собирались среднегодовые данные о высоте и водности снега, количестве осадков, температуре воздуха, суммарном и максимальных объемах сошедших лавин. Источником данных были технические отчеты снеголавинной станции «Шымбулак» (Технические отчеты СЛС «Шымбулак», 1966...2022 гг.), архивы АО «Институт географии и водной безопасности», материалы многолетних наблюдений за осадками и снежным покровом в горах (Боев, 1953...2022), материалы авторефератов диссертаций И.В. Северского и И.В. Кондрашова (Кондрашов, 1991). Анализировался период наблюдений с 1966 по 2022 годы (57 лет). Также были восстановлены данные за экстремальную зиму 1965...66 годы, когда регулярных наблюдений не было, но было обследование под руководством Северского И.В. (Северский, 1978; Северский 1990).

Для оценки взяты данные одной из старейших снеголавинных станций в Казахстане. Здесь начиная с 1966 года ведутся полноценные снеголавинные наблюдения и упрощенные метеорологические наблюдения. Климатические данные по температуре воздуха анализировались на станции Алматы, потому что на СЛС Шымбулак до 2000 года не велись полноценные метеонаблюдения, а в 2000 г. станция была объединена с МС «Усть-Горельник». Для анализа взят лавиноопасный период с ноября по апрель.

Для анализа данных применялся профессиональный статистический пакет

Statistica 13 от компании Statsoft (сайт Российского представительства фирмы Statsoft). Этот пакет позволяет проводить полный комплекс статистического анализа данных – расчет средних характеристик, анализ временных рядов, подбор закона распределения. Результаты автоматически сравниваются со статистическими таблицами и вычисляется вероятность ошибки расчётов (Боровиков, 2018).

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Показатели лавинной активности

Основным показателем лавинной активности региона или сезона года являются следующие параметры: суммарный и максимальный объемы сошедших лавин, количество лавин. Они вычисляются ежегодно по данным наблюдений на снеголавинных станциях. Среднестатистические показатели лавинной деятельности в бассейне р. Киши Алматы приведены в таблице 1. Из-за отличия рядов от нормального распределения среднее значение и медиана сильно отличаются. Так же отмечается значительная вариация значений год от года, что усложняет расчет точных среднемноголетних значений.

В среднем суммарный объем лавин в бассейне р. Киши Алматы составляет 142,7 тыс. м³, а средний максимальный объем лавин 31,6 тыс. м³. Абсолютный максимальный объем зарегистрированной лавины составляет 350 тыс. м³ в марте 1965 г. Для сравнения на Кавказе и Сахалине регистрируются лавины, объемами до миллиона м³ (Казаков, 2017). Но это районы с влажным морским климатом и количеством осадков несколько тысяч мм в год и высотой снега до 2..3 м. А Северный Тянь-Шань относится к районам с сухим внетриконинентальным климатом, где количество осадков не превышает 1000 мм в год, а высота снега на склонах бывает в пределах 1 м.

Результаты проверки рядов наблюдений на однородность и нормальность приведены в таблице 2. Проверка с помощью критериев согласия Стьюдента показала, что все ряды принадлежат к одной однородной генеральной совокупности (Боровиков, 2018). Критерии оказались статистически значимыми на стандартном 5 % уровне значимости.

Однако, согласно многим исследователям распределение стихийных природных явлений не подчиняется нормальному закону распределения Гаусса. Оно подчиняется закону распределения Парето, характерному для редких, но крупных событий (Акимов, 2001; Владимиров, 2000). Проверка с помощью тестов Колмогорова-Смирнова (K-S) подтвердила закон распределения. Критерий K-S оказался статистически значимым на 10 % уровне значимости.

Это означает что для описания лавинной активности в этом случае рекомендуется использовать непараметрические величины. Математическое ожидание лучше всего описывает медиана, и она сильно отличается от среднего статистического значения. Можно сделать выводы, что срединным значением суммарного объема лавин будет медиана – 86 тыс. м³, а половина значений укладывается в межквартильный размах 142,2 тыс. м³.

Таблица 1
Статистические характеристики показателей лавинной активности в бассейне реки Киши Алматы

Статистические характеристики	Суммарный объем лавин, тыс м ³	Максимальный объем лавин, тыс м ³	Количество лавин
Период наблюдений, годы	57	57	54
Среднее	142,7	31,6	43
Медиана	86,0	15,0	41
Минимум	0,2	0,2	2
Максимум	1300,0	350,0	103
Дисперсия	35225,8	2626,9	571
Стандартное отклонение	187,7	51,3	24
Коэфф. вариации	131,5	162,0	55
Стандартная ошибка	24,9	6,8	3
Нижний квартиль	49,4	10,0	26
Верхний квартиль	191,6	30,0	57
Межквартильный размах	142,2	20,0	31

Таблица 2
Проверка однородности рядов наблюдений на СЛС «Шымбулак» с помощью статистических критериев согласия

	Критерий Стьюдента <i>t</i>	Ошибка расчёта <i>p-level</i>
Суммарный объем – максимальный объем	<u>5,74</u>	0,0000
Суммарный объем – количество лавин	<u>5,49</u>	0,0000
Максимальный объем – количество лавин	<u>-3,80</u>	0,0004

*Примечание: подчеркнутым шрифтом обозначены статистически значимые значения критерия согласия

Межгодовая изменчивость лавинной активности

Анализ временного хода снежности и лавинной активности очень важен для планирования хозяйственной деятельности в горном регионе. Он был проведен в серии статей (Жданов, 2013; Медеу, 2022; Медеу, 2022). На рисунке 1 показан межгодовой ход основных показателей лавинной активности – суммарного объема лавин, водности снежного покрова и суммы выпавших осадков. Самые

снежные и активные зимы это 1965...66, 1979...80, 1986...87, 2016...17, 2021...22 гг. Самые малоснежные и не лавиноактивные зимы были – 1967...68, 1970...71, 1994...95, 1999...00, 2010...11 гг. существует прямая зависимость – многоснежные зимы обычно самые лавиноактивные. Поэтому для долгосрочной оценки и прогноза лавинной активности сезона необходимо анализировать снежность и количество осадков.



Рис. 1. Межгодовая изменчивость количества осадков, водности снега (данные СЛС Шымбулак) и суммарного объема лавин в бассейне Киши Алматы

Важным показателем изменчивости климата являются индексированные (нормированные) величины. Индексы SPI показывают отношение к среднемуголетним значениям и используются климатологами по всему миру. Нормирование величин было автоматически проведено благодаря возможностям программы Statistica. Одновременный ход индексов осадков, высоты

снега и суммарного объема лавин по данным снеголавинной станции Шымбулак показаны на рисунке 2. В самые лавиноактивные зимы наблюдалось одновременное увеличение высоты снега и количества осадков в 1,5...2,0 выше многолетней нормы. Соответственно в зимы слабой лавинной активности отмечались снегозапасы и осадки ниже климатической нормы.

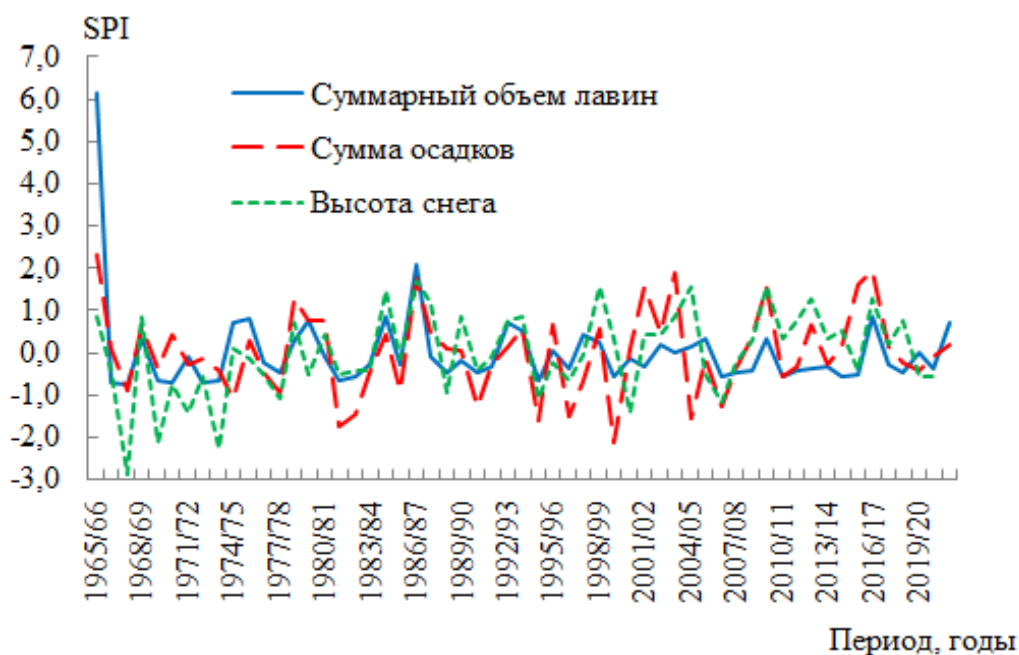


Рис. 2. Межгодовая изменчивость индексов (SPI) количества осадков ноябрь-апрель, средней высоты снега и суммарного объема лавин

Связь лавинной активности и климатических параметров

Статистическая зависимость между лавинной активностью и климатическими параметрами была изучена с помощью расчетов коэффициентов корреляции. Так как ряды наблюдений отличаются от нормального распределения Гаусса была выбрана ранговая (непараметрическая) корреляция Спирмена. Большинство коэффициентов оказались статистически значимыми при уровне значимости (α -level) 5 % и вероятности ошибки (p -level) = 0,05. Результаты расчётов показаны в

таблице 3. Нет подтверждения статистической зависимости только с количеством осадков на метеостанциях в апреле. Это связано с тем, что в это время регистрируется сход лавин в высокогорной ледниковой зоне, а на станциях, расположенных ниже по высоте уже отмечаются жидкие осадки. Количество осадков, высота и водность снежного покрова являются главными показателями снежности и потенциальной лавинной активности зимы (Пиманкина, 2013; Пиманкина, 2014; Коновалов, 2016).

Таблица 3

Статистическая зависимость (ранговая корреляция Спирмена) между лавинной активностью и основными метеорологическими параметрами

	Суммарный объем лавин	Максимальный объем лавин	Количество лавин
Осадки (ноябрь-апрель) СЛС Шымбулак	<u>0,50</u>	<u>0,36</u>	<u>0,45</u>
Осадки (ноябрь-апрель) МС Мынжылки	<u>0,54</u>	<u>0,38</u>	<u>0,41</u>
Средняя высота снега СЛС Шымбулак	<u>0,56</u>	<u>0,34</u>	<u>0,64</u>
Средняя водность снега СЛС Шымбулак	<u>0,51</u>	<u>0,31</u>	<u>0,62</u>
Осадки за апрель МС Алматы	0,22	0,18	0,16
Осадки за март МС Алматы	<u>0,41</u>	<u>0,38</u>	0,24
Осадки за март СЛС Шымбулак	<u>0,35</u>	<u>0,35</u>	0,09
Осадки за апрель СЛС Шымбулак	0,14	0,11	0,18
Осадки за март МС Мынжылки	<u>0,40</u>	<u>0,35</u>	0,16
Осадки за апрель МС Мынжылки	0,14	0,21	0,01
Осадки (ноябрь-апрель) МС Алматы	<u>0,51</u>	<u>0,38</u>	<u>0,47</u>
Максимальная высота снега СЛС Шымбулак	<u>0,57</u>	<u>0,32</u>	<u>0,61</u>
Максимальная водность снега СЛС Шымбулак	<u>0,55</u>	<u>0,33</u>	<u>0,66</u>

*Примечание: p -level = 0,05; α -level = 0,05; $R_{critical}$ = 0,30

Типизация зим по метеорологическим особенностям и лавинной активности

Для оценки лавинной активности сезона очень важно установить зависимости между основными метеорологическими факторами лавинообразования и непосредственно сходом снежных лавин. Подобные работы были проведены в МГУ для гор Кавказа (Олейников, 2000; Олейников, 2020; Куксова, 2021). Зимы были разбиты на 2 типа: многоснежные лавиноактивные, малоснежные нелавиноактивные. Подобную типизацию мы решили провести для бассейна реки Киши Алматы. Данные по

характеристикам зим приведены в таблице 4. Можно сделать выводы, что существует обратная зависимость – в годы минимальной солнечной и циклонической активности в изучаемом лавинном бассейне отмечаются наибольшие высоты снежного покрова и лавинная активность. Вероятно, это связано с тем, что зимние циклоны в холодные годы дают осадки в предгорных районах. А рост снежности и лавинной активности больше связан с весенним потеплением и началом снеготаяния.

Таблица 4
 Типизация зим по снежности и лавинной активности по данным наблюдений в бассейне реки Киши Алматы

Тип зимы	Сумм. объем лавин, тыс. м ³	Макс объем лавин, тыс. м ³	Ср. высота снега, см	Ср. водность снега, мм	Сумма осадков XI-IV, мм	Т в МС Алматы, С	Солн. активн. (Числа Вольфа)	Количество выходов циклонов
многоснежные лавиноактивные	545	55	58	138	450	0,5	23	16
малоснежные нелавиноактивные	8	4	31	64	296	-0,2	82	19

Описание самых лавиноактивных зим за период наблюдений 1966...2022 гг.

Зима 1965...66 годов считается экстремально лавиноопасной за всю историю наблюдений. В это время не было стационарной снеголавинной станции и данные поступали от экспедиционных обследований, проводимых на Мало-Алматинском снегомерном маршруте. После поступления информации о сходе катастрофических лавин было проведено дополнительное обследование под руководством Северского И.В. (Северский, 1978). По его результатам был отмечен массовый сход катастрофических лавин, суммарным объемом больше 1 млн м³ в бассейне р. Киши Алматы. Были разрушены помещения альпинистских и туристских баз, линии электропередач, пострадал старый каток «Медео». Погиб 1 человек, больших жертв не было поскольку ущелье было закрыто для подготовки бурово-взрывных работ на плотине Медео. Была зарегистрирована крупнейшая лавина, объемом 350 тыс. м³. После этой зимы было принято решение об открытии снеголавинных станций и строительстве защитных сооружений. По данным метеонаблюдений на склонах отмечались снегозапасы, превышающие средние многолетние значения (рис. 1...2). Причиной схода стали экстремальные снегопады в период 10...15 марта, когда выпало более 100 мм осадков.

Зима 1986...87 годов тоже была одной из самых лавиноактивных. Массовый сход лавин отмечался не только в Иле Алатау, но и

в других горных системах Советского Союза. В бассейне реки Киши Алматы суммарный объем сошедших лавин превысил 500 тыс. м³. В верховьях реки Бутаковка несколько катастрофических лавин образовали завалы, объемом более 700 тыс. м³. Был нанесен материальный ущерб туристическим и альпинистским базам, погибло несколько человек. Частично пострадали лавинозащитные сооружения, которые потом пришлось восстанавливать. Причиной схода стала многоснежная зима и значительные снегозапасы в горах.

Зима 2021...22 годов стала одной из самых лавиноактивных в XXI веке. Отмечался массовый сход катастрофических лавин во всем хребте Иле Алатау. В бассейне р. Киши Алматы разрушений не было, но был нанесен ущерб объектам в других ущельях. Пострадала горнолыжная база в ущелье Котырбулак. Зима отличалась крайне неравномерным распределением осадков и высот снега. В течении зимних месяцев высота снега составляла 40...60 % от средних многолетних значений. Однако в период 9...17 марта выпали экстремальные осадки (больше 60 мм) и высота снега на склонах на 20...40 % превысила нормы. Это спровоцировало массовый сход лавин, наибольшее количество из них отмечено в районе СЛС «Шымбулак». Суммарный объем лавин составил 343 тыс. м³, что в 2 раза превышает многолетнее значение, хотя в других ущельях подобного массового схода не было.

Зима 2022...23 годов тоже оказалась очень лавиноактивной. Хотя по количеству осадков и суммарному объему лавин она немного превышала многолетние значения. Однако были зарегистрированы сход катастрофических лавин, которые нанесли значительный ущерб и вызвали человеческие жертвы. Очередной раз была разрушена горнолыжная

база в ущелье Котырбулак, а в ущелье Турген из-за схода лавин были перекрыты дороги и много туристов остались в районе плато Ассы без помощи. На рисунке 3 приведены последствия схода лавины в районе снеgolавинного поста «Турбаза Алматау» в ущелье Котырбулак (Отчет НИР, Медеу, 2023).



Рис. 3. Последствия схода лавины 11.04.2023 г. в ущелье Котырбулак, где был нанесен ущерб горнолыжной базе «Пионер». Фото Жданова В.В.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Горы Иле Алатау относятся к регионам с сухим внутриконтинентальным климатом. В среднем за зиму количество осадков не превышает 300...400 мм, а высота снега на склонах 1 метра. Отмечаются лавины небольших и средних объемов, суммарный объем лавин за лавиноопасный сезон бывает в пределах 50...100 тыс. м³. Сход лавин активизируется в марте и апреле. Однако в отдельные многоснежные зимы количество осадков может превышать 500 мм, а высота снега 1,5...2,0 метра. В такие зимы может отмечаться массовый сход катастрофических лавин, а суммарный объем в ущелье Киши Алматы может превышать 1 млн м³.

Лавинная активность зимнего сезона тесно связана с высотой и водностью снежного покрова и количеством выпавших осадков. Отмечаются статистически значимые коэффи-

циенты корреляции между показателями снежности и лавинной активности. А самые лавиноопасные зимы приходятся на годы, когда осадки и высота снега превышали многолетние нормы.

В годы минимальной солнечной и циклонической активности в изучаемом лавинном бассейне отмечаются наибольшие высоты снежного покрова и лавинная активность. Вероятно, это связано с тем, что зимние циклоны в холодные годы дают осадки в предгорных районах. А рост снежности и лавинной активности больше связан с весенним потеплением и началом снеготаяния.

В целом лавинная активность тесно связана со снежностью каждого отдельного сезона. А оценка метеорологических условий сезона позволит запланировать будущую лавинную активность и работу оперативно-спасательных служб.

Авторы выражают благодарность сотрудникам снеголавинных подразделений филиала РГП «Казгидромет» по г. Алматы в сборе материала.

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

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Акимов В., Новиков В., Радаев Н. Природные и техногенные чрезвычайные ситуации: опасности, угрозы, риски. – Москва: ЗАО ФИД «Деловой экспресс», 2001. – 324 с.
2. Боровиков В.П. Популярное введение в современный анализ данных и машинное обучение на Statistica. – Москва, Изд-во «Горячая линия – Телеком», 2018. – 354 с.
3. Божинский А.Н., Лосев К.С. Основы лавиноведения. – Ленинград, 1987. – 280 с.
4. Глазовская Т.Г., Трошкина Е.С. Влияние глобального изменения климата на лавинный режим на территории бывшего Советского Союза // МГИ. – 1998. – № 84. – С. 88–91.
5. Жданов В.В., Долгих С.А. Влияние основных метеорологических факторов на лавинную активность (на примере бассейна реки Киши Алматы) // Гидрометеорология и экология. – 2013. – № 1. – С. 7–16.
6. Kuksova N.E., Toropov P.A., Oleinikov A.D. Meteorological conditions of extreme avalanche formation in the Caucasus Mountains (according to observations and reanalysis) // Ice and Snow. – 2021. – № 61 (3). – С. 377–390. [In Russian]. doi: 10.31857/S2076673421030095.
7. Кондрашов И.В. Прогноз лавин и некоторых характеристик снежности в горах Казахстана. – Ленинград: Гидрометеоздат, 1991. – 98 с.
8. Коновалов В.Г., Пиманкина Н.В. Пространственно-временное изменение составляющих водного баланса на северном склоне Заилийского Алатау. Лёд и Снег. – 2016. – 56(4). – С. 453–471. <https://doi.org/10.15356/2076-6734-2016-4-453-471>
9. Oleinikov A.D., Volodicheva N.A. Winters of avalanche maximum in the Greater Caucasus for the period of instrumental observations (1968–2016) // Ice and Snow. – 2020. – № 60 (4). – С. 521–532. [In Russian]. doi:10.31857/S2076673420040057.
10. Олейников А.Д., Володичева Н.А., Бояршинов А.В. Снежность зим и лавинная деятельность на Большом Кавказе за период инструментальных наблюдений // МГИ. – 2000. – Вып.88. – С. 74–83.
11. Отчет НИР «Разработать метод прогноза снежных лавин в Иле Алатау с использованием методов искусственного интеллекта». – Рук. Медеу А.Р. – Институт географии и водной безопасности, 2023. – 40 с. – Инв. №. AP09260155
12. Материалы ежегодных наблюдений за снежным покровом и осадками в горах / под ред. Боева Ю.С. РГП «Казгидромет», 1953–2022 гг.
13. Medeu A., Blagoveshchenskiy V., Gulyayeva T., Zhdanov V., Ranova S. Interannual Variability of Snowiness and Avalanche Activity in the Ile Alatau Ridge, Northern Tien Shan // Water. – № 14,

2022. – 2936. <https://doi.org/10.3390/w14182936>.
14. Medeu A. R., Blagoveshchenskiy V. P., Zhdanov V. V., and Ranova S. U. Application of Mathematical Statistics to Assess the Avalanche Danger Level in the Ile Alatau Mountains // Meteorologiya i Gidrologiya, 2022, №. 7, pp. 34–45. <https://doi.org/10.3103/S1068373922070056>
15. Пиманкина Н.В. Изменение климата и опасность сильных снегопадов и снеговых нагрузок в горах Казахстана // Гидрометеорология и экология. – № 3. – 2014. – С. 34–45.
16. Pimankina N., Kononova N.K., Yeriskovskaya L.A. Analysis of the influence of atmospheric circulation onto the fluctuations of the Tuyuksu Glacier mass balance (Ile Alatau mountains) // Abstract Proceedings. Davos Atmosphere and Cryosphere Assembly DACA-13. July 8–12, 2013. – P. 1116.
17. Селиверстов Ю.Г., Глазовская Т.Г., Шныпарков А.Л. Сценарий изменения лавинной деятельности на Европейской части России в XXI веке // Сб. докладов III Междунар. конф. Лавины и смежные вопросы. – Кировск, Россия, 4–8 сентября, 2006. – Кировск: ООО Апатит-Медиа Апатиты, 2007. – С. 201–207.
18. Северский И.В., Благовещенский В.П. Лавиноопасные районы Казахстана. – Алма-Ата: Изд-во «Наука», 1990. – 172 с.
19. Северский И.В. Снежные лавины Заилийского и Джунгарского Алатау. – Алма-Ата: Изд-во «Наука», 1978. – 255 с.
20. Сайт российского представительства фирмы StatSoft. URL: <http://www.StatSoft.ru> [Электрон. ресурс] (Дата обращения 30.01.2023).
21. Сборник трудов III международного симпозиума «Физика, химия и механика снега». Под ред. Казакова Н.А. – Южно-Сахалинск, 2017. – Ч. I–II. – 158 с.
22. Технические отчеты СЛС «Шымбулак» за 1966–2022 гг. Составители: Кондрашов И.В., Тыналин О.Ж. Бумажный архив РГП «Казгидромет».
23. Управление риском. Риск, устойчивое развитие, синергетика / В.А. Владимиров, Г.Г. Малинецкий, А.В. Подлазов и др. – М.: Наука, 2000. – 432 с.

REFERENCES

1. Akimov V., Novikov V., Radaev N. Prirodnye i tekhnogennye chrezvychainye situatsii: opasnosti, ugrozy, riski. – Moskva: ZAO FID «Delovoi ekspress», 2001. – 324.
2. Borovikov V.P. Populyarnoe vvedenie v sovremennyy analiz dannykh i mashinnoe obuchenie na Statistica. – Moskva, Izd-vo «Goryachaya liniya – Telekom», 2018. – 354 s.
3. Bozhinskii A.N., Losev K.S. Osnovy lavinovedeniya. – Leningrad, 1987. – 280 s.
4. Glazovskaya T.G., Troshkina E.S. Vliyanie global'nogo izmeneniya klimata na lavinnyi rezhim na territorii byvshego Sovetskogo Soyuza // MGI. – 1998. – № 84. – S. 88–91.
5. Zhdanov V.V., Dolgikh S.A. Vliyanie osnovnykh meteorologicheskikh faktorov na lavinnuyu aktivnost' (na primere basseina reki Kishi Almaty) // Gidrometeorologiya i ekologiya. – 2013. – № 1. – S. 7–16.
6. Kuksova N.E., Toropov P.A., Oleinikov A.D. Meteorological conditions of extreme avalanche formation in the Caucasus Mountains (according to observations and reanalysis) // Ice and Snow. – 2021. – № 61 (3). – S. 377–390. [In Russian]. doi: 10.31857/S2076673421030095.

7. Kondrashov I.V. Prognoz lavin i nekotorykh kharakteristik snezhnosti v gorakh Kazakhstana. –Leningrad: Gidrometeoizdat, 1991. – 98 s.
8. Konovalov V.G., Pimankina N.V. Prostranstvenno vremennoe izmenenie sostavlyayushchikh vodnogo balansa na severnom sklone Zailiiskogo Alatau. Led i Sneg. – 2016. – 56(4). – S. 453-471. <https://doi.org/10.15356/2076-6734-2016-4-453-471>
9. Oleinikov A.D., Volodicheva N.A. Winters of avalanche maximum in the Greater Caucasus for the period of instrumental observations (1968–2016) // Ice and Snow. –2020. – № 60 (4). –S. 521–532. [In Russian]. doi:10.31857/S2076673420040057.
10. Oleinikov A.D., Volodicheva N.A., Boyarshinov A.V. Snezhnost' zim i lavinnaya deyatelnost' na Bol'shom Kavkaze za period instrumental'nykh nablyudenii // MGI. –2000. –Vyp.88. –S. 74–83.
11. Otchet NIR «Razrabotat' metod prognoza snezhnykh lavin v Ile Alatau s ispol'zovaniem metodov iskusstvennogo intellekta». –Ruk. Medeu A.R. –Institut geografii i vodnoi bezopasnosti, 2023. –40 s. –Inv. №. AP09260155
12. Materialy ezhegodnykh nablyudenii za snezhnym pokrovom i osadkami v gorakh / pod red. Boeva Yu.S. RGP «Kazgidromet», 1953-2022 gg.
13. Medeu A., Blagoveshchenskiy V., Gulyayeva T., Zhdanov V., Ranova S. Interannual Variability of Snowiness and Avalanche Activity in the Ile Alatau Ridge, Northern Tien Shan // Water. – № 14, 2022. – 2936. <https://doi.org/10.3390/w14182936>.
14. Medeu A. R., Blagoveshchenskiy V. P., Zhdanov V. V., and Ranova S. U. Application of Mathematical Statistics to Assess the Avalanche Danger Level in the Ile Alatau Mountains // Meteorologiya i Gidrologiya, 2022, №. 7, pp. 34–45. <https://doi:10.3103/S1068373922070056>
15. Pimankina N.V. Izmenenie klimata i opasnost' sil'nykh snegopadov i snegovykh nagruzok v gorakh Kazakhstana // Gidrometeorologiya i ekologiya. – № 3. – 2014. – S. 34-45.
16. Pimankina N., Kononova N.K., Yeriskovskaya L.A. Analysis of the influence of atmospheric circulation onto the fluctuations of the Tuyuksu Glacier mass balance (Ile Alatau mountains) // Abstract Proceedings. Davos Atmosphere and Cryosphere Assembly DACA-13. July 8-12, 2013. – P. 1116.
17. Seliverstov Yu.G., Glazovskaya T.G., Shnyarkov A.L. Stsenarii izmeneniya lavinnoi deyatelnosti na Evropeiskoi chasti Rossii v XXI veke // Sb. dokladov III Mezhdunar. konf. «Laviny i smezhnye voprosy». –Kirovsk, Rossiya, 4–8 sentyabrya, 2006. –Kirovsk: OOO Apatit-Media Apatity, 2007. –С. 201–207.
18. Severskii I.V., Blagoveshchenskiy V.P. Lavinoopasnye raiony Kazakhstana. – Alma-Ata: Izd-vo «Nauka», 1990. – 172 s.
19. Severskii I.V. Snezhnye laviny Zailiiskogo i Dzhungarskogo Alatau. – Alma-Ata: Izd-vo «Nauka», 1978. – 255 s.
20. Cait rossiiskogo predstavitel'stva firmy StatSoft. URL: <http://www.StatSoft.ru> [Elektron. resurs] (Data obrashcheniya 30.01.2023).
21. Sbornik trudov III mezhdunarodnogo simpoziuma «Fizika, khimiya i mekhanika snega». Pod red. Kazakova N.A. –Yuzhno-Sakhalinsk, 2017. –Ch. I-II. –158 s.
22. Tekhnicheskie otchety SLS «Shymbulak» za 1966-2022 gg. Sostaviteli: Kondrashov I.V., Tynalin O.Zh. Bumazhnyi arkhiv RGP «Kazgidromet».
23. Upravlenie riskom. Risk, ustoichivoe razvitie, sinergetika / V.A. Vladimirov, G.G. Malinetskiy, A.V. Podlazov i dr. – M.: Nauka, 2000. – 432 s.

ІЛЕ АЛАТАУЫНДАҒЫ ҚЫСТЫ ҚАР ЖАҒДАЙЫ ЖӘНЕ ҚАР КӨШКІНІ ӘРЕКЕТІ БОЙЫНША ТҮРЛЕРІ

В.В. Жданов^{1*} т.ғ.к., Н.У. Кузагельдина^{2,3}, А.Н. Камалбекова^{1,3}, Ұ.Р. Алдаберген^{1,3}

¹ Қазақстан Республикасының География және су қауіпсіздігі институты, Алматы, Қазақстан

² «Казгидромет» РМК, Астана, Қазақстан

³ ал-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университеті, Алматы, Қазақстан

E-mail: zhdanovvitaliy@yandex.kz

Қар көшкіндері таудағы адамдардың шаруашылық және рекреациялық қызметіне әсер етеді. Кейбір қар көшкіні белсенді қыста олар айтарлықтай зиян келтіреді және адам өліміне әкеледі. Көптеген жылдар бойы жүргізілген зерттеулер нәтижесінде қар көшкіні әр қыстың метеорологиялық және синоптикалық жағдайларына қатты тәуелді екені анықталды. Ағымдағы маусымның қауіптілігінің негізгі көрсеткіші – белгілі бір өзен бассейніндегі қар көшкіндерінің жалпы және максималды көлемі. Ол қар жамылғысының биіктігі мен сулылығына және жауын-шашын мөлшеріне қатты байланысты. Корреляция коэффициенттері 0,36...0,66. Кейбір қар көшкіні қауіп бар қыста (1965...66, 1986...87, 2016...17) өзен алабында. Кіші Алматыда қар көшкінінің жалпы көлемі 300...500 мың м³-ге жетеді, ал көшкіні қауіпті емес қыста 20...30 мың м³-ден аспайды. Зерттелетін көшкін бассейнінде күн мен циклондық белсенділіктің ең аз болған жылдары қар жамылғысының ең жоғары биіктігі мен көшкін белсенділігі байқалады. Бұл қысқы циклондардың суық жылдарда тау етегіндегі аудандарда жауын-шашын болатындығына байланысты болса керек. Ал қардың жаууы мен қар көшкіні белсенділігінің артуы көктемгі жылынумен және қардың еруінің басталуымен көбірек байланысты. Қар көшкінін қалыптастырудың метеорологиялық жағдайларын зерттеу ағымдағы маусымның ықтимал қауіптілігін бағалауға көмектеседі. Бұл туристік орындардың жұмысын және таудағы жедел құтқару қызметтерін жоспарлау үшін практикалық маңызы бар.

Түйін сөздер: қар көшкіні белсенділігі, қардың мөлшері, Іле Алатауы, қардың биіктігі мен су мөлшері, жауын-шашын мөлшері, көшкіндердің жалпы көлемі

TYPICATION OF WINTER IN ILE ALATAU BY SNOW CONDITION AND AVALANCHE ACTIVITY

V. Zhdanov^{1*} candidate of Technical Sciences, N. Kuzhageldina^{2,3}, A. Kamalbekova^{1,3}, U. Aldabergen^{1,3}

¹ Institute of Geography and Water Security of the Republic of Kazakhstan, Almaty, Kazakhstan

² RSE «Kazhydromet», Astana, Kazakhstan

³ al-Farabi Kazakh National University, Almaty, Kazakhstan,

E-mail: zhdanovvitaliy@yandex.kz

Snow avalanches affect human economic and recreational activities in the mountains. In some avalanche-active winters, they cause significant damage and loss of life. As a result of many years of research, it was found that avalanches strongly depend on the meteorological and synoptic conditions of each individual winter. The main indicator of the danger of the current season is the total and maximum volumes of avalanches in a particular river basin. It strongly depends on the height and water content of the snow cover and the amount of precipitation. The correlation coefficients are 0.36...0.66. In some avalanche-prone winters (1965...66, 1986...87, 2016...17) in the river basin. In Kishi Almaty, the total volume of avalanches reaches 300...500 thousand m³, and in non-avalanche-hazardous winters it does not exceed 20...30 thousand m³. During the years of minimal solar and cyclonic activity in the studied avalanche basin, the highest snow cover heights and avalanche activity are observed. This is probably due to the fact that winter cyclones produce precipitation in the foothill areas in cold years. And the increase in snowfall and avalanche activity is more associated with spring warming and the beginning of snow melting. Studying the meteorological conditions of avalanche formation helps assess the potential danger of the current season. This is of practical importance for planning the work of tourist sites and operational rescue services in the mountains.

Keywords: avalanche activity, snow content, Ile Alatau, snow height and water content, precipitation amount, total volume of avalanches

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

Жданов Виталий Владимирович - кандидат технических наук, старший научный сотрудник лаборатории природных опасностей Института географии и водной безопасности, Алматы, ул. Пушкина, 99 к1, zhdanovvitaliy@yandex.kz

Кужагельдина Нурайлы Уралбековна - PhD-докторант кафедры метеорологии и гидрологии Казахского национального университета имени аль-Фараби, ведущий научный сотрудник Управления метеорологических исследований и расчетов Научно-исследовательского центра РГП «Казгидромет», Астана, пр-т Мангилик ел, 11/1, kuzhageldina_n@meteo.kz

Камалбекова Айдана Нұрланқызы - PhD-докторант кафедры географии, землеустройства и кадастра Казахского национального университета имени аль-Фараби, младший научный сотрудник лаборатории природных опасностей Института географии и водной безопасности МОН РК, Алматы, ул. Пушкина, 99 к1, aidana.kamalbekova@gmail.com

Алдаберген Ұлжан Рахымбердіқызы - PhD-докторант кафедры географии, землеустройства и кадастра Казахского национального университета имени аль-Фараби, младший научный сотрудник лаборатории природных опасностей Института географии и водной безопасности МОН РК. Алматы, ул. Пушкина, 99 к1, aldabergen_u@mail.ru

Жданов Виталий Владимирович - техника ғылымдарының кандидаты, География және су қауіпсіздігі институтының табиғи қауіптер зертханасының аға ғылыми қызметкері. Алматы, к. Пушкин, 99 к1, zhdanovvitaliy@yandex.kz

Кужагельдина Нурайлы Уралбековна - Әл-Фараби атындағы ҚазҰУ Метеорология және гидрология кафедрасының PhD докторанты, «Казгидромет» РМК ҒЗО Метеорологиялық зерттеулер және есептеулер бөлімінің жетекші

ғылыми қызметкері, Астана қаласы, Мәңгілік Ел даңғылы, 11/1, kuzhageldina_n@meteo.kz

Камалбекова Айдана Нұрланқызы - Әл-Фараби атындағы ҚазҰУ география, жерге орналастыру және кадастр кафедрасының PhD докторанты, Қазақстан Республикасы Білім және ғылым министрлігі География және су қауіпсіздігі институтының табиғи қауіптер зертханасының кіші ғылыми қызметкері. Алматы, к. Пушкин, 99 к1, aidana.kamalbekova@gmail.com

Алдаберген Ұлжан Рахымбердіқызы - Әл-Фараби атындағы ҚазҰУ география, жерге орналастыру және кадастр кафедрасының PhD докторанты, Қазақстан Республикасы Білім және ғылым министрлігі География және су қауіпсіздігі институтының табиғи қауіптер зертханасының кіші ғылыми қызметкері. Алматы, к. Пушкин, 99 к1, aldabergen_u@mail.ru

Zhdanov Vitaly - Candidate of Technical Sciences, Senior Researcher at the Natural Hazards Laboratory of the Institute of Geography and Water Security, Almaty, st. Pushkin, 99 k1, zhdanovvitaliy@yandex.kz

Kuzhageldina Nuraily - PhD doctoral student at the Department of Meteorology and Hydrology of the Al-Farabi Kazakh National University, leading researcher at the Department of Meteorological Research and Calculations of the Research Center of the RSE “Kazhydromet”. Astana, Mangilik Ave, 11/1, kuzhageldina_n@meteo.kz

Kamalbekova Aidana - PhD doctoral student at the Department of Geography, Land Management and Cadastre of Al-Farabi Kazakh National University, junior researcher at the Laboratory of Natural Hazards at the Institute of Geography and Water Security of the Ministry of Education and Science of the Republic of Kazakhstan. Almaty, st. Pushkin, 99 k1, aidana.kamalbekova@gmail.com

Aldabergen Ulzhan - PhD doctoral student at the Department of Geography, Land Management and Cadastre of Al-Farabi Kazakh National University, junior researcher at the Laboratory of Natural Hazards at the Institute of Geography and Water Security of the Ministry of Education and Science of the Republic of Kazakhstan. Almaty, st. Pushkin, 99 k1, aldabergen_u@mail.ru

Вклад авторов/ Авторлардың қосқан үлесі/ Authors contribution

Жданов Виталий Владимирович - разработка концепции, разработка методологии, создание программного обеспечения, проведение статистического анализа, проведение исследования, ресурсы

Кужагельдина Нурайлы Уралбековна - проведение статистического анализа, проведение исследования, подготовка и редактирование текста, визуализация

Камалбекова Айдана Нұрланқызы – проведение статистического анализа, проведение исследования, ресурсы

Алдаберген Ұлжан Рахымбердіқызы – проведение статистического анализа, проведение исследования, ресурсы

Жданов Виталий Владимирович - тұжырымдаманы әзірлеу, әдістемені әзірлеу, бағдарламалық жасақтама жасау, статистикалық талдау жүргізу, зерттеу жүргізу, ресурстар

Кужагельдина Нурайлы Уралбековна - статистикалық талдау жүргізу, зерттеу жүргізу, мәтінді дайындау және өңдеу, көрнекілік

Камалбекова Айдана Нұрланқызы - статистикалық талдау жүргізу, зерттеу жүргізу, ресурстар

Алдаберген Ұлжан Рахымбердіқызы – статистикалық талдау жүргізу, зерттеу жүргізу, ресурстар

Zhdanov Vitaly - concept development, methodology development, creating software, conducting statistical analysis, conducting a research , resources

Kuzhageldina Nuraily - conducting statistical analysis, conducting a research, preparing and editing the text, visualization

Kamalbekova Aidana - conducting statistical analysis, conducting a research, resources

Aldabergen Ulzhan - conducting statistical analysis, conducting a research, resources

УДК 528.854.2

МРНТИ 89.57.35

ОБРАБОТКА РАДИОЛОКАЦИОННЫХ ДАННЫХ СПУТНИКА SENTINEL-1 ДЛЯ ИДЕНТИФИКАЦИИ НЕФТЯНЫХ РАЗЛИВОВ В АКВАТОРИИ КАСПИЙСКОГО МОРЯ В СРЕДЕ GEE

Г.Н. Сагатдинова^{1*}, Д.Б. Нурсеитов² к.ф.-м.н.

¹ТОО “Институт Ионосферы”, Алматы, Казахстан

²КМГ Инжиниринг, Алматы, Казахстан

E-mail: gulshatn@rambler.ru

Нефтяные загрязнения поверхности воды являются одной из важнейших экологических проблем акватории Каспийского моря. Для постоянного контроля за экологической ситуацией в регионе разрабатываются методики идентификации нефтяных загрязнений на основе данных дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ). В последние годы, наблюдается значительный рост спутниковых данных и соответственно появляется возможность для увеличения частоты наблюдений. Применение методов обработки на основе облачных технологий позволяет обрабатывать возросшие объемы данных. Целью данной работы являлась адаптация и модернизация технологии мониторинга нефтяных разливов на примере акватории Каспийского моря с использованием современных вычислительных ресурсов на базе платформы Google Earth Engine (GEE) и радиолокационных спутниковых изображений Sentinel-1. В рамках данного исследования была разработана технология выявления нефтяных разливов, основанная только на архивах данных, доступных в среде GEE.

Ключевые слова: нефтеразливы, радиолокационное изображение, Google Earth Engine, мониторинг

Поступила: 26.12.23

DOI:10.54668/2789-6323-2024-112-1-100-109

ВВЕДЕНИЕ

Несмотря на все усилия предпринимаемые для отказа общества использовать углеводороды в качестве основного вида топлива. Нефть по-прежнему является одним из самых востребованных полезных ископаемых, а также является сырьем для производства различных материалов. Все это приводит к интенсификации добычи, активной транспортировке, что несомненно приводит к неизбежным эпизодическим случаям разливов нефти.

Для идентификации и регистрации таких случаев помимо наземных исследований широкое распространение получили и методы с использованием данных дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ). Особенно это актуально для удаленных и труднодоступных территорий. Для обнаружения нефтяных загрязнений используются как оптические, так и радиолокационные данные. Сложность использования оптических данных

заключается в том, что их большая часть отбраковывается на начальном этапе из-за облачности, также, возможность идентификации нефтяных разливов на водной поверхности зависит от угла съемки и местоположения Солнца. Поэтому основным источником данных при мониторинге нефтяных загрязнений являются радиолокационные данные. Идентификация нефтяных разливов на радиолокационных снимках осуществляется благодаря появлению, так называемых зон “выглаживания” на морской поверхности, за счет ослабления гравитационно-капиллярных волн, согласно теории радиолокационного рассеяния Брэгга (Alpers и Espedal, 2004). При мониторинге нефтяных разливов по радиолокационным данным также существует ряд ограничений. Во-первых, зоны “выглаживания” на водной поверхности образуются не только от нефтяных разливов, такой эффект наблюдается также и в районах скопления водорослей. Еще одним ограничением при мониторинге нефтяных

разливов является скорость приземного ветра, так как при полном штиле и сильном ветре зоны “выглаживания” становятся незаметными на радиолокационном изображении.

Традиционно процедура обработки данных ДЗЗ состоит из следующих этапов:

Поиск снимка в каталоге, скачивание, предварительная обработка, тематическая обработка. Первые два этапа этой цепочки являются обычно очень время затратными процедурами при обработке отдельных сцен. В случаях потоковой обработки данных, когда все процессы автоматизированы, включая и первые два этапа обычно самыми слабыми участками являются вычислительные мощности и объемы обрабатываемых данных. Учитывая, то, что в последние годы количество спутников, поставляющих данные ДЗЗ увеличилось кратно и их рост продолжается на первый план выходят технологии облачной обработки данных с распределенными вычислительными ресурсами. Одной из таких технологий является платформа GEE (Gorelick, N. and etc., 2017), которая сочетает в себе возможности обработки больших объемов и доступа к различным бесплатным геопространственным данным. В этой работе предлагается альтернативная методика, основанная на использовании облачных вычислений в среде GEE как дополнение к традиционным, основанных на использовании настольных программных продуктов.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

На основе облачной платформы GEE была разработана технология мониторинга для обнаружения нефтяных загрязнений в акватории Каспийского моря с использованием радиолокационных данных Sentinel-1.

Разработанное приложение для обнаружения нефтяных загрязнений состоит из нескольких этапов, как показано на рисунке 1:

1. Поиск в каталоге данных радиолокационных снимков на территорию акватории Каспийского моря.

2. Подбор ближайших по дате и времени пролета горизонтальных (u и v) составляющих ветра и данных о концентрации хлорофилла.

3. Применение алгоритмов предварительной и тематической обработки радиолокационных данных для выделения нефтяных разливов.

4. Создание слоя нефтяные разливы. Радиолокационные данные Sentinel-1. Спутники Sentinel-1 запущенные Европейским космическим Агентством (ESA) в 2014 (Sentinel-1A) и 2016 (Sentinel-1B) годах стали первыми осуществлять радиолокационную съемку на регулярной основе, доступ к которым предоставляется бесплатно. Оба аппарата оснащены датчиком радиолокатора с синтезированной апертурой (РСА) С-диапазона (рабочая длина волны 5,6 см).

Каждый из сенсоров Sentinel-1 поддерживает четыре режима работы: маршрутный (Stripmap), интерферометрический (Interferometric Wide Swath), сверхширокий (Extra-Wide Swath) и волновой (Wave Mode). При маршрутном, интерферометрическом и сверхшироком режимах съемки существует возможность съемки как в одиночной (НН или VV), так и в двойной поляризациях (НН + HV, VV + VH). В волновом режиме доступна съемка только с применением одиночной поляризации (НН или VV). Большая часть архивов для территории акватории Каспийского моря снята и снимается в интерферометрическом режиме с двойной поляризацией (VV + VH).

В среде GEE данные Sentinel-1A/1B (S1) доступны в виде амплитудных изображений формата Ground Range Detected (GRD), прошедших этапы калибровки и ортотрансформирования в программном обеспечении Sentinel-1 Toolbox. В GEE снимки добавляются ежедневно. Задержка между датой съемки и датой попадания в коллекцию не превышает двух дней.

Эта коллекция состоит из всех отснятых за период наблюдения сцен. Помимо каналов поляризаций, число которых варьируется от сцены к сцене, в зависимости от режимов, при которых проводилась съемка заданной территории в определенный момент времени. Каждый снимок содержит канал “angle” в котором содержится информация об изменении

содержится информация об изменении угла падения в каждой точке сцены снимка.

Метеорологические данные.

Метеорологические условия играют важную роль при выявлении нефтяных разливов по радиолокационным данным. При малых скоростях ветра обычно до 3...4 м/с слики преобразуются в самые тонкие пленки, легко переносимые течениями. При высоких скоростях ветра больше 9 м/с пленки, образуемые нефтесодержащими продуктами, перестают быть видны.

Для получения данных о скорости ветра была выбрана коллекция данных

Global Forecast System (GFS). Это прогнозная модель погоды, создаваемая Национальными Центрами по прогнозированию окружающей среды (NCEP) в среде GEE доступна начиная с июля 2015 года и постоянно обновляется. Данные модели GFS доступны в виде пространственно распределенных данных прогноза. Прогнозные данные доступны на 384 часа вперед, с шагом прогноза в 1 час для данных до 120 часов и 3 часа после 120 часов, создаются с 6-ти часовым временным разрешением (частота обновления 4 раза в сутки) (Saha S. and Coauthors, 2010).

Коллекция снимков Sentinel-1



Рис.1. Методологическая схема обработки радиолокационных изображений для выявления нефтяных разливов

Данные о концентрации хлорофилла. Для определения концентрации хлорофилла была выбрана коллекция «JAXA/GCOM-C/L3/OCEAN/CHLA/V3», созданная по данным японского метеорологического спутника GCOM-C1, запущенного в 2017 году. Это продукт показывает концентрацию фотосинтетического

пигмента (хлорофилл-а) в фитопланктоне на морской поверхности (Murakami H., 2020).

Территория исследования. Каспийское море является крупнейшим внутренним водоемом в мире. Оно омывает берега пяти стран: Казахстана, Туркменистана, Ирана, Азербайджана и России. В самой акватории и прилегающих к ней территориях уже в течении

многих лет идет активная нефтедобыча. Географическое расположение Каспийского моря позволило ему также стать активным транспортным узлом, по которому проходят множество транснациональных маршрутов, интенсивность которых увеличивается год от года. На рисунке 2 приведена карта иллюстрирующая интенсивность судоходства в Каспийском море по данным Marinetraffic.

По оценкам экспертов запасы Каспийского моря оцениваются в 100 млн. баррелей нефти (Hamoun J. et al., 2018). Ежедневная нефтедобыча и транспортировка нефти, активная навигация кораблей, множество крупных городов и промышленных объектов, расположенных вдоль побережья, создают неизбежному загрязнению нефтепродуктами (Тайжанова Л., 2023).

Помимо техногенных источников загрязнения в акватории также наблюдаются естественные выбросы нефти в виде грифонов, наблюдаемые в различных частях водоема. Стоит также отдельно упомянуть район “Нефтяные камни”, находящийся в территориальных водах Азербайджана. Это

очень сложный регион. с точки зрения экологической обстановки, в котором практически всегда можно встретить проявления нефтеразливов (Mityagina M. I., 2019).

Тематическая обработка радиолокационных снимков. К настоящему времени создано много различных методик по выделению нефтяных разливов по радиолокационным данным в том числе применительно и к акватории Каспийского моря (Закарин Э.А. и др., 2016; Holstein A. et al., 2018; Barzegar F. et al., 2023). Условно задача мониторинга нефтяных разливов сводится к решению двух основных задач это выделение темных объектов на водной поверхности и последующее отделение нефтяных разливов от других проявлений. По прежнему широко распространены системы мониторинга основанные на экспертном анализе снимков и всех сопутствующих данных (Лаврова О.Ю. и др., 2019), (Solberg A. et al., 1999) в своей работе предложили статистические методы выделения нефтяных разливов тогда как (Del Frate et al., 2000; Topouzelis, K., 2007) использовал анализ на основе нейронных сетей.

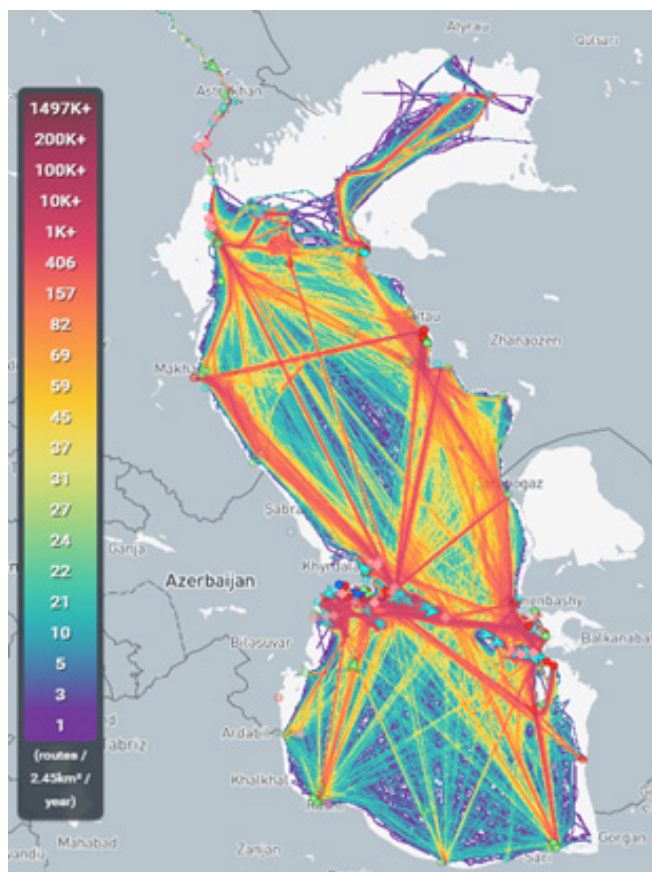


Рис.2. Интенсивность судоходства в Черном море по данным Marinetraffic (<https://www.marinetraffic.com/en/ais/home/centerx:32.6/centery:44.3/zoom:6>)

Также можно отметить ряд работ с применением сетей глубокого обучения. (Yi-Jie Yang and etc., 2022) в своем исследовании разработали детектор нефтяных разливов на основе глубокого обучения с использованием алгоритма обнаружения объектов YOLOv4. (Barzegar F. et al., 2023) в своей работе использовали сеть глубокого обучения (DenseNet), по их данным ее точность превосходит стандартный алгоритм сверточной нейронной сети (CNN).

Как уже отмечалось выше, к настоящему моменту существует множество подходов для выявления нефтяных разливов по радиолокационным данным. Всех их можно разделить на три основные группы:

1) Методика, основанная на экспертном анализе космоснимка и интерактивному выделению нефтяного разлива, где эксперт, основываясь на субъективных суждениях и дополнительных данных включающих метеорологические, картографические, батиметрические проводит ручную оцифровку данных.

2) Полуавтоматические методы, в которых присутствует различная степень автоматизации, где на последнем этапе всегда эксперт проводит оценку качества полученных результатов дешифрирования.

3) Автоматические методы, представляют собой различные программные решения, в рамках которых без участия экспертов выполняется полный цикл обработки от получения исходных данных до готового продукта.

Несмотря на широкое распространение, в последние годы, методов машинного обучения при дешифрировании космических изображений, которые дают весьма неплохие результаты. При выделении нефтяных разливов по-прежнему достаточно распространены методики, использующие экспертную оценку и полуавтоматические методы, где по-прежнему последнее слово всегда остается за оператором.

В общем виде процедуру тематической обработки радиолокационных данных можно разделить на два этапа: - выделение всех зон “выглаживания” на водной поверхности; - анализ полученных результатов классификации по пространственным признакам.

Конечной целью первого этапа является выделение зон “выглаживания” на радиолокационном изображении. Для этого

сначала проводится предобработка, которая заключается в калибровке и ортотрансформировании исходных данных. В данном случае так как все снимки Sentinel-1 доступные через среду GEE уже приведены к нужному формату данных, то процесс обработки начинается со следующего шага. Это процедура фильтрации, для уменьшения выбросов, обусловленных постоянным присутствием спекл-шумов на радиолокационных снимках.

После процедуры фильтрации осуществляется увеличение контрастности изображения, для этого применяется GLCM (GreyLevel Co-occurrence Matrix – матрица совпадений градаций серого). В результате применения данного алгоритма рассчитываются текстурные признаки изображения, благодаря которым возрастает контрастность границы слик-вода и увеличивается однородность снимка.

Пороговая классификация является одним из наиболее эффективных и не затратным с точки зрения вычислительных ресурсов методом классификации изображений. Для нахождения оптимального порога разделения на классы вода и зоны выглаживания применяется Otsu метод (Otsu N., 1979). Этот метод основан на анализе гистограммы при котором межклассовая дисперсия между двумя классами максимизируется. Для более точной оценки порога слик-вода гистограмма рассчитывается только для водной поверхности. Для этого в среде GEE создается маска воды, основанная на присутствующем датасете Land Cover полученному по данным Sentinel-2 за 2021 год с пространственным разрешением 10 м. Предпочтительность использования этих данных заключается в том что на нем отражается современное состояние границ Каспийского моря.

Полученное бинарное изображение со значениями 0 и 1 проходит этап пост классификационной обработки с применением методов генерализации изображения, благодаря которым происходит удаление слишком мелких объектов, а также заполнение “пустот”.

На следующем этапе анализа полученных результатов классификации по пространственным признакам проводится разметка и параметризация изображения для получения объектов, которые с большей вероятностью относятся к классу нефтяные разливы.

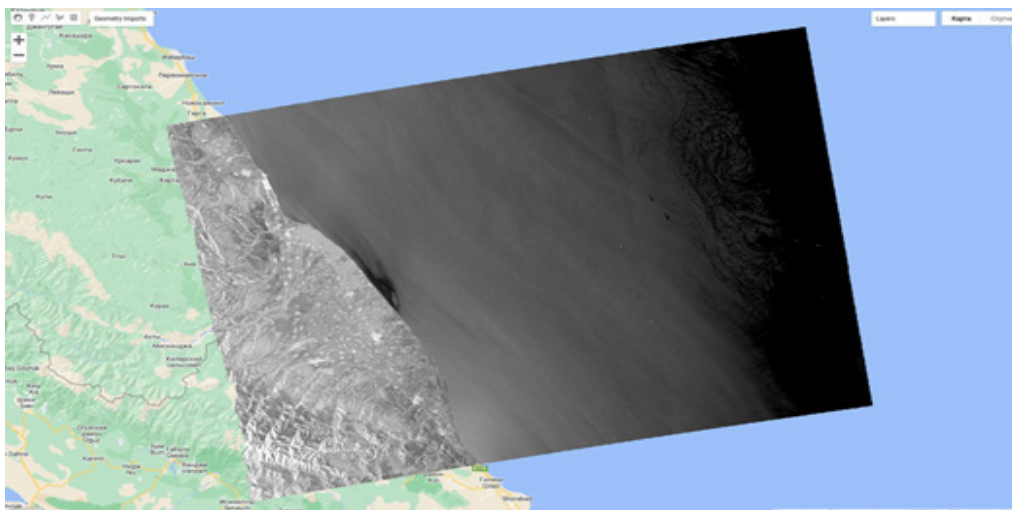
Для каждой связанной области определяется набор параметров: площадь, периметр, округлость и эксцентриситет для оценки формы. Дополнительно на этом этапе также привлекаются данные по скорости ветра и концентрации хлорофилла.

Одним из основных параметров при отнесении выделенных зон “выглаживаний” к классу нефтяные разливы, является их геометрическая форма. Помимо этого, наблюдается целый ряд словообразующих явлений на поверхности радиолокационного изображения (зоны апвеллинга, внутренние волны, зоны ветровой тени, штилевые зоны, дождевые ячейки и т.д.).

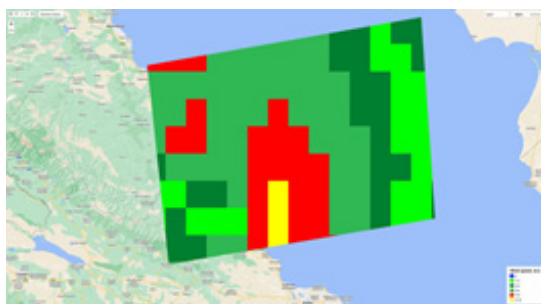
РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Анализ полученных объемов данных снимков Sentinel-1 на территорию Каспийского моря показал, что только за период с марта по октябрь, текущего 2023 года было отснято 2017 сцен. Часть из них была проанализирована в рамках отработки методики выделения нефте-разливов что позволило выявить порядка 60-ти нефтяных сликов. Из-них 25 случаев было зафиксировано в районе города Махачкала. На рисунке 3 показан снимок Sentinel-1A за 9 августа 2023 года, с автоматически подобранными ближайшими по времени его пролета и дате данными о скорости ветра и концентрации хлорофилла.

а)



б)



в)

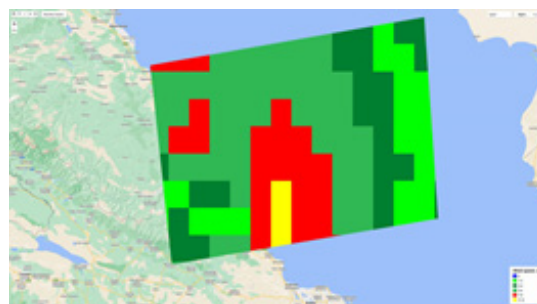


Рис. 3. Космоснимок Sentinel-1A за 9 августа 2023 года

а - космоснимок поляризация VV, б - поле скорости ветра, в - концентрация хлорофилла

Анализ результатов автоматического выделения зон “выглаживаний” по радиолокационным данным с использованием методов пороговой классификации показал хорошую разделяемость водной поверхности на два класса. На рисунке 4 показан пример работы этого алгоритма.

На следующем этапе анализа полученных результатов классификации по простран-

ственным признакам проводится переопределение полученного класса для получения объектов, которые с большей вероятностью относятся к классу нефтяные разливы. На рисунке 5 представлен результат анализа снимка Sentinel-1A за 9 августа 2023 года с выделенными на нем нефтяными разливами.

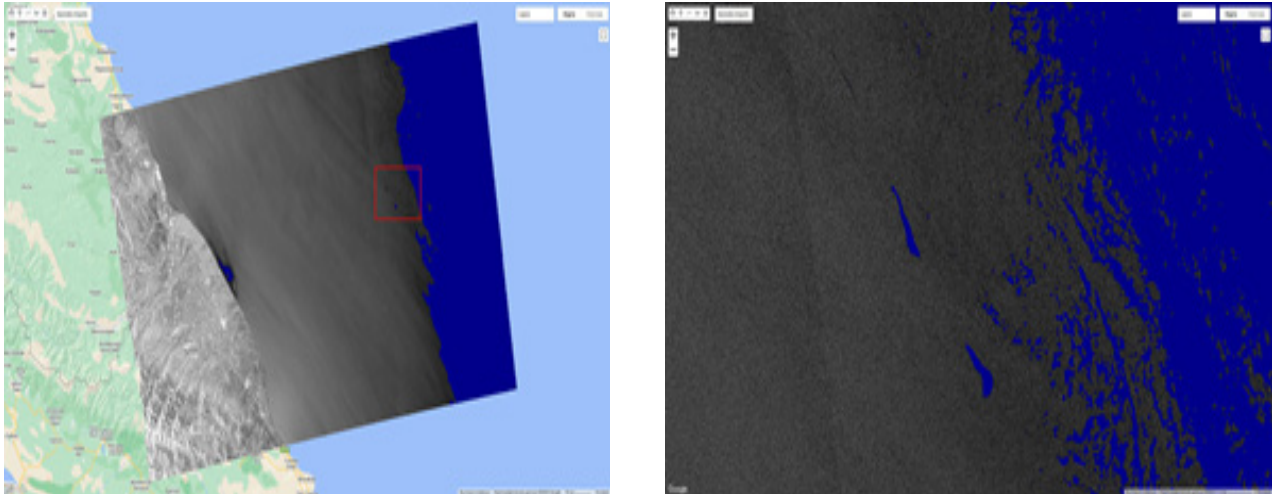


Рис. 4. Результат автоматического выделения зон “выглаживаний” на космоснимке Sentinel-1A за 9 августа 2023 года

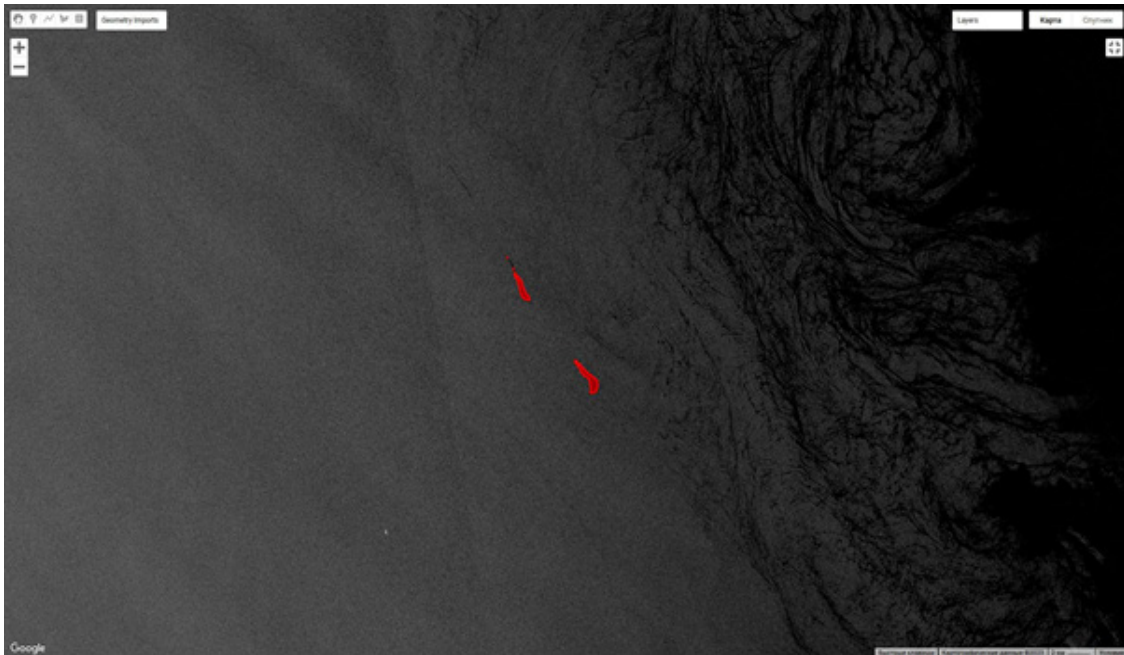


Рис. 5. Космоснимок Sentinel-1A за 9 августа 2023 года с выделенными на нем нефтяными разливами

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В данной работе описываются методы обработки данных при мониторинге нефтяных разливов на основе снимков Sentinel 1 с использованием возможностей облачных вычислительных ресурсов GEE. Применение данной технологии показало эффективность данного подхода по сравнению с локальными вычислениями. Этот подход позволяет обрабатывать гораздо больший объем данных без использования локальных вычислительных ресурсов и дискового пространства для хранения исход-

ных данных и промежуточных продуктов, а получать уже готовые результаты обработки в виде готовых векторов и растровых изображений снимков для визуализации, отображения и дальнейшего результатов мониторинга.

Работа выполнена в рамках научного проекта AP14872458 «Разработка методики автоматизированного космического мониторинга нефтяных разливов на основе нейросетевых технологий» при финансовой поддержке «КН МОН РК».

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Закарин Э.А., Балакай Л.А., Бостанбеков К.А., Дедова Т.В., Ким Д.К., Кобегенова С.С., Миркаримова Б.М., Нурсейтов Д.Б. Моделирование экологических рисков при нефтяном загрязнении акватории Северо-восточного Каспия: монография. - Алматы, 2016. – 256 с.
2. Лаврова О.Ю., Митягина М.И., Уваров И.А., Лупян Е.А. Текущие возможности и опыт использования информационной системы See the Sea для изучения и мониторинга явлений и процессов на морской поверхности // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. – 2019. – Т.16. – №3. – С.266-287. DOI: 10.21046/2070-7401-2019-16-3-266-287.
3. Тайжанова Л. Влияние нефтесодержащих производственных сточных вод на прибрежные воды Каспийского моря // Гидрометеорология и экология. – 2023. – N.1. – P.27–35. DOI: <https://doi.org/10.54668/2789-6323-2021-100-1-27-35>.
4. Alpers W., Espedal H.A. Oils and Surfactants. – 2004. – Ch. 11.
5. Barzegar F., Seyd, S. T., Farzaneh S., Sharifi M. A. Oil spill detection in the Caspian sea with a SAR image using a DENSENET model // ISPRS Ann. Photogramm. Remote Sens. Spatial Inf. Sci. – 2023. – V.X-4/W1-2022. – P.95–100. DOI: <https://doi.org/10.5194/isprs-annals-X-4-W1-2022-95-2023>.
6. DelFrate F., Petrocchi A., Lichtenegger J., Calabresi G. Neural networks for oil spill detection using ERS-SAR data // IEEE Trans. Geosci. Remote Sens. – 2000. – V.5. – P.2282–2287.
7. Gorelick N., Hancher M., Dixon M., Ilyushchenko S., Thau D., Moore R. Google Earth engine: planetary-scale geospatial analysis for everyone // Remote Sens. Environ. – 2017. – V. 202. – P.18–27. DOI: <https://doi.org/10.1016/J.RSE.2017.06.031>.
8. Hamoun J., Mehran P., Mohammad R., Golriz E.S. An Overview of Oil Pollution in the Caspian Sea // Journal of Environmental Research and Technology. – 2018. – V.3. – N.2. – P.33-39.
9. Holstein A., Kappas M., Propastin P. et al. Oil spill detection in the Kazakhstan sector of the Caspian Sea with the help of ENVISAT ASAR data // Environ Earth Sci. – 2018. – V.77. – N.198. DOI: <https://doi.org/10.1007/s12665-018-7347-0>.
10. Mityagina M. I., Lavrova O. Y., Kostianoy A. G. Main pattern of the Caspian sea surface oil pollution revealed by satellite data // Ecologica Montenegrina. – 2019. – V. 25. – P.91–105. DOI: 10.37828/em.2019.25.9
11. Murakami H. ATBD of GCOM-C chlorophyll-a concentration algorithm. – 2020. https://suzaku.eorc.jaxa.jp/GCOM_C/data/ATBD/ver2/V2ATBD_O3AB_Ch1a_Murakami.pdf
12. Otsu N. A threshold selection method from gray-level histograms. // IEEE Trans Syst Man Cyber. – 1979. – V.SMC-9. – N.1. – P.62–66. DOI: <https://doi.org/10.1109/tsmc.1979.4310076>.
13. Saha S., Moorthi S., Pan H., Wu X. et al. The NCEP Climate Forecast System Reanalysis // Bulletin of the American Meteorological Society. – 2010. – V.91. – N.8. – P.1015-1058. DOI: <https://doi.org/10.1175/2010BAMS3001.1>
14. Solberg A., Storvik G., Solberg R., Volden E. Automatic Detection of Oil Spills in ERS SAR Images // IEEE

- Trans. Geosci. Remote Sens. - 1999. - V.37. - P.1916-1924.
15. Topouzelis K., Karathanassi, V., Pavlakis P., Rokos D. Detection and discrimination between oil spills and look-alike phenomena through neural networks // ISPRS J. Photogramm. Remote Sens. – 2007. – V.62. – P.264-270.
16. Yi-Jie Yang, Singha S., Mayerle R. A deep learning based oil spill detector using Sentinel-1 SAR imagery // International Journal of Remote Sensing. – 2022. – V.43:11. – P.4287-4314. DOI: 10.1080/01431161.2022.2109445.

REFERENCES

1. Zakarin E.A., Balakai L.A., Bostanbekov K.A., Dedova T.V., Kim D.K., Kobegenova S.S., Mirkarimova B.M., Nurseitov D.B. Modelirovanie ekologicheskikh riskov pri neftyanom zagryaznenii akvatorii Severovostochnogo Kaspiya: monografiya. - Almaty, 2016. – 256 s.
2. Lavrova O.Yu., Mityagina M.I., Uvarov I.A., Lupyan E.A. Tekushchie vozmozhnosti i opyt ispol'zovaniya informatsionnoi sistemy See the Sea dlya izucheniya i monitoringa yavlenii i protsessov na morskoi poverkhnosti // Sovremennye problemy distantsionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa. – 2019. – T.16. – №3. – P.266-287. DOI: 10.21046/2070-7401-2019-16-3-266-287.
3. Taizhanova L. Vliyanie neftesoderzhashchikh proizvodstvennykh stochnykh vod na pribrezhnye vody Kaspiiskogo morya // Gidrometeorologiya i ekologiya. – 2023. – N.1. – P.27–35. DOI: <https://doi.org/10.54668/2789-6323-2021-100-1-27-35>.
4. Alpers W., Espedal H.A. Oils and Surfactants. – 2004. – Ch. 11.
5. Barzegar F., Seyd, S. T., Farzaneh S., Sharifi M. A. Oil spill detection in the Caspian Sea with a SAR image using a DENSENET model // ISPRS Ann. Photogramm. Remote Sens. Spatial Inf. Sci. – 2023. – V.X-4/W1-2022. – P.95–100. DOI: <https://doi.org/10.5194/isprs-annals-X-4-W1-2022-95-2023>.
6. DelFrate F., Petrocchi A., Lichtenegger J., Calabresi G. Neural networks for oil spill detection using ERS-SAR data // IEEE Trans. Geosci. Remote Sens. – 2000. – V.5. – P.2282–2287.
7. Gorelick N., Hancher M., Dixon M., Ilyushchenko S., Thau D., Moore R. Google Earth engine: planetary-scale geospatial analysis for everyone // Remote Sens. Environ. – 2017. – V. 202. – P.18–27. DOI: <https://doi.org/10.1016/J.RSE.2017.06.031>.
8. Hamoun J., Mehran P., Mohammad R., Golriz E.S. An Overview of Oil Pollution in the Caspian Sea // Journal of Environmental Research and Technology. – 2018. – V.3. – N.2. – P.33-39.
9. Holstein A., Kappas M., Propastin P. et al. Oil spill detection in the Kazakhstan sector of the Caspian Sea with the help of ENVISAT ASAR data // Environ Earth Sci. – 2018. – V.77. – N.198. DOI: <https://doi.org/10.1007/s12665-018-7347-0>.
10. Mityagina M. I., Lavrova O. Y., Kostianoy A. G. Main pattern of the Caspian sea surface oil pollution revealed by satellite data // Ecologica Montenegrina. – 2019. – V. 25. – P.91–105. DOI: 10.37828/em.2019.25.9
11. Murakami H. ATBD of GCOM-C chlorophyll-a concentration algorithm. – 2020. https://suzaku.eorc.jaxa.jp/GCOM_C/data/ATBD/ver2/V2ATBD_O3AB_Ch1a_Murakami.pdf

- from gray-level histograms. // IEEE Trans Syst Man Cyber. – 1997. – V.SMC-9. – N.1. – P.62–66. DOI: <https://doi.org/10.1109/tsmc.1979.4310076>.
13. Saha S., Moorthi S., Pan H., Wu X. et al. The NCEP ClimateForecastSystemReanalysis//BulletinoftheAmerican Meteorological Society. – 2010. – V.91. – N.8. – P.1015-1058. DOI: <https://doi.org/10.1175/2010BAMS3001.1>
14. Solberg A., Storvik G., Solberg R., Volden E. Automatic Detection of Oil Spills in ERS SAR Images//IEEE Trans. Geosci. Remote Sens. - 1999. - V.37. - P.1916-1924.
15. Topouzelis K., Karathanassi, V., Pavlakis P., Rokos D. Detection and discrimination between oil spills and look-alike phenomena through neural networks // ISPRS J. Photogramm. Remote Sens. – 2007. – V.62. – P.264-270.
16. Yi-Jie Yang, Singha S., Mayerle R. A deep learning based oil spill detector using Sentinel-1 SAR imagery // International Journal of Remote Sensing. – 2022. – V.43:11. – P.4287-4314. DOI: 10.1080/01431161.2022.2109445.

PROCESSING SENTINEL-1 SAR DATA FOR DETECTING OIL SPILLS IN THE CASPIAN SEA USING GOOGLE EARTH ENGINE

G.N. Sagatdinova^{1*}, D.B. Nurseitov²cand. phys. math. sci.

¹Institute of Ionosphere, Almaty, Kazakhstan

²KMG Engineering, Almaty, Kazakhstan

E-mail: gulshatn@rambler.ru

Hydrocarbon pollution of the water surface is one of the most important environmental problems in the Caspian Sea. There are ongoing developments in the identification of contamination pollution using remote sensing data for environmental situations. In recent years, there has been a significant increase in satellite data and, consequently, an opportunity to increase the frequency of observations. The ability to handle increased amounts of data can be achieved through cloud-based processing. The purpose of this work was to update oil spill monitoring technology by utilizing advanced computing resources based on the Google Earth Engine (GEE) platform and radar satellite images Sentinel-1. An oil spill detection technology was developed by the study using only data archives available in the GEE environment.

Key words: oil spills, SAR image, Google Earth Engine, monitoring

КАСПИЙ ТЕҢІЗІ АКВАТОРИЯСЫНДАҒЫ МҰНАЙДЫҢ ТӨГІЛУЛЕРІН АНЫҚТАУ ҮШІН SENTINEL-1 СПУТНИГІНІҢ РАДИОЛОКАЦИЯЛЫҚ ДЕРЕКТЕРІН GEE ОРТАСЫНДА ӨНДЕУ

Г.Н. Сагатдинова^{1*}, Д.Б. Нурсейтов² ф.-м.ғ.к.

¹ТОО “Ионосфера институты”, Алматы Қазақстан

²КМГ Инжиниринг, Алматы, Қазақстан

E-mail: gulshatn@rambler.ru

Мұнайдың су бетіндегі ластануы Каспий теңізі акваториясының маңызды экологиялық мәселердің бірі болып табылады. Өңірдегі экологиялық жағдайды тұрақты бақылау үшін Жерді қашықтықтан зондтау (ЖКЗ) деректері негізінде мұнай ластануын анықтау әдістемесі әзірленуде. Соңғы жылдары спутниктік деректердің айтарлықтай өсуі байқалды және сәйкесінше бақылау жиілігін арттыру мүмкіндігі пайда болды. Бұл негізделген өңдеу әдістерін қолдану деректердің өскен көлемін өндеуге мүмкіндік береді. Бұл жұмыстың мақсаты Google Earth Engine (GEE) платформа-сы және Sentinel-1 радиолокациялық спутниктік түсірілімдері негізінде заманауи есептеу ресурстарын пайдалана отырып, Каспий теңізі акваториясының мысалында мұнай төгілулерін бақылау технологиясын бейімдеу және жаңғырту болып келеді.

Түйін сөздер: мұнайдың төгілуі, радиолокациялық түсірілім, Google Earth Engine, бақылау

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

Сагатдинова Гульшат Наилевна – СНС, ТОО “Институт ионосферы”, Республика Казахстан, г. Алматы, Каменское плато, Садоводческое товарищество «Ионосфера» д.117, e-mail: gulshatn@rambler.ru

Нурсейтов Данияр Борисович - к.ф.-м.н., ассоциированный профессор, Эксперт (дисциплинарный) ТОО «КМГ Инжиниринг», Республика Казахстан, г. Астана, ул. Кунаева, дом 8, блок «Б», e-mail: d.nurseitov@kmge.kz

Сагатдинова Гульшат Наилевна – АҒҚ, “Ионосфера институты” ЖШС, Қазақстан Республикасы, Алматы қ., Ионосфера бағбандық серіктестігі 117 мекеме, e-mail: gulshatn@rambler.ru

Нурсейтов Данияр Борисович - ф.-м.ғ.к., қауымдастырылған профессор, Сарапшы (тәртіптік) «КМГ Инжиниринг» ЖШС, Қазақстан Республикасы, Астана қ., Қонаев көш., 8 үй, блок «Б», e-mail: d.nurseitov@kmge.kz

Sagatdinova Gulshat – SS, LLP “Institute of Ionosphere”, Republic of Kazakhstan, Almaty, Kamenskoye Plateau, Gardening Association «Ionosphere» 117, e-mail: gulshatn@rambler.ru

Nurseitov Daniyar - cand. phys. math. sci., Associate Professor, Expert (disciplinary) LLP «KMG Engineering», Republic of Kazakhstan, Astana, Kunaeva str., building 8, block «B», e-mail: d.nurseitov@kmge.kz

Вклад авторов/ Авторлардың қосқан үлесі/ Authors contribution

Сагатдинова Гульшат Наилевна – Разработка концепции, разработка методологии, создание программного обеспечения, проведение статистического анализа, проведения исследования, ресурсы, подготовка и редактирование текста, визуализация

Нурсейтов Данияр Борисович – Разработка концепции, подготовка и редактирование текста, визуализация

Сагатдинова Гульшат Наилевна – Тұжырымдаманы әзірлеу, әдістемені әзірлеу, бағдарламалық жасақтама жасау, статистикалық талдау жүргізу, зерттеу жүргізу, ресурстар, мәтінді дайындау және өңдеу, көрнекілік

Нурсейтов Данияр Борисович – Тұжырымдаманы әзірлеу, мәтінді дайындау және өңдеу, көрнекілік

Sagatdinova Gulshat – Concept development, methodology development, creating software, conducting statistical analysis, conducting a research, resources, preparing and editing the text, visualization

Nurseitov Daniyar - Concept development, preparing and editing the text, visualization

УДК 504.75; 620.98; 054.75

МРНТИ 87.05.31; 87.17.15

ГЕОЭКОЛОГИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА КАЧЕСТВА ПОВЕРХНОСТНЫХ ВОД В РЕКРЕАЦИОННОЙ ЗОНЕ ОЗЕРА АЛАКОЛЬ

Ж.Т.Мукаев¹ PhD, Ж.О. Озгелдинова² PhD, М.М. Улыкпанова², А.А.Жангужина^{2*} PhD

¹НАО «Университет имени Шакарима», г. Семей, Казахстан

²НАО Евразийский Национальный Университет имени Л.Н. Гумилева, г. Астана, Казахстан

E-mail: altyn8828@mail.ru

Целью исследования является геоэкологическая оценка воздействия рекреационной деятельности и туризма на качество поверхностных вод в рекреационной зоне озера Алаколь области Абай. Геоэкологическая оценка качества поверхностных вод в рекреационной зоне озера Алаколь имеет важное значение в связи с увеличением в последние годы количества отдыхающих и возрастанием интенсивности рекреационного использования. В статье изучены вопросы по содержанию тяжелых металлов, и других токсичных веществ в поверхностных водах рекреационной зоны озера Алаколь. Получены данные по концентрации тяжелых металлов, биогенных и органических веществ. Исследован и проанализирован гидрохимический состав воды и проведена сравнительная характеристика по содержанию загрязняющих веществ поверхностных водах.

Ключевые слова: устойчивый туризм, рекреация, поверхностные воды, Алаколь, рекреационное воздействие, загрязнение.

Поступила: 21.02.24

DOI:10.54668/2789-6323-2024-112-1-110-120

ВВЕДЕНИЕ

Ежегодное увеличение количества рекреантов приводит к негативному воздействию на рекреационные ландшафты. Рекреационная зона побережья озера Алаколь, расположенное в области Абай также испытывает негативное антропогенное влияние, поэтому актуальными являются вопросы правильной организации рекреационной и туристической деятельности и разработки мероприятий по снижению отрицательного влияния рекреационной деятельности на природную среду исследуемой территории.

Исследования связанные с изучением воздействия рекреационной деятельности получили развитие в 1970-х годах, за счет исследования проведенных такими учеными как, Budowski G. (Budowski, G., 1976) и Cohen E. (Cohen E., 2022). Исследования, связанные с негативным воздействием туризма и рекреационной деятельности были продолжены в 1980-х годах.. Исследованиям связанным с оценкой влияния туризма на природную среду занимались многие ученые, из которых важно отметить Pearce D.G.

(Pearce D. G., 1975), который заложил основы методических подходов изучения влияния туризма на природную среду. В современных научных работах De Cantis S. (De Cantis S. et al., 2015), Ratz T. (Ratz T., Puszczko, L., 2002), Hunter C. (Hunter C., Green. H., 2002), Wilson D. (Wilson D., Senej, S., 2003), Holden A. (Holden A., 2008), рассмотрены вопросы, связанные с изменением природной среды под влиянием рекреационной деятельности.

Изучением геоэкологического состояния водных объектов Алакольской группы озер занимались Достай Ж.Д. (Достай Ж.Д., Толганбаева С.А., 1997) , Амиргалиев Н.А. (Амиргалиев Н.А. и др., 2003), Бурлибаев М.Ж. (Бурлибаев М.Ж. и др., 2007), Ердавлетов С.Р. (Erdavletov S., Aktymbayeva A., 2012) , Актымбаева А.С. (Актымбаева А.С., 2006) и другие.

Рекреационная деятельность связана с чрезмерной концентрацией большого количества отдыхающих на небольших участках, которая приводит к увеличению рекреационной нагрузки на прибрежные водные объекты и все компоненты ландшафта (Azam M., Alam M.M., Hafeez M.H., et al., 2018).

В поверхностных водах рекреационной зоны озера Алаколь наибольший ущерб почвенно-растительному покрову наносится отдыхающими, когда на берегу на наиболее уязвимых участках самостоятельно ставятся палатки, автотранспорт, разводятся костры, готовится пища и оставляется бытовой мусор. Самостоятельно отдыхающие располагаются в наиболее удобных местах, где за счет скопления большого количества людей на уязвимых участках возрастает антропогенная нагрузка на ландшафты. Воздействия отдыхающих приводят к таким изменениям в почвенно-растительном покрове как уплотнение и деградация верхнего почвенного горизонта, вытаптывание растительного покрова. Вытаптывание уплотняет почву, уменьшается ее инфильтрационная способность, усиливается склоновый сток, что приводит к выносу в водоем поллютантов. Все вышеперечисленные

факторы приводят к потере пейзажных, лечебно-оздоровительных, экологических свойств рекреационных ландшафтов.

На исследуемом нами ключевом участке автотранспорт можно отнести к одному из негативных факторов влияющему на естественное состояние ландшафтов. Автотранспорт загрязняет атмосферу и компоненты ландшафта выхлопными газами, нефетпродуктами, тяжелыми металлами и другими токсичными веществами (Mepoli V.et al., 2019). В рекреационный период большинство рекреантов приезжают отдыхать на личном автотранспорте. Равнинный рельеф исследуемой территории позволяет передвигаться на автотранспорте в различных направлениях съезжая с основных дорог и заезжать на автомобилях в пределы водоохранной зоны (Рисунок 1)



Рис.1. Ключевой участок с самостоятельно-неорганизованной рекреационной деятельностью

На исследуемой нами территории на ряду с организованными участками рекреации и пляжами имеются также участки с неорганизованной рекреационной деятельностью. На участках с неорганизованной рекреационной деятельностью формируются уязвимые ландшафты с высокой интенсивностью посещений в летний период, что негативно влияет на устойчивость ландшафтов. Отсутствие прибрежных водоохранных зон на участках с неорганизованной рекреационной деятельностью позволяет отдыхающим подъезжать к самому берегу на

автотранспорте, что способствует выбросу токсичных веществ в атмосферу, оседанию на почву и последующему выносу в водоем. Вода в озере Алаколь по преобладающему анионному содержанию является хлоридно-сульфатной, а по доминирующему катионному содержанию является натриевой.

В летнее время на озере Алаколь рекреанты загорают на пляже, плавают, принимают лечебные грязевые ванны, катаются на катамаранах, гидроскутерах, моторных лодках и совершают поездки на остров Аралтөбе. Моторные лодки за счет работы двигателей внутреннего

сгорания также являются источником загрязнения озера токсичными веществами, тяжелыми металлами и нефтепродуктами. Следовательно, вопросы изучения токсичных веществ и тяжелых металлов в поверхностных водах рекреационной зоны озера Алаколь являются актуальными.

Помимо привлекательных пейзажей, эстетических свойств и возможностей для оздоровления, важно учитывать текущее экологическое состояние туристских и рекреационных зон. Контроль за загрязняющими веществами необходим для соблюдения установленных стандартов и нормативов по предельно допустимым концентрациям и санитарно-гигиеническим требованиям в водных объектах культурно-бытового водопользования.

Цель данного исследования – оценка качества поверхностных вод в рекреационной зоне озера Алаколь.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

В географическом отношении озеро Алаколь расположено в наиболее пониженной части Алакольской котловины, между Жетысуским Алатау и Тарбагатайским хребтом на границе Алматинской и Абайской областей (Рисунок 2). В летний период отпусков озеро Алаколь является излюбленным местом отдыха для многих жителей Республики Казахстан и сопредельных государств. Согласно данным предоставленным в информационной системе Tourstat.kz (<https://tourstat.kz>), в 2022 году озеро Алаколь с целью туризма и отдыха посетили 582 948 человек, это примерно в 5 раз больше, чем в 2021 году, когда число отдыхающих составило 140 872 тыс. человек. В 2023 году по предварительным данным Акимата области Абай побережье озера Алаколь посетили около 1 000 000 млн.

человек.

В геоморфологическом отношении озеро относится к Алакольской впадине, которую можно выделить сформированными тектоническими формами. На данной территории можно выделить горную и низменную территорию. Озеро Алаколь является реликтовым водоемом с древней котловиной тектонического происхождения (Курдин Р.Д., Шильниковская Л.С., 1965).

Объектами исследования послужили 3 пробы воды, отобранные с участков наибольшего скопления отдыхающих в поверхностных водах рекреационной зоны озера Алаколь (село Кабанбай) в 2022 и 2023 гг. Для оценки степени загрязнения воды озера был исследован химический состав вод. Пробы отбирались в июле месяце, в самый пик рекреационного сезона. Отбор проб и анализы воды проводились согласно общепринятым методикам. Определение тяжелых металлов в воде озера Алаколь проводилось согласно стандартам (ГОСТ 26931-86, 26932-86, 26933-86, 26934-86). Определение физико-химических параметров воды проводилось согласно стандартам (ГОСТ 26449.1-85, СТ РК 1983-2010, 1963-2010, 1015-2000), нефтепродуктов (СТ РК ГОСТ Р 51797-2005), поверхностно-активные вещества (СТ РК 1983-2010).

Анализ по содержанию тяжелых металлов, химических элементов и загрязняющих веществ выполнен в лаборатории АО «Национального центра Экспертизы и Сертификации» города Семей. Протокола проб 1540/1 от 05 августа 2022 г., 1541/1 от 05 августа 2022 года, 940/1 от 24 июля 2023 г. Статистическая обработка проведена по руководству Н.А. Плохинского с использованием программы MS EXCEL.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

С 1956 года Гидрометслужбой КазССР стал проводится постоянный систематический отбор проб воды в озере Алаколь на определение химических свойств (Курдин Р.Д., Шильниковская Л.С., 1965). В дальнейшем на постоянной основе разными учеными проводились комплексные исследования связанные с изучением геоэкологического состояния озера Алаколь. Систематические

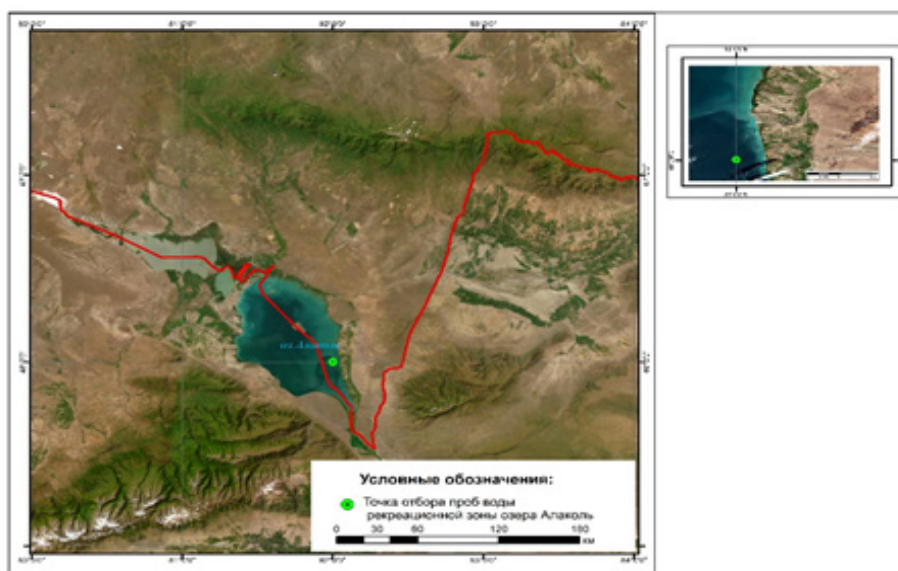


Рис.2. Географическое положение и точка отбора проб воды рекреационной зоны озера Алаколь

глогодичные исследования по превышению предельно-допустимых концентраций (ПДК) тяжелых металлов и других загрязняющих веществ в воздухе, почвах и водных объектах ПДК проводятся Национальной гидрометеорологической службой Республики Казахстан.

В информационном бюллетене о состоянии окружающей среды бассейна озера Балкаш за первое полугодие 2014 года, приведены данные по ПДК содержания меди. Превышение меди обнаружены в реках Емель – 4,9 ПДК, Катынсу – 3,3 ПДК, Урджар – 1,7 ПДК, Егинсу – 1,6 ПДК, которые впадают в озеро Алаколь (Информационный бюлле-

тедь о состоянии окружающей среды бассейна озера Балкаш 1-ое полугодие, 2014).

Исследования проведенные нами в 2015 году показали превышение допустимых концентраций по меди - 3,2 ПДК, и цинку - 1,25 ПДК (Джаналеева К.М., Мукаев Ж.Т., 2015). Нами использовались значения ПДК веществ в воде хозяйственно-питьевого и культурно-бытового водопользования по Республике Казахстан.

Во время летних полевых исследований 2022 и 2023 гг. были отобраны пробы воды, результаты полученных данных представлены в (таблица 1, 2).

Таблица 1

Статистические показатели химического состава в поверхностных водах рекреационной зоны озера Алаколь, мг/дм³ за 2022 г.

Параметры	$\bar{X} \pm Sx$	lim	σ	Cv, %
Запах, баллы	1±0	1-1	0	0
Цветность, град	10,15±0,25	9,8-10,5	0,35	3,45
Мутность	1,05±0,03571	1-1,1	0,05	4,76
pH	8,55± 0,032	8,5-8,59	0,045	0,527
Общая минерализация	9059,5± 1416,79	7076-11043	1983,5	21,89
Жесткость общ.	34,5± 2,14	31,5-37,5	3	8,70
Свинец	0,001±0	0,001-0,01	0	0
Цинк	0,195± 0,018	0,17-0,22	0,025	12,82
Медь	0,093± 0,003	0,089-0,096	0,0035	3,78
Нитраты	41,6± 0,71	40,6-42,6	1	2,40
Нитриты	0,052±0	0,052-0,052	0	0
Сульфаты	3816± 874,29	2592-5040	1224	32,08
Фториды	1,34±0,125	1,16-1,51	0,175	13,11
Аммоний	1,51±0,03	1,47-1,55	0,04	2,65
Натрий	2379± 506,43	1670-3088	709	29,80
Кальций	68± 37,14	16-120	52	76,47
Магний	373± 47,86	306-440	67	17,96
Гидрокарбонаты	802,15 ± 2,18	799,1- 805,2	3,05	0,38
Карбонаты	189± 6,43	180-198	9	4,76
БПК полное	3±0,07	2,9-3,1	0,1	3,33
Растворенный кислород	9,57± 0,07	9,47-9,67	0,1	1,04
Взвешенные вещества	57±7,86	46-68	11	19,30
Щелочность	19,45±0,18	19,2-19,7	0,25	1,29

Примечание: \pm – среднее \pm ошибка среднего, σ – стандартное отклонение, lim – размах лимитов, CV % - коэффициент вариации.

Таблица 2

Статистические показатели химического состава в поверхностных водах рекреационной зоны озера Алаколь, мг/дм³ за 2023 г.

Параметры	$\bar{X} \pm S_x$	lim	σ	CV, %
Запах, баллы	1±0,19	0,7–1,4	0,27	27
Цветность, град	8,63±0,44	7,7–9,4	0,62	7
Мутность	0,97±0,03	0,9–1	0,04	5
pH	8,94±0,09	8,79–12	0,12	1
Жесткость общ.	23,58±3,73	15,75–29,5	5,22	22
Свинец	0,001±0	0,001–0,001	0	0
Цинк	0,53±0,17	0,27–0,88	0,23	43
Медь	0,27±0,19	0,07–0,67	0,27	98
Нитраты	18,39±2,73	12,66–23,47	3,82	21
Нитриты	0,032±0,01	0,016–0,053	0,014	44
Фториды	1,29±0,15	0,97–1,53	0,21	16
Аммоний	6±0,24	5,5–6,4	0,33	6
Натрий	125,03±10,97	102–143,1	15,36	12
Кальций	25±2,38	20–30	3,33	13
Магний	302,33±17,46	278–339	24,44	8
Гидрокарбонаты	731±15,71	698–763	22	3
Карбонаты	246,33±34,13	205–318	47,78	19
БПК полное	4,11±0,29	3,5–4,55	0,41	10
Растворенный кислород	7,59±0,64	6,25–8,7	0,90	12
Взвешенные вещества	44,2±1,71	42,3–47,8	2,4	5
Щелочность	14,13±1,30	11,4–16	1,82	13

Изучение поверхностных вод проводилось по 32 физико-химическим показателям качества: температура, общая минерализация, жесткость, свинец, цинк, медь и др (таблицы 1 ... 2).

Данные наших исследований в 2022 и 2023 годах показали, что изменения значений показателей физических свойств воды озера Алаколь за два года незначительны.

Полученные данные показали, что поверхностные воды рекреационной зоны озера Алаколь по величине pH относятся к щелочным. В 2022 году средний показатель pH составил 8,5, в 2023 году данный показатель был равен 8,6.

Средняя величина общей жесткости составила в 2022 году 34,5 ммоль/л, а в 2023 году снизилась и составила - 23,58 ммоль/л. Среднее значение общей минерализации воды на отобранном нами участке в 2022 году составило 9059,5 мг/дм³. Согласно данным информационного бюллетеня о состоянии окружающей среды по Восточно-Казахстанской и Абайской области минерализация воды в озере Алаколь в июле 2022 г. составила 6906 мг/дм³, а в 2023 году в июле месяце минерализация повысилась до 7403 мг/дм³ (Информационные бюллетени о состоянии окружающей среды по Восточно-Казахстанской и Абайской областям, 2022, 2023).

Для озера Алаколь характерно значи-

тельное изменение минерализации по акватории, что обусловлено впадением в него ряда водотоков и наличием мелководных заливов со слабым водообменном (Филоновец П.П., 1976). Пространственно-временная неоднородность минерализации воды озера сохраняется при различном уровне режиме. Ионный состав воды оз. Алаколь характеризуется доминирующим положением ионов щелочных металлов и хлоридов, иногда частично гидрокарбонатов. Анализ показал значительное уменьшение минерализации воды в 2013 и 2017 гг. (из-за многоводности). Высокими показателями минерализации водной среды отличаются Южная и Восточная части озера, а самой низкой – Северный район (Утепбаева Ш.А., Мукатай А.А., 2018).

Поверхностные воды рекреационной зоны озера Алаколь характеризуются высокой жесткостью (31,5 ... 37,5 ммоль/л) и горько-соленостью. Среднее содержание гидрокарбонат-иона в 2023 году снизилось и составило – 731 мг/дм³, тогда как в 2022 году среднее содержание гидрокарбонат-иона было 802,15 мг/дм³.

В 2022 году средняя концентрация сульфат-ионов в изучаемых водах составила 3816 мг/дм³.

Средняя концентрация кальций-лмг/дм³ при размахе лимитов 20...30 мг/дм³. В 2022 году средняя концентра-

ция сульфат-ионов в изучаемых водах составила 3816 мг/дм³.

Средняя концентрация кальций-иона в изучаемых водах также снизилась в 2023 году и составила 25 мг/дм³ при размахе лимитов 20...30 мг/дм³. В 2022 году средняя концентрация кальций-иона составляла 68 мг/дм³ при размахе лимитов 16...120 мг/дм³.

Содержание магния в 2022 году в поверхностных водах рекреационной зоны озера Алаколь составило 373 мг/

дм³. В 2023 году данный показатель снизился и составил значение 302,33 мг/дм³.

Показатели среднего содержания нитратов и нитритов в 2023 году по сравнению с 2022 годом также заметно снижаются. В 2022 году содержание нитратов составило 41,6 мг/дм³, а содержание нитритов – 0,052. В 2023 году среднее содержание нитратов составило 18,39 мг/дм³, содержание нитритов – 0,016 мг/дм³ (рисунок 3...4).

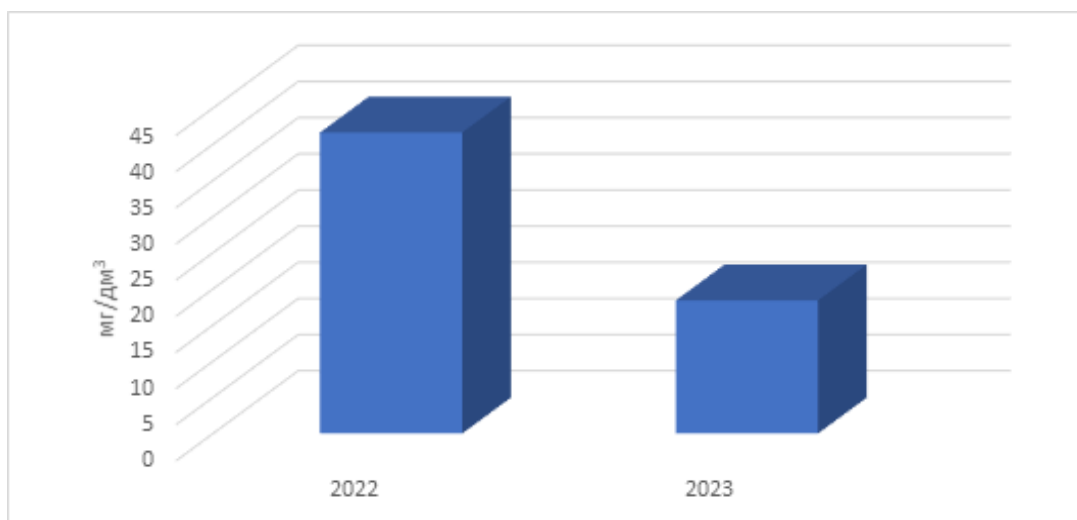


Рис. 3. Содержание нитратов в поверхностных водах рекреационной зоны озера Алаколь в 2022 и 2023 гг.

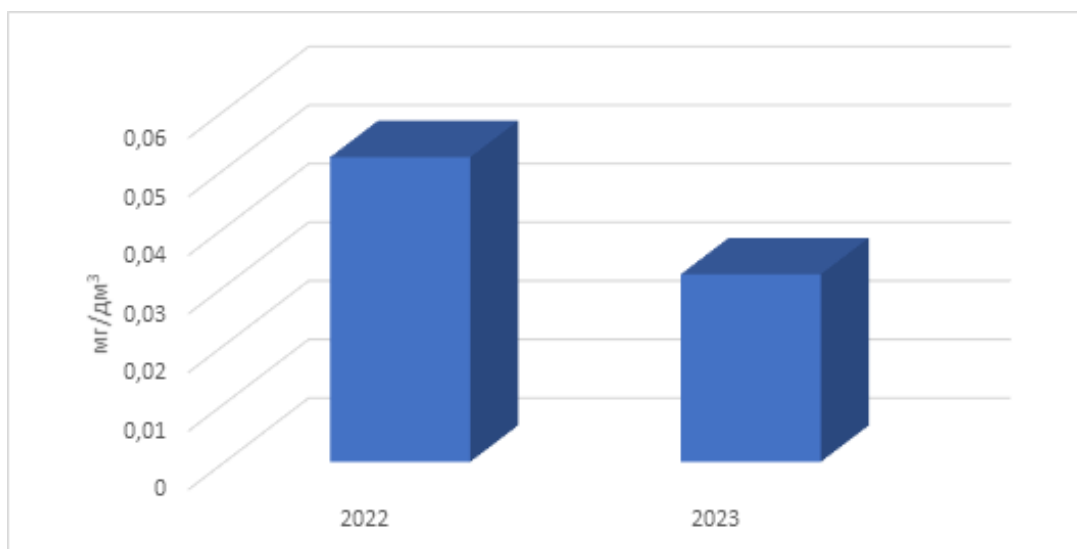


Рис.4. Содержание нитритов в поверхностных водах рекреационной зоны озера Алаколь в 2022 и 2023 гг. мг/дм³

В 2022 и 2023 годах содержание свинца в поверхностных водах озера Алаколь не изменилось и составило $0,0001 \text{ мг/дм}^3$. Содержание цинка и меди в водах озера Алаколь в 2023 году увеличилось (рисунок 5). В 2022 году содержание цинка составило $0,195 \text{ мг/дм}^3$ с коэффициентом вариации – 12,82 %, а в 2023 – $0,53 \text{ мг/дм}^3$ с коэффициентом вариации – 43%. Содержание меди в 2022 году в поверхностных водах рекреационной зоны озера Алаколь составило $0,093 \text{ мг/дм}^3$, тогда как в 2023 году содержание меди увеличилось и составило в поверхностных водах – $0,27 \text{ мг/дм}^3$. Повышение содержания в 2023 году цинка и меди по сравнению с 2022 годом, вероятно связаны с воздействием моторных лодок, которые во время летнего периода в большом количестве оказывают услуги отдыхающим совершая

прогулки вдоль прибрежной акватории озера.

Следует отметить, что полученные данные по концентрации соединений тяжелых металлов в поверхностных водах рекреационной зоны исследуемого объекта показали, что содержание тяжелых металлов таких, как кадмий, медь, цинк и свинец не превысило предельно-допустимых концентраций. Достоверность полученных нами данных по содержанию меди, цинка, свинца подтверждаются количественными показателями информационного бюллетеня о состоянии окружающей среды за июль месяц 2023 года по Восточно-Казахстанской и Абайской областям. В отобранных пробах озера Алаколь створ: п. Кабанбай содержание кадмия составило $0,0001 \text{ мг/дм}^3$, меди $0,008 \text{ мг/дм}^3$, то есть данные показатели не превышают ПДК, цинк и свинец не обнаружены.

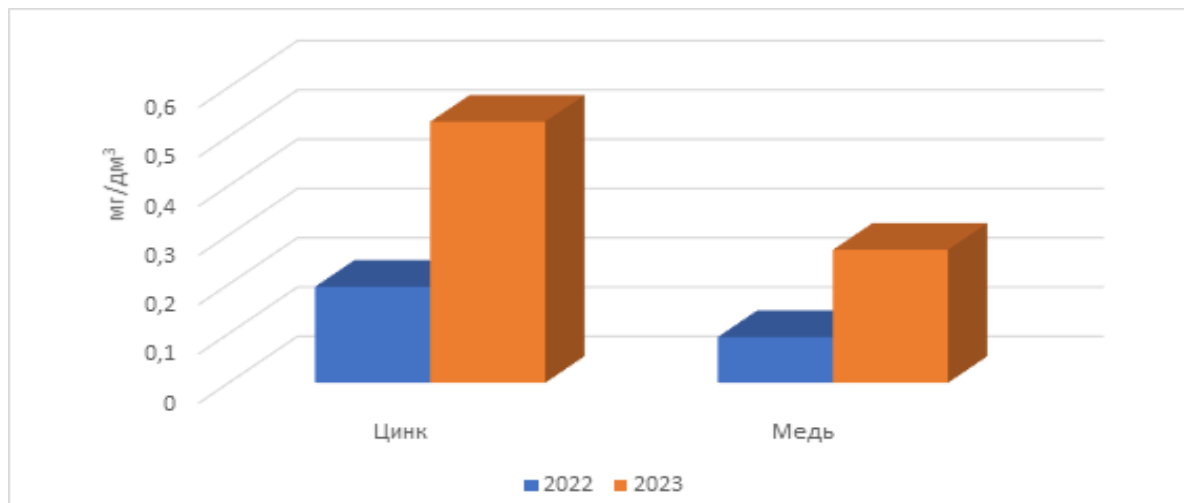


Рис.5. Содержание концентрации тяжелых металлов в поверхностных водах рекреационной зоны озера Алаколь за 2022 и 2023 гг.

Проведенные исследования показали, что фосфаты, поверхностно-активные вещества, нефтепродукты, фенолы, органические и неорганические вещества, формальдегиды, кадмий в поверхностных водах озера Алаколь не обнаружены.

Согласно информационному бюллетеню о состоянии окружающей среды по Восточно-Казахстанской и Абайской области за июль 2023 года содержание нефтепродуктов в воде озера Алаколь составило $0,02 \text{ мг/дм}^3$ (Информационный бюллетень о состоянии окружающей среды по Восточно-Казахстанской и Абайской областям, июль 2023). Для выявления достоверных данных

по концентрации загрязняющих элементов в поверхностных водах, используемых в рекреационных целях важны дальнейшие дополнительные гидрохимические наблюдения.

Увеличение и незначительные превышения предельно-допустимых концентраций по аммоний 6 мг/дм^3 в 2023 году создают предпосылки для дальнейших мониторинговых исследований (Рисунок – 6).

Превышение аммония вероятно связано со смывом с тела отдыхающих, который присутствуют в конечных продуктах обмена веществ организма человека. Отдыхающие преимущественно концентрируются в прибрежной зоне. Важное значение имеет недопущение в

будущем поступления биогенных веществ, которые могут поступать в поверхностные воды за счет ежегодного увеличения отдыхающих и интенсивного развития туризма.

Следует отметить, что в 2023 году по сравнению с 2022 годом средняя концентрация большинства химических элементов в воде снизилась. В поверхностных водах исследуемой территории не выявлено значительных и резких превышений

по изученным показателям. Отсутствию ПДК исследованных элементов, вероятно, способствуют процессы самоочищения озера Алаколь.

Неорганизованная и нерегламентированная рекреационная деятельность в будущем будет оказывать негативное воздействие на ландшафты и поверхностные воды, поэтому важной задачей является постоянный мониторинг и поиск путей по предотвращению негативного воздействия на рекреационные территории.

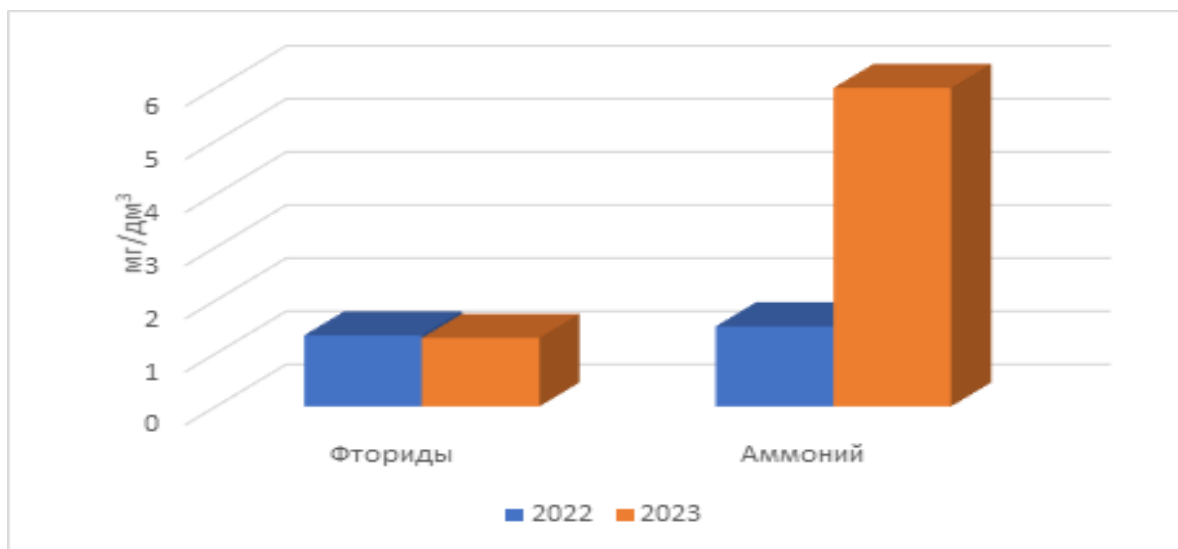


Рис.6. Содержание концентрации фторидов и аммония в поверхностных водах рекреационной зоны озера Алаколь за 2022 и 2023 гг.

ВЫВОДЫ

1. Дана геоэкологическая оценка поверхностных вод рекреационной зоны озера Алаколь используемых в целях рекреации.

2. Проведенный анализ поверхностных вод рекреационной зоны озера Алаколь в 2022 и 2023 годах показал, что по тяжелым металлам (свинец, цинк и медь) превышения ПДК не обнаружены. Однако в 2023 году по сравнению с 2022 годом наблюдается незначительное увеличение содержания меди и цинка в поверхностных водах рекреационной зоны озера Алаколь. В 2022 году содержание цинка составило 0,195 мг/дм³, в 2023 - 0,53 мг/дм³. Среднее содержание меди в 2022 году составило – 0,093 мг/дм³, в 2023 году содержание меди значительно увеличилось и составило - 0,27 мг/дм³.

3. Среднее содержание свинца в поверхностных водах рекреационной зоны озера Алаколь за 2022 и 2023 годы не изменилось и составило 0,0001 мг/дм³.

4. Фосфаты, ПАВ, нефтепродукты, фенолы, органические и неорганические вещества, формальдегид, ХПК, кадмий в 2022

и 2023 годах в озере Алаколь не обнаружены.

5. Проведенные исследования показали, что рекреационная деятельность на сегодняшний день не оказывает значительное влияние на поверхностные воды рекреационной зоны озера Алаколь. Для дальнейшего устойчивого развития рекреационной деятельности необходимы дальнейшие систематические мониторинговые исследования.

Данное исследование было проведено в рамках грантового финансирования молодых ученых по научным и (или) научно-техническим проектам на 2022-2024 годы Министерством науки и высшего образования Республики Казахстан (ИРН № AP13068020).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Budowski, G. Tourism and environmental conservation: conflict, coexistence, or symbioses, *Environmental Conservation?* 3(1) . – 1976. – 27-310 p.
2. Cohen, E. The impact of tourism on the physical environment’, *Annals of Tourism Research*, 5(2). – 1978. – 215–237 p.
3. Pearce, D. G. Tourism and environmental research: a review’, *International Studies*, 25. – 1985/ - 247-255 p.

4. De Cantis S, Parroco AM, Ferrante M, Vaccina F. Unobserved tourism. *Annals of Tourism Research*. 2015 Jan 1;50. – 1-8 p.
5. Rätz, T. & Puszczko, L. The Impacts of Tourism. An Introduction. Hämeenlinna:Häme Polytecknic.– 2002.– 122-126 p.
6. Hunter, C. & Green, H. *Tourism and the Environment: A Sustainable Relationship?* Routledge. London.2002. – 102-106 p.
7. Wilson, D. & Seney, S. *The Geography of Tourism and Recreation: Environment, Place and Space*: London: Routledge. – 2003. – 56-57 p.
8. Holden, A. *Environment and Tourism*. 2nd edition. London: Routledge. - 2008. - p. 123-126 p.
9. Достай Ж.Д., Толганбаева С.А. Оценка гидроэкологического состояния водоемов Алакольской впадины // Биологическое и ландшафтное разнообразие Республики Казахстан. – Алматы, 1997. – С. 118-119.
10. Амиргалиев Н.А., Лопарева Т.Я., Гоголь Л.А., Канагатова Ш.К. Гидрохимический режим озер Алакольской впадины // Гидрометеорология и экология. – 2003. - №4. – С. 102 – 114
11. Глобально значимые водно-болотные угодья Казахстана (Алаколь-Сасыккольская система озер) / Под. ред. д.т.н. Бурлибаева М.Ж., и др. – Астана «Типография Комплекс», 2007. – 254 с.
12. Erdavletov S., Aktymbayeva A. Alakol lake as natural-recourse subsystem of local tourist-territorial recreational subsystem of Alakol basin // *International proceeding of chemical, biological and environmental engineering*. – Bangkok, 2012. – Vol. 46. – P. 80-86.
13. Актымбаева А.С. Гидроэкология Алакольской группы озер // Гидрометеорология и экология. – 2006. – №2. – С. 161-167.
14. Azam M, Alam MM, Hafeez MH (2018) Effect of tourism on environmental pollution: further evidence from Malaysia, Singapore and Thailand. *J Clean Prod* 190:330–338.
15. Memoli V, Esposito F, Panico SC, De Marco A, Barile R, Maisto G. Evaluation of tourism impact on soil metal accumulation through single and integrated indices. *Sci Total Environ*. 2019;682:685–91
16. Информационная система базы данных Tourstat.kz <https://tourstat.kz>
17. Курдин Р.Д., Шильниковская Л.С. Гидрохимический режим Алакольских озер // Алакольская впадина и ее озера / Вопросы географии Казахстана. Алма-Ата: Наука, 1965. Вып. 12. С. 209 – 222.
18. Информационный бюллетень о состоянии окружающей среды бассейна озера Балкаш 1-ое полугодие 2014 г. РГП «КАЗГИДРОМЕТ», Департамент экологического мониторинга Филиал РГП «Казгидромет» г. Алматы 2014 г.
19. Джаналеева К.М., Мукаев Ж.Т. Геоэкологическая оценка рекреационного водопользования озера Алаколь // Гидрометеорология и экология. – 2015. – №1. – С. 157-165
20. Информационный бюллетень о состоянии окружающей среды по Восточно-Казахстанской и Абайской областям за июль 2023 года. Комплексная лаборатория мониторинга состояния окружающей среды филиала РГП на ПХВ «Казгидромет» по Восточно-казахстанской области г. Усть-Каменогорск 2022. – 37 с.
21. Информационный бюллетень о состоянии окружающей среды по Восточно-Казахстанской и Абайской областям за июль 2023 года. Комплексная лаборатория мониторинга состояния окружающей среды филиала РГП на ПХВ «Казгидромет» по Восточно-казахстанской области г. Усть-Каменогорск 2023. – 41 с.
22. Филоновец П.П. Очерки по географии внутренних вод Центрального, Южного и Восточного Казахстана. – Семипалатинск: 1976 – 28 с.
23. Утепбаева Ш.А., Мукаатай А.А. Пространственно-временное изменение гидрохимического режима озера Алаколь в полноводный период // Гидрометеорология и экология. – 2018. – №1. – С. 92-102

REFERENCES

1. Budowski. G. Tourism and environmental conservation: conflict, coexistence, or symbioses // *Environmental Conservation*. – №3(1). –1976. – P. 270-310.
2. Cohen. E. The impact of tourism on the physical environment // *Annals of Tourism Research*. – №5(2). – 1978. – P.215–237.
3. Pearce D. G. Tourism and environmental research: a review // *International Studies*, 25. – 1985. – P. 247-255.
4. De Cantis S., Parroco A.M., Ferrante M., Vaccina F. Unobserved tourism // *Annals of Tourism Research*. – 2015 – Jan.,50. – P.1-8.
5. Rätz, T. & Puszczko, L. The Impacts of Tourism. An Introduction. Hämeenlinna: Häme Polytecknic.– 2002.– 122-126 p.
6. Hunter, C. & Green, H. *Tourism and the Environment: A Sustainable Relationship?* Routledge. London. 2002. – P.102-106.
7. Wilson, D. & Seney, S. *The Geography of Tourism and Recreation: Environment, Place and Space*: London: Routledge. – 2003. – P.56-57.
8. Holden, A. *Environment and Tourism*. 2nd edition. London: Routledge. – 2008. – P.123-126.
9. Dostai Zh.D., Tolganbaeva S.A. Otsenka gidroekologicheskogo sostoyaniya vodoemov Alakol'skoi vpadiny // *Biologicheskoe i landshaftnoe raznoobrazie Respubliki Kazakhstan*. – Almaty, 1997. – S. 118-119.
10. Amirgaliev N.A., Lopareva T.Ya., Gogol' L.A., Kanagatova Sh.K. Gidrokhimicheskii rezhim ozer Alakol'skoi vpadiny // *Gidrometeorologiya i ekologiya*. – 2003. - №4. – S. 102 – 114.
11. Global'no znachimye vodno-bolotnye ugod'ya Kazakhstana (Alakol'-Sasykkol'skaya sistema ozer) / Pod. red. d.t.n. Burlibaeva M.Zh., i dr. – Astana «Tipografiya Kompleks», 2007. – 254 s.
12. Erdavletov S., Aktymbayeva A. Alakol lake as natural-recourse subsystem of local tourist-territorial recreational subsystem of Alakol basin // *International proceeding of chemical, biological and environmental engineering*. – Bangkok, 2012. – Vol. 46. – R. 80-86.
13. Aktymbayeva A.S. Gidroekologiya Alakol'skoi gruppy ozer // *Gidrometeorologiya i ekologiya*. – 2006. – №2. – S. 161-167.
14. Azam M., Alam M.M., Hafeez M.H. Effect of tourism on environmental pollution: further evidence from Malaysia, Singapore and Thailand. *J Clean Prod*. – 190. – 2018. – P.330–338.
15. Memoli V., Esposito F., Panico S.C., De Marco A., Barile R., Maisto G. Evaluation of tourism impact on soil metal accumulation through single and integrated indices. *Sci Total Environ*. 2019. – P. 682-685.

16. Informatsionnaya sistema bazy dannykh Tourstat.kz <https://tourstat.kz>
17. Kurdin R.D., Shil'nikovskaya L.S. *Gidrokhimicheskii rezhim Alakol'skikh ozer // Alakol'skaya vpadina i ee ozera // Voprosy geografii Kazakhstana. Alma-Ata: Nauka. – 1965., Vyp. 12. – S. 209 – 222.*
18. Informatsionnyi byulleten' o sostoyanii okruzhayushchei sredy basseina ozera Balkash 1-oe polugodie 2014 g. RGP «KAZGIDROMET», Departament ekologicheskogo monitoringa Filial RGP «Kazgidromet» g. Almaty, 2014 g.
19. Dzhanaleeva K.M., Mukaev Zh.T. *Geoekologicheskaya otsenka rekreatsionnogo vodopol'zovaniya ozera Alakol' // Gidrometeorologiya i ekologiya. – 2015. – №1. – S. 157-165.*
20. Informatsionnyi byulleten' o sostoyanii okruzhayushchei sredy po Vostochno-Kazakhstanskoi i Abaiskoi oblasti za iyul' 2022 goda. Kompleksnaya laboratoriya monitoringa sostoyaniya okruzhayushchei sredy filiala RGP na PKhV «Kazgidromet» po Vostochno-kazakhstanskoi oblasti g. Ust'-Kamenogorsk 2022. – 37 s.
21. Informatsionnyi byulleten' o sostoyanii okruzhayushchei sredy po Vostochno-Kazakhstanskoi i Abaiskoi oblasti za iyul' 2023 goda. Kompleksnaya laboratoriya monitoringa sostoyaniya okruzhayushchei sredy filiala RGP na PKhV «Kazgidromet» po Vostochno-kazakhstanskoi oblasti g. Ust'-Kamenogorsk 2023. – 41 s.
22. Filonovets P.P. *Ocherki po geografii vnutrennikh vod Tsentral'nogo, Yuzhnogo i Vostochnogo Kazakhstana. – Semipalatinsk: 1976 – 28 c.*
23. Utepbaeva Sh.A., Mukatai A.A. *Prostranstvenno-vremennoe izmenenie gidrokhimicheskogo rezhima ozera Alakol' v polnovodnyi period // Gidrometeorologiya i ekologiya. – 2018. – №1. – S. 92-102.*

АЛАКӨЛ КӨЛІНІҢ РЕКРЕАЦИЯЛЫҚ АЙМАҒЫНДАҒЫ ЖЕР ҮСТІ СУЛАРЫНЫҢ САПАСЫН ЗЕРТТЕУ

Ж.Т.Мукаев¹ PhD, Ж.О. Озгелдинова² PhD, М.М. Улыкпанова², А.А.Жангужина^{2*} PhD

¹ Семей қ. Шәкәрім атындағы Университеті, Қазақстан

²Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті, Астана қ.. Қазақстан

E-mail: altyn8828@mail.ru

Зерттеудің мақсаты Абай облысының Алакөл көлінің рекреациялық аймағындағы жер үсті суларының сапасына рекреациялық қызмет пен туризмнің әсерін геоэкологиялық бағалау болып табылады. Алакөл көлінің рекреациялық аймағындағы жер үсті суларының сапасын геоэкологиялық бағалау соңғы жылдары демалушылар санының артуына және рекреациялық пайдалану қарқындылығының артуына байланысты маңызды мәнге ие. Мақалада Алакөл көлінің рекреациялық аймағының жер үсті суларындағы ауыр металдардың және басқа да улы заттардың құрамы туралы сұрақтар қарастырылды. Алакөл көлінің рекреациялық аймағының жер үсті суларындағы ауыр металдардың, биогенді және органикалық заттардың концентрациясы бойынша деректер алынды. Алакөл көлінің рекреациялық аймағы суының гидрохимиялық құрамы зерттеліп, талданды және жер үсті суларының ластаушы заттарының құрамы бойынша салыстырмалы сипаттама жүргізілді.

Түйін сөздер: тұрақты туризм, рекреация, жер үсті сулары, Алакөл, рекреациялық әсер, ластану.

GEOECOLOGICAL ASSESSMENT OF SURFACE WATER QUALITY IN THE RECREATIONAL ZONE OF LAKE ALAKOL

Zh. T. Mukayev¹ PhD, Zh.O.Ozgeldinova² PhD, M.M. Ulykpanova², A.A. Zhanguzhina^{2*} PhD

¹Shakarim University, Semei, Kazakhstan

²L.N. Gumilyov Eurasian National University, Astana, Kazakhstan

E-mail: altyn8828@mail.ru

The purpose of the study is a geoecological evaluation of the influence of recreational actions and of tourism on the characteristics of superficial waters in the recreational zone of Lake Alakol in the Abay region. Geoecological assessment of the quality of surface water in the recreational zone of the above-mentioned lake is important in the number of vacationers in recent years and the increasing intensity of recreational use. The article examines issues regarding the compound of heavy metals and other harmful metals and connections in the superficial waters of the recreational area of the above-mentioned lake. Data were obtained

on the connections metals, nutrients and organic substances in the superficial waters of the recreational zone of the above-mentioned lake. The hydrochemical content of the water in the recreational zone of Lake Alakol was studied and analyzed and a comparative specification of the structure of contaminant in superficial waters was materialized out.

Key words: resistant tourism, recreation, surface waters, Alakol, recreational influence, contamination.

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

Мукаев Жандос Толеубекевич - PhD, асоц. профессор, декан естественно-математического факультета университета Шакарима, г. Семей, zhandos.mukaev@mail.ru

Озгелдинова Жанар Озгелдиновна - PhD, и. о. профессора кафедры физической и экономической географии Евразийского национального университета им. Л. Н. Гумилева, г. Астана, ozgeldinova@mail.ru

Жангужина Алтын Амиржановна - PhD, и. о. доцента кафедры физической и экономической географии Евразийского национального университета имени Л.Н.Гумилева, Астана, altyn@mail.ru

Улыкпанова Меруерт Муратовна - докторант кафедры физической и экономической географии Евразийского национального университета имени Л.Н.Гумилева, Астана, ulykpanova@mail.ru

Мукаев Жандос Толеубекевич - PhD, доцент, Шәкәрім университетінің жаратылыстану-математикалық факультетінің деканы, Семей қ., zhandos.mukaev@mail.ru

Озгелдинова Жанар Озгелдиновна - Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университетінің физикалық және экономикалық география кафедрасының профессор м. а., Астана қ., ozgeldinova@mail.ru

Жангужина Алтын Амиржановна - (корреспондент-автор) - PhD, Еуразия ұлттық университетінің физикалық және экономикалық география кафедрасының доцент м. а., Астана, altyn@mail.ru

Улыкпанова Меруерт Муратовна - Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университетінің физикалық және экономикалық география кафедрасының докторанты, Астана, ulykpanova@mail.ru

Mukaev Zhandos - PhD, Associate Professor, the Dean of the Faculty of Natural and Mathematical Sciences of Shakarim University, Semey, zhandos.mukaev@mail.ru

Ozgeldinova Zhanar - PhD, Acting Professor of the Department physical and economic geography of L.N. Gumilyov Eurasian National University, Astana, ozgeldinova@mail.ru

Zhanguzhina Altyn - PhD, Acting Associate Professor of the Department physical and economic geography of L.N. Gumilyov Eurasian National University, Astana, altyn@mail.ru

Ulykpanova Meruert - PhD student of the Department physical and economic geography of L.N. Gumilyov Eurasian National University, Astana, ulykpanova@mail.ru

Вклад авторов/ Авторлардың қосқан үлесі/ Authors contribution

Мукаев Жандос Толеубекевич - разработка концепции, проведения исследования, ресурсы

Озгелдинова Жанар Озгелдиновна - разработка методологии, ресурсы

Жангужина Алтын Амиржановна - создание программного обеспечения, подготовка и редактирование текста, визуализация

Улыкпанова Меруерт Муратовна - проведение статистического анализа, подготовка и редактирование текста, визуализация

Мукаев Жандос Толеубекевич - тұжырымдаманы әзірлеу, зерттеу жүргізу, ресурстар

Озгелдинова Жанар Озгелдиновна - әдістемені әзірлеу, ресурстар

Жангужина Алтын Амиржановна - бағдарламалық жасақтама жасау, мәтінді дайындау және өңдеу, көрнекілік

Улыкпанова Меруерт Муратовна - статистикалық талдау жүргізу, мәтінді дайындау және өңдеу, көрнекілік

Mukaev Zhandos - concept development, conducting a research, resources

Ozgeldinova Zhanar - methodology development, conducting a research, resources

Zhanguzhina Altyn - creating software, preparing and editing the text

Ulykpanova Meruert - conducting statistical analysis, visualization

**СОВРЕМЕННАЯ ГИДРОХИМИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ВОДНЫХ ОБЪЕКТОВ
КАЗАХСТАНСКОЙ ЧАСТИ БАССЕЙНА Р. ЕРТИС****С.М. Романова^{1*}** д.г.н., **Е.Г. Крупа^{1,2}** д.б.н., **А.С. Серикова¹**, **С.Н. Алексеев¹**¹*РГП на ПХВ «Институт зоологии» КН МНВО РК, Алматы, Казахстан*²*Казахстанское Агентство Прикладной экологии, Алматы, Казахстан**E-mail: sofiyarom@mail.ru*

В статье приведены материалы собственных исследований по изучению распределения минерализации, ионного состава, жесткости, растворенных газов и значений pH в различных компонентах речной экосистемы Казахстанской части бассейна р. Ертис в летний период 2023 года. Установлено, что вода р. Кара Ертис по величине минерализации относится к ультрапресной, величине общей жесткости – к мягкой, содержанию и соотношению главных ионов – к карбонатному классу, кальциевой группе, второго типа. В пределах Павлодарской области концентрация основных солеобразующих ионов в воде р. Ертис возрастает в среднем в 1,7...2,4 раза, вода становится пресной, индекс воды по Алекину сохраняется S^{Ca} по всему течению. Минерализация воды в пойменных озерах Орловское, Старица, Курколь мало отличается от воды р. Ертис. Вода всех изученных водных объектов, за исключением озера – накопителя Балкылдак, по содержанию нормируемых главных ионов и минерализации относится к 1 классу качества, пригодна для всех видов водопользования и соответствует «очень хорошему» качеству. Накопитель сточных вод Балкылдак имеет воду повышенной солености (19,42 г/дм³), очень жесткую, сильно метаморфизованную хлоридно-натриевого состава третьего типа и ее можно рекомендовать для извлечения бишофита, галита и гипса.

Ключевые слова: минерализация, ионный состав, растворенные газы, гидрохимия, величина pH, жесткость воды, солевой состав, экология

Поступила: 29.11.23

DOI: 10.54668/2789-6323-2024-112-1-121-132

ВВЕДЕНИЕ

Ертис – наиболее длинная трансграничная река, протекающая по территории Китая, Казахстана и России. Кара Ертис – верхнее течение реки Ертис, от истока в Китае до впадения в озеро Жайсан. На данном участке основное русло имеет несколько притоков, как левобережных (р. Кендирик, р. Жарлы), так и правобережных (р. Куршим, р. Калжыр). Притоки правобережья – это горные реки, берущие начало на водоразделах нескольких горных систем (Сауыр-Тарбагатай, Алтай и т.д.). Притоки левобережья малочисленны и более маловодны. Они, имея истоки в отрогах хребта Тарбагатай, в основном течении получают подпитку за счет снеготаяния в полупустынных районах.

Основным водным объектом Павлодарской области является трансграничная

река Ертис, протяженность которой по Павлодарской области составляет 720 км.

Водные ресурсы Ертиса интенсивно используются не только в Китае, России, но и на территории Казахстана (крупные и малые водохранилища, забор воды в канал им. К. Сатпаева, источник водоснабжения более 550 населенных пунктов Карагандинской, Восточно-Казахстанской и Павлодарской областей) (Винокуров Ю.И. и др., 2010; Mamitimin Y. et al., 2015; Дускаев К.К. и др., 1999; Зонн И.С. и др., 2018). На фоне ежегодно возрастающего безвозвратного забора воды реальную озабоченность вызывает и неудовлетворительное качество воды на всем протяжении реки (Бурлибаев М. Ж. и др., 2014; Бурлибаев М. Ж., Куц С.И. и др., 2014; Чемагин А.А., 2015). Вода р. Ертис загрязняется в основном

промышленными, сельскохозяйственными и коммунально-бытовыми стоками. Так, на территории Павлодарской области существуют три основных очага химического загрязнения природной среды: промышленные предприятия города Павлодара, угольные карьеры, ГРЭС-1,2 г. Экибастуз, завод ферросплавов и ГРЭС г. Аксу. В этой связи сохраняется опасность техногенного воздействия на человека, использующего речную воду в питьевых целях.

На формирование химического состава воды рек и водоемов оказывают влияние физико-географические факторы, в том числе почвы и климат. Для территории Павлодарской области характерна высокая комплексность почвенного покрова, особенно широко распространены комплексы зональных почв с солонцами: черноземы южные в основном нормальных и карбонатных родов; светло – и темно каштановые; лугово-каштановые, луговые в основном древнеаллювиальные; солонцы и пески со значительным диапазоном механического состава, содержания гумуса и легкорастворимых солей (Агроклиматические ресурсы...,2017). В июле 2023 г. в г. Аксу

преобладала погода с умеренными ветрами 9-14 м/с, порывы ветра достигали 18 м/с, наблюдались дни со слабым ветром 3-5 м/с. Температура атмосферного воздуха колебалась от +11,0°С до +40,0°С. Осадки наблюдались в виде дождя от 0,0 до 12,9 мм. (Информационный бюллетень..., 2023).

С 2023 г. начаты комплексные физико-химические исследования водных объектов казахстанской части бассейна р. Ертис с целью оценки вклада природных и антропогенных факторов в общий уровень загрязнения речной экосистемы. Полученные данные необходимы также для учета сложных взаимосвязей между абиотическими и биотическими показателями гетерогенной природной экосистемы.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Сбор материалов осуществлялся в июле 2023 г. в верхней (Кара Ертис и притоки) и нижней части бассейна (река Ертис на территории Павлодарской и частично Абайской областей, пойменные озера и накопитель промышленных сточных вод Балкылдак) (рисунки 1...2).

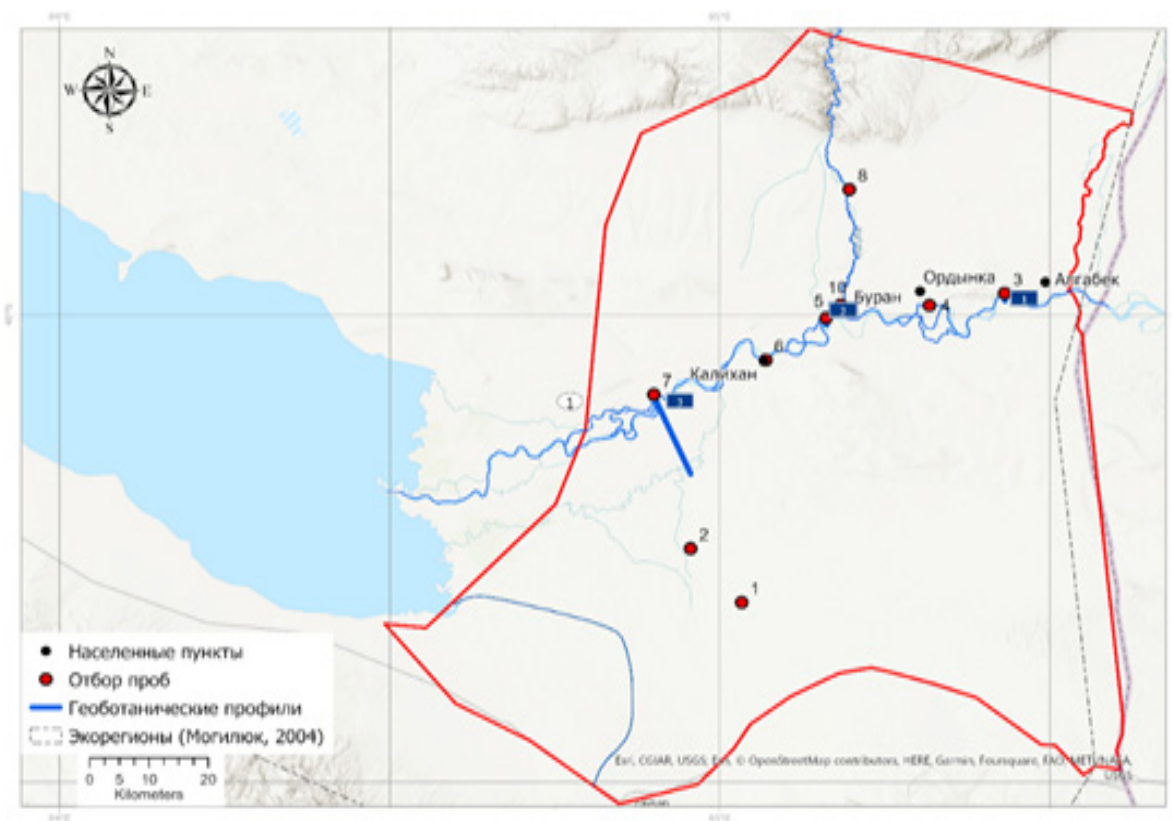


Рис.1. Карта бассейна р. Кара Ертис с пунктами отбора проб воды

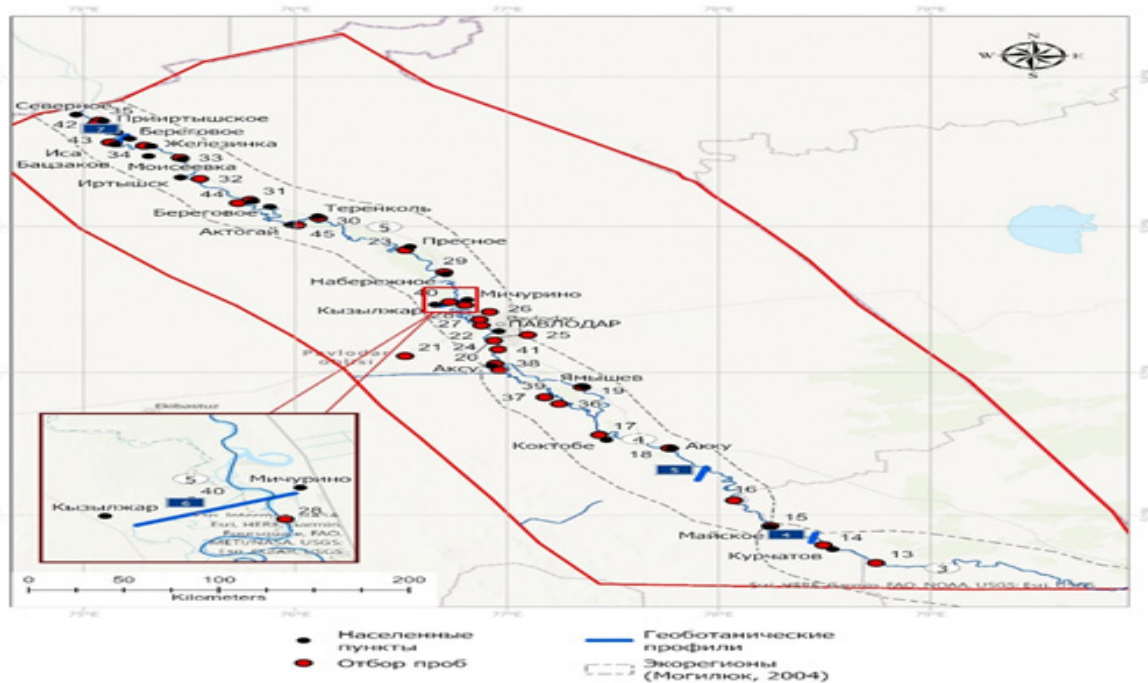


Рис.2. Карта бассейна р. Ертис в пределах Павлодарской области

На каждой станции определены физические свойства: вкус, запах и температура воды. В работе применялись полевые методы и методы лабораторного анализа. Согласно рекомендациям (Гусева Т.В., 2002; Семенов А.Д., 1977) определение неустойчивых компонентов воды (вкус, запах, температура, рН, HCO_3^- , CO_3^{2-} , O_2 , CO_2) проводилось сразу после отбора проб, остальных главных ионов Ca^{2+} , Mg^{2+} , SO_4^{2-} , Cl^- , Na^+ + K^+ , общей жесткости – в лаборатории из неконсервированных проб. Величина рН измерялась с помощью цифрового рН-метра АМТАСТ.

Для определения компонентов химического состава воды были применены общепринятые в гидрохимической практике методы (Семенов А.Д., 1977). Определение кислорода проведено йодометрически по методу Винклера; гидрокарбонатные и карбонатные ионы – методом объемного прямого титрования; ионы кальция, магния и общей жесткости – комплексометрическим методом с индикаторами мурексидом, хромовым черным ЕТ-00; сульфаты – весовым методом; хлориды – объемным аргентометрическим методом; суммарное содержание ионов натрия и калия рассчитано по разности между суммой анионов и катионов в ммоль/

дм³ эквивалентной форме. Интенсивность запаха и вкуса воды определяли при 20⁰С и 60⁰С и оценивали по пятибалльной системе.

В ходе анализа процент ошибок не превышал допустимых значений их погрешности. Все пробы воды анализировались в трехкратной повторности. Для получения достоверных выводов применялась математическая обработка (Чарыков А.К., 1984). Классификация химического состава произведена по О.А. Алекину (Алекин О.А., 1970).

Для гидрохимического анализа отобрано 44 пробы воды, в том числе 7 проб левобережных (р. Кендирик, р. Жарлы) и правобережных (р. Калжыр, р. Куршим), притоках, 5 – в Кара Ертис, 22 – в реке Ертис на территории Павлодарской области, 10 проб – в пойменных озерах Орловское, Курколь, Ески Ертис и накопителе Балкылдак. Координатная привязка станций выполнялась с помощью GPS-навигатора GarminTrex. Пробы воды отобраны в пределах восточных долгот 47.620...51.825 и северных широт 84.936...77.185.

Оценка качества воды по гидрохимическим показателям (главные ионы и значения рН) произведена на основе Единой системы классификации качества воды в

в водных объектах (Единая система..., 2016).

Основными критериями качества вод по содержанию кислорода и диоксида углерода являются значения предельно допустимых концентраций (ПДК) для водоемов рыбохозяйственного водопользования (Фомин Г.С., 1995; Никаноров А.М., 2008).

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

В летний период температура воды левобережных притоков реки Кара Ертис, Кендирлик и Жарлы прогревалась до 26,5 и 28,7°C, соответственно, а правобережных Куршим и Калжыр – до 15,5 и 21,5°C, соответственно (таблица 1). Температура воды р. Кара Ертис изменялась в пределах 22,7...23,5°C. Температура воды р. Ертис от г. Курчатова до п. Урлютюб увеличилась в среднем почти на 4°C. Температура воды пойменных левобережных озер Орловское и Курколь не превышает 23°C, а старицы 25°C. Вода рек Кара Ертис и его притоков, Ертиса не имели запаха и вкуса, интенсивность 0 баллов. В воде озера Орловское и Ески Ертис легко замечался травянистый и рыбный запах с кисловатым привкусом, интенсивность 2 балла. Вода оз. Курколь имела очень сильный смешанный болотистый, гнилостный, сероводородный с примесью ароматических химических веществ запах интенсивностью 5 баллов.

Болотистый, сероводородный запах с примесью химикатов ближе к смолистым веществам легко замечался в воде отстойника Балкылдак, интенсивность 3 баллов. Вкус озерной воды Курколь и Балкылдак не определяли.

Кислород и диоксид углерода являются важнейшими составляющими газов любого водоема или водотока, необходимыми для их экологической оценки. На содержание O₂ и CO₂ в воде оказывают влияние многие взаимосвязанные факторы: фотосинтез, потребление на различные окислительно-восстановительные процессы и дыхание организмов, температура воды, атмосферное давление, минерализация воды, интенсивность перемешивания водных масс и др. Концентрация углекислого газа влияет на смещение карбонатно-кальциевого равновесия, которое в конечном итоге позволяет исследовать агрессивные и накипеобразующие свойства воды. Изучение этих свойств является предметом самостоятельного исследования. Величина рН и температура воды оказывают существенное влияние на все вышеперечисленные процессы.

Концентрация растворенного кислорода в воде исследуемых водных объектов, кроме оз. Курколь (6,05...13,47, в среднем 7,16...12,56 мг/дм³) находится в пределах нормы ПДК для водоемов рыбохозяйственного назначения (6,00 мг/дм³) (таблица 1).

Таблица 1

Содержание газов, значение рН и температуры воды объектов бассейна р. Ертис, среднее значение со стандартной ошибкой, лето 2023 г.

Пункт	O ₂ , мг/дм ³	CO ₂ , мг/дм ³	рН	Температура, °С
р. Кендирлик, п. Даир	8,41	3,52	7,94	26,5
р. Жарлы	7,16	3,30	7,74	28,7
р. Калжыр	8,90 ±0,11	0,81±0,81	7,38...7,72	19,2...21,5
р. Куршим	9,32±0,13	2,08±0,32	7,32...7,47	15,5...18,7
р. Кара Ертис	9,04±0,07	1,23±0,20	7,10...7,42	22,7...23,5
р. Ертис выше г. Павлодар	8,44±0,40	1,29±0,17	7,66...8,16	23,8...25,9
р. Ертис район Павлодар и г. Аксу	8,12±0,04	1,63±0,18	7,52...7,70	23,1...25,7
р. Ертис ниже Павлодар	9,87±0,21	1,76±0,19	7,50...7,88	24,4...25,7
Старица (Ески Ертис, п. Костомар)	12,56±0,40	1,10 ±0,00	7,95...8,02	24,6...25,1
оз. Орловское	12,56±0,50	0,37±0,37	7,92...9,45	22,6...23,0
оз. Курколь (выше г. Аксу)	5,49±1,14	0,13	8,19...8,46	21,7...22,1
озеро-накопитель Балкылдак	8,60	1,35	7,32	24,9

По содержанию кислорода вода р. Ертис, его притоков и озер в летний период 2023 г. относится к очень чистой или чистой. Вода оз. Курколь менее обогащена кислородом (в среднем 5,49 мг/дм³) возможно из-за чрезмерного развития зоо-фитопланктона по всей акватории озера, а также активного протекания восстановительных процессов в системе «донные отложения-вода», приводящие к значительному заиливанию озера.

Диоксид углерода содержится во всех объектах (0,13...3,52 мг/дм³), причем в озерах Курколь и Орлов-

ское его концентрация минимальная.

Водар. Ертис и притоков имеет слабощелочную среду, значения рН колеблются в пределах 7,32...8,16. А вода озера чаще более щелочная со значениями рН до 8,25. На одной из станций оз. Орловское значение рН достигло 9,45.

Анализ содержания главных ионов в воде объектов бассейна р. Ертис (кроме озера-накопителя Балкылдак) показал, что преобладающими являются ионы кальция (10,02...39,08 мг/дм³) и гидрокарбонатные ионы (48,82...195,26 мг/дм³) (таблица 2, рисунки 3...5).

Таблица 2

Предельные концентрации главных ионов в воде объектов бассейна р. Ертис, мг/дм³ (лето 2023 г.)

№ станции	значение	Na ⁺ +K ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	HCO ₃ ⁻	CO ₃ ²⁻	SO ₄ ²⁻	Cl ⁻	Минерализация	Общая жесткость, мг-экв/дм ³
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
р. Кендирлик, левый приток (п. Даир)										
1		5,75	12,02	4,62	48,82	0	13,50	4,61	89,30	7,94
р. Жарлы, левый приток (п. Биржан)										
2		13,25	10,42	3,65	54,92	0	14,32	5,32	101,90	7,74
р. Калжыр (правый приток)										
8...10	мин	7,25	10,02	4,26	54,92	0	9,46	2,84	113,20	7,38
	макс	11,50	16,08	6,08	79,33	0	13,50	4,61	123,20	7,72
р. Куршим (правый приток)										
11,12	мин	12,75	38,08	9,97	155,60	0	32,43	4,96	259,6	7,32
	макс	35,50	39,08	12,76	195,26	3,00	39,83	5,67	325,3	7,47
р. Кара Ертис										
3...7	мин	4,25	10,02	4,26	51,86	0	7,90	2,48	92,97	7,10
	макс	11,50	14,03	6,08	73,22	0	14,15	4,61	112,80	7,42
р. Ертис (выше г. Павлодар)										
13...19	мин	15,25	18,04	6,08	85,43	0	24,52	8,51	170,70	7,66
	макс	157,75	30,06	12,16	97,63	0	343,5	9,22	638,10	8,16
р. Ертис (г. Павлодар)										
20...22,	мин	11,50	22,05	7,29	91,53	0	26,50	7,09	171,40	7,52
24,27	макс	17,75	24,05	8,51	103,73	0	27,49	9,22	187,30	7,70
р. Ертис (ниже г. Павлодар)										
23	мин	11,25	20,04	7,03	85,43	0	24,69	7,80	160,40	7,50
28...36	макс	19,25	24,05	9,73	103,73	0	30,61	9,22	188,20	7,88
Ески Ертис (Старица, п. Костомар)										
43...45	мин	19,75	24,05	10,94	134,24	0	28,64	13,48	236,80	7,95
	макс	25,75	28,06	14,59	146,45	0	31,11	13,48	251,70	8,02
оз. Орловское										
37...39	мин	40,50	16,03	12,76	42,71	0	39,34	46,10	234,70	7,92
	макс	47,50	28,06	14,59	128,14	24,00	44,93	46,80	298,00	9,45
оз. Курколь (выше г. Аксу)										
40...42	мин	23,00	29,06	10,34	128,14	0	17,45	18,40	240,60	8,19
	макс	40,25	31,06	12,16	146,45	0	32,43	18,40	274,60	8,46
Отстойник Балкылдак										
26		5539,7	841,4	912,0	250,2	0	988,9	10885	19417,9	7,32

Индекс воды по классификации О.А. Алекина $S^{caп}$. Исключением являлась вода р.Ертис, отобранной у г. Курчатова (станция 13). Здесь больше всего содержится ионов натрия ($157,7 \text{ мг/дм}^3$) и сульфатных ионов ($343,5 \text{ мг/дм}^3$), индекс воды по О.А. Алекину $S^{Naп}$. Причиной повышенного содержания главных ионов здесь является сброс услов-

но чистых сточных вод г. Курчатова и близлежащих сел, а также возможной подпиткой более минерализованных грунтовых и подземных вод (Хамзина Ш.Ш., 2013). В остальных водных объектах концентрация ионов натрия и сульфатных ионов не превышает $35,5 \text{ мг/дм}^3$ и $39,8 \text{ мг/дм}^3$, соответственно.

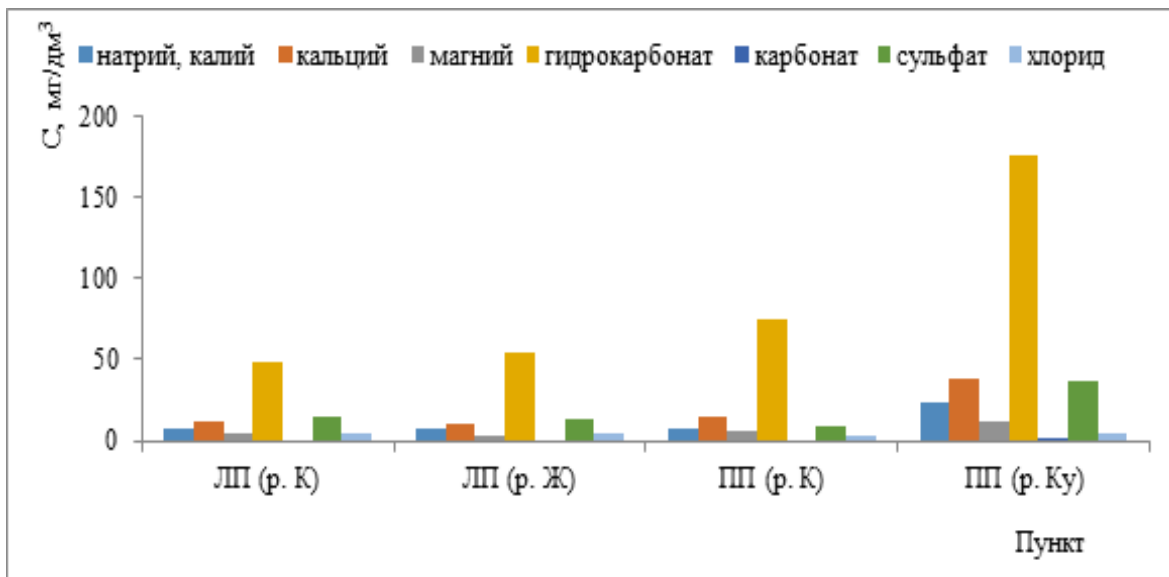


Рис.3. Среднее содержание главных ионов в воде притоков р. Ертис, лето 2023 г.

Усл. обозн.: ЛП(р. К) – левый приток, р. Кендирлик; ЛП(р. Ж) – левый приток, р. Жарлы; ПП (р. Калжыр); ПП (р. Ку) – правый приток, р. Куршим

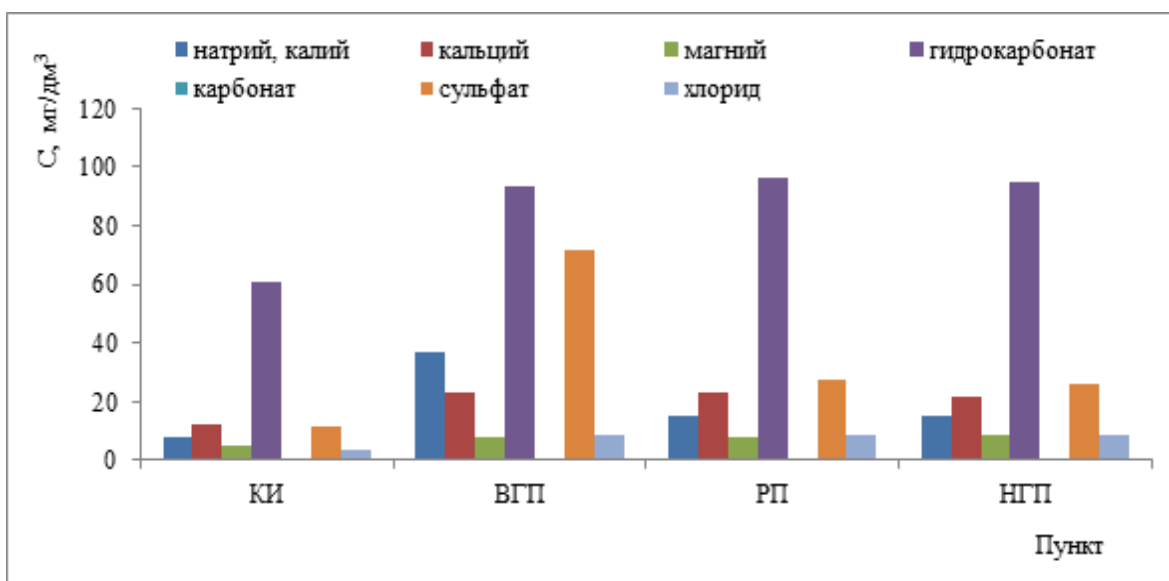


Рис.4. Среднее содержание главных ионов в воде по течению р. Ертис, лето 2023г.

Усл. обозн.: КИ – р. Кара Ертис; ВГП – р. Ертис, выше г. Павлодар; РП – р. Ертис, г. Павлодар; НГП – р. Ертис, ниже г. Павлодар

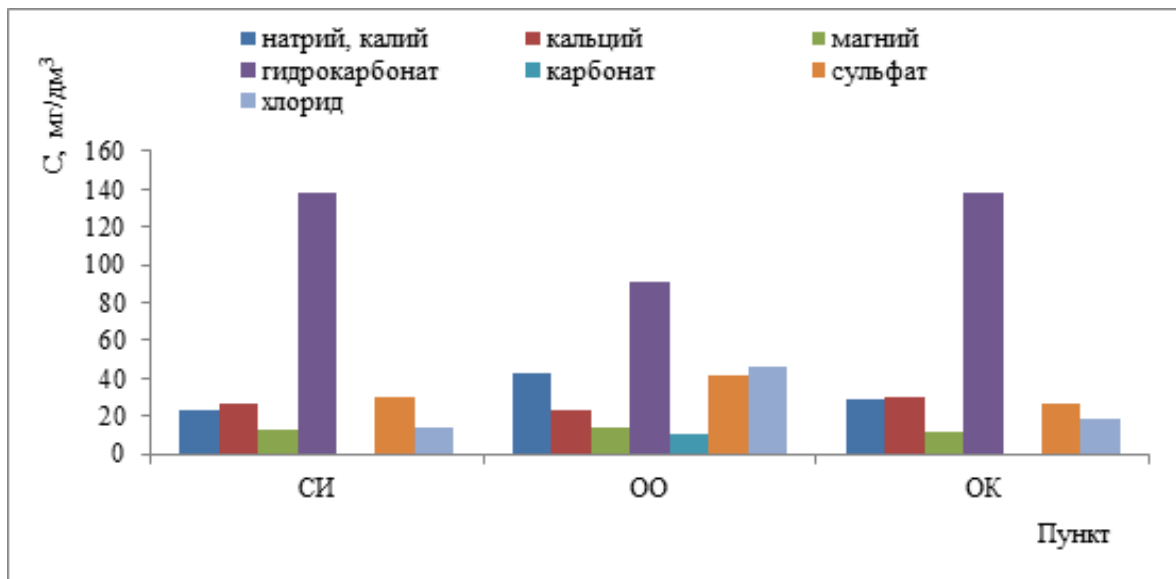


Рис. 5. Среднее содержание главных ионов в воде озера Павлодарского Прииртышья
Усл. Обозн.: СИ – Ески Иртыш (старича); ОО – оз. Орловское; ОК – оз. Курколь

Отметим, что карбонатно-кальциевый состав воды р. Ертис отмечался многими авторами с момента изучения его гидрохимии (Бурлибаев М.Ж. и др., 2014; Пильгук В.Я., 1975; Амиргалиев Н.А., 1998).

В воде озера-накопителя промышленных стоков Балкылдак преобладающими являются хлоридные ионы (56% от суммы ионов) и натрия (23% от суммы ионов), в то время как на остальные ионы приходится от 1 до 6% от суммы ионов. По содержанию нормируемых ионов вода озера-накопителя относится к 4 классу качества по сульфатам и к 5 классу качества по остальным ионам.

Закариной Н.А. с соавторами в 2009 г. был определен состав воды накопителя сточных вод Балкылдак (Закарина Н.А. и др., 2011). Авторы зафиксировали хлориды в количестве 4,0...4,2 г/дм³ и сухого остатка в 8,0...10,3 г/дм³. Можно заключить, что за период с 2009 г по 2023 г. идет постепенное накопление минеральных солей в озере-накопителе.

Вода левобережных притоков, р. Кара Ертис, р. Калжыр и самой р. Ертис (за исключением станции 13) имеет минерализацию меньше 0,2 г/дм³ и относится к ультрапресной (таблица 2). Вода р. Куршим (259,6...325,3 мг/дм³) и озер (234,7...298,0 мг/дм³) пресная.

Общая минерализация воды отстойни-

ка Балкылдак в летний период 2023 г. достигла 19,42 г/дм³, т.е. вода повышенной солености, относится к 5, наихудшему классу качества. А общая жесткость воды здесь составляет 120,0 мг-экв/дм³ (очень жесткая). Вода остальных водоемов и водотоков имеет жесткость 0,85...2,95 мг-экв/дм³ и считается мягкой.

Вода всех изученных водных объектов, за исключением озера-накопителя Балкылдак, по содержанию нормируемых главных ионов и минерализации относится к 1 классу качества, пригодна для всех видов водопользования и соответствует «очень хорошему» качеству (Единая система..., 2016).

Главные ионы являются основными в образовании минеральных солей. Расчет солевого гипотетического состава, основанный на растворимости солей, показал следующие результаты. Вода р. Кара Ертис содержит больше всего гидрокарбонатов кальция и магния (74%-экв), меньше (26%-экв) – сульфатов магния и натрия и хлорида натрия. Солевой состав воды р. Ертис несколько меняется по течению реки. Так, в пункте выше г. Павлодар доля гидрокарбонатов кальция и магния снижается до 46%-экв, в то время как доля других легко растворимых солей, особенно сульфата натрия (37%-экв), возрастает до 54%-экв. Это объясняется вероятнее всего влиянием более

минерализованных подземных и грунтовых вод, а также городских сточных вод г. Курчато́ва (Закарина Н.А. и др., 2011; Тулендинова Ю.Г., Швецова Л.В., 2020). Далее по течению в основном за счет разбавления и перемешивания водных масс наблюдался рост концентрации гидрокарбонатных солей до 67%-экв и снижения сульфатных и хлоридных солей до 14%-экв в пункте ниже г.Павлодар. При создавшихся условиях растворимые в воде гидрокарбонаты кальция и магния могут легко перейти в нерастворимые карбонаты, участвуя в сорбционно-десорбционных процессах, тем самым несколько понижая значение общей минерализации воды (Градзинский Р. и др., 1980; Романова С.М., 2008).

Качественный состав солей в притоках р. Ертыс и озерах Курколь и Ески Ертыс (Старица) практически не отличается от такового в самой реке. Содержание растворимых гидрокарбонатов кальция и магния колеблется в пределах 61,7...81,9%-экв от общего содержания солей. В воде оз. Орловское концентрация карбоната кальция и гидрокарбонатов кальция и магния ниже, чем в остальных объектах и составляет 45,5%-экв. Это свидетельствует о том, что с водосборной площади этого озера больше поступают растворимые сульфаты магния и натрия с хлоридом натрия. Вода притоков Жарлы и Куршим содержит гидрокарбонат натрия (сода) в количестве 6,0 и 2,0%-экв, соответственно.

Расчет солей в воде отстойника Балкылдак показал, что в ней практически отсутствуют гидрокарбонатные соли, но есть хлорид кальция (3,0%-экв), сульфат кальция (6,0%-экв), хлорид магния (23,0%-экв) и больше всего хлорида натрия (67%-экв). Такой состав солей характерен для сильно метаморфизованных вод с высокой минерализацией и участием солей в различных процессах многокомпонентной системы «вода-донные отложения-соли-растения». С большой вероятностью можно предположить образование на дне водоема таких минералов, как галит, бишофит и гипс.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, за летний период 2023 г. вода трансграничной р. Ертыс на участке от границы с Китаем до оз. Жайсан относится

по величине минерализации к ультрапресной (89,2...102,7 мг/дм³), по величине общей жесткости – к мягкой (0,85...1,10 мг-экв/дм³), по содержанию и соотношению главных ионов – к карбонатному классу, кальциевой группе, второго типа. В воде р. Ертыс в пределах Павлодарской области отмечается некоторое увеличение солесодержания в среднем на 74,8...141,5 мг/дм³. При этом вода остается мягкой, становится пресной и изменение соотношения главных ионов не происходит, индекс воды по Алекину постоянно С^сп. Вода пойменных озер имеет более высокое значение минерализации, в среднем 243,4...268,6 мг/дм³, чем в р. Ертыс. Ионный состав сохраняется карбонатно-кальциевым.

Накопитель сточных вод Балкылдак имеет воду повышенной солености, 19,42 г/дм³, сильно метаморфизованную хлоридно-натриевого состава третьего типа, по величине жесткости очень жесткую. Воду этого отстойника можно рекомендовать для извлечения таких минералов, как бишофит, галит и гипс.

Вода всех изученных водных объектов, кроме озера накопителя, по содержанию нормируемых главных ионов и минерализации относится к 1 классу качества, пригодна для всех видов водопользования и соответствует «очень хорошему» качеству. Содержание растворимых газов кислорода и диоксида углерода в воде изученных водных объектов (за исключением отстойника Балкылдак) не выходят за пределы их ПДК, что является благоприятным фактором при использовании воды в рыбохозяйственных целях. Качество воды озера-накопителя Балкылдак относится к 5 наихудшему классу.

Результаты, полученные по солеобразующим компонентам химического состава воды и газам объектов Казахстанской части бассейна р. Ертыс, которые подвержены разному влиянию естественных и антропогенных факторов, будут использованы для оценки экологического состояния бассейна и влияния загрязнения на биоразнообразие.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Агроклиматические ресурсы Павлодарской области: научно-прикладной справочник / Под ред. С.С. Байшоланова – Астана, – 2017. – 127 с.
2. Алекин О.А. Основы гидрохи-

- мии. – Л.: Гидрометеиздат, – 1970. – 443с.
3. Амиргалиев Н.А. Искусственные водные объекты Северного и Центрального Казахстана (гидрохимия и качество воды). – Алматы: НИЦ «Бастау», – 1998. – 191 с.
 4. Бурлибаев М.Ж., Амиргалиев Н.А., Шенбергер И.В., Скольский В.А., Бурлибаева Д.М., Уваров Д.В., Смирнова Д.А., Ефименко А.В., Милуков Д.Ю. Проблемы загрязнения основных трансграничных рек Казахстана. – Алматы: «Каганат», – 2014. – Т.1. – 742с.
 5. Бурлибаев М.Ж., Куц С.И., Фашевский Б.В., Опп К., Царегородцева А.Г., Шенбергер И.В., Бурлибаева Д.М., Айтуреев А.М. Затопление поймы Ертиса – главный фактор устойчивого развития речной экосистемы. – Алматы: «Каганат», – 2014. – 396с.
 6. Винокуров Ю.И., Чибилёв А.А., Краснаярова Б.А., Павлейчик В.М., Платонова С.Г., Сивохип Ж.Т. Региональные экологические проблемы в трансграничных бассейнах рек Урал и Иртыш // Известия РАН. Серия географическая. – 2010. – № 3. – С. 95-104.
 7. Градзинский Р., Костецкая А., Радомский А., Унруг Р. Седиментология. – М.: Недра, – 1980. – 646 с.
 8. Гусева Т.В. Гидрохимические показатели состава окружающей среды. – М.: Социально-экологический союз, – 2002. – 148с.
 9. Дускаев К.К., Шенбергер И.В. Оценка возможных экологических последствий забора воды из реки Черный Иртыш по каналу Иртыш-Карамай на территории КНР // Эколог. бюллетень. – Алматы, – 1999. – №1. – 13 с.
 10. Единая система классификации качества воды в водных объектах. Приказ Председателя Комитета по водным ресурсам Министерства сельского хозяйства Республики Казахстан от 9 ноября 2016 года № 151. Зарегистрирован в Министерстве юстиции Республики Казахстан 13 декабря 2016 года № 14513.
 11. Закарина Н.А., Цхай А.И., Епифанцева Т.М., Акулова Г.В. Мониторинг состава сточных вод некоторых промышленных предприятий г. Павлодара, озера-накопителя Балкылдак и подземных вод // Известия Национальной Академии наук Республики Казахстан. Серия химии и технологии. – 2011. – №3. – С.21-24.
 12. Зонн И.С., Жильцов С.С., Семенов А.В. Костяной А.Г. Трансграничные реки Казахстана и Китая // Вестник Московского университета им. С.Ю. Витте. Серия 1. Экономика и управление. – 2018. – № 4, вып. 27. – С. 82-90.
 13. Информационный бюллетень о состоянии окружающей среды по Павлодарской области. Июль 2023 г. – МэиПР РК. Филиал РГП «Казгидромет» по ПО. – 19 с.
 14. Никаноров А.М. Гидрохимия. – Изд. 3-е, перераб. и дополн., СПб.: Гидрометеиздат, – 2008. – 462 с.
 15. Пильгук В.Я. Физико-химия воды реки Иртыш в условиях создания водохранилищ: автореф. канд. хим. наук. – Алма-Ата: КазГУ. – 1975. – 30 с.
 16. Романова С.М. Бессточные водоемы Казахстана. Том 1. Гидрохимический режим. – Алматы: Каз. ун. – 2008. – 250с.
 17. Семенов А.Д. Руководство по химическому анализу поверхностных вод суши. – Л.: Гидрометеиздат, – 1977. – 541 с.
 18. Тулендинова Ю.Г., Швецова Л.В. Хозяйственное использование водных объектов на территории Павлодарской области республики Казахстан // Материалы IX Всероссийской с международным участием научно-практической конференции, Национальный исследовательский Томский государственный университет. – Томск: – 2020 г. – С.376-379.
 19. Фомин Г.С. Вода. Контроль химической, бактериальной и радиационной безопасности по международным стандартам. (Энциклопедический справочник). – М.: НПО «Альтернатива», – 1995. – 618 с.
 20. Хамзина Ш.Ш., Шарипова З.М., Омарова Г.М. Водные ресурсы Павлодарской области, их охрана и рациональное использование: Учебное пособие, – Павлодар: Инновац. Евраз. ун-т, 2013. – 248 с.
 21. Чарыков А.К. Математическая обработка результатов химического анализа. – Л.: Химия, – 1984. – 168 с.
 22. Чемагин А.А. Современное экологическое состояние реки Иртыш в нижнем течении. – Автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата биологических наук. – Тюмень, – 2015. – 17 с.
 23. Mamitim Y., Feike T., Seifert I., Doluschitz R. Irrigation in the Tarim Basin, China: farmers' response to changes in water pricing practices // Environ Earth Sci. – 2015. – Т.73. – P. 559–569 DOI 10.1007/s12665-014-3245-2.

REFERENCES

1. Agroklimaticheskie resursy Pavlodarskoi oblasti: nauchno-prikladnoi spravochnik / Pod red. S.S. Baisholanova – Astana, – 2017. – 127 s.
2. Alekin O.A. Osnovy gidrokhimii. – L.: Gidrometeoizdat, – 1970. – 443s.
3. Amirgaliev N.A. Iskustvennyye vodnye ob»ekty Severnogo i Tsentral'nogo Kazakhstana (gidrokhimiya i kachestvo vody). – Almaty: NITs «Bastau», – 1998. – 191 s.
4. Buplibaev M.Zh., Amipgaliev N.A., Shenbepger I.V., Skol'ckii V.A, Buplibaeva D.M., Uvapov D.V, Smipnova D.A., Efimenko A.V., Milyukov D.Yu. Ppoblemy zagpyazneniya osnovnykh tpancgranichnykh pek Kazakhctana. – Almaty: «Kaganat», – 2014. – T.1. – 742s.
5. Buplibaev M.Zh., Kuts S.I., Fashevskii B.V., Opp K., Tsaregorodtseva A.G., Shenbepger I.V., Buplibaeva D.M., Aitureev A.M. Zatoplenie poimy Ertisa – glavnyi faktor ustoichivogo razvitiya rechnoi ekosistemy. – Almaty: «Kaganat», – 2014. – 396s.
6. Vinokurov Yu.I., Chibilev A.A., Krasnoyarova B.A., Pavleichik V.M., Platonova S.G., Sivokhip Zh.T. Regional'nye ekologicheskie problemy v transgranichnykh basseinakh rek Ural i Irtysh // Izvestiya Ran. Seriya geograficheskaya. – 2010. – № 3. – S. 95-104.
7. Gradzin'skii R., Kostetskaya A., Radomskii A., Unrug R. Sedimentologiya. – M.: Nedra, – 1980. – 646 s.
8. Guseva T.V. Gidrokhimicheskie pokazateli sostava okruzhayushchei sredy. – M.: Sotsial'no-ekologicheskii soyuz, – 2002. – 148s.
9. Duskaev K.K., Shenberger I.V. Otsenka vozmozhnykh ekologicheskikh posledstviy zabora vody iz reki Chernyi Irtysh po kanalu Irtyshch-Karamai na territorii KNR // Ekolog.byulleten'. – Almaty, – 1999. – №1. – 13 s.
10. Edinaya sistema klassifikatsii kachestva vody v vodnykh ob»ektakh. Prikaz Predsedatelya Komiteta po vodnym resursam Ministerstva sel'skogo khozyaistva Respubliki

- Kazakhstan ot 9 noyabrya 2016 goda № 151. Zaregistrirovano v Ministerstve yustitsii Respubliki Kazakhstan 13 dekabrya 2016 goda № 14513.
11. Zakarina N.A., Tskhai A.I., Epifantseva T.M., Akulova G.V. Monitoring sostava stochnykh vod nekotorykh promyshlennykh predpriyatii g. Pavlodara, ozernakopitelya Balkyldak i podzemnykh vod // Izvestiya Natsional'noi Akademii nauk Respubliki Kazakhstan. Seriya khimii i tekhnologii. – 2011. – №3. – S.21-24.
12. Zonn I.S., Zhil'tsov S.S., Semenov A.V. Kostyanoi A.G. Transgranichnye reki Kazakhstana i Kitaya // Vestnik Moskovskogo universiteta im. S.Yu. Vitte. Seriya 1. Ekonomika i upravlenie. – 2018. – № 4, vyp. 27. – S. 82-90.
13. Informatsionnyi byulleten' o sostoyanii okruzhayushchei sredy po Pavlodarskoi oblasti. Iyul' 2023 g. – MeiPR RK. Filial RGP «Kazgidromet» po PO. – 19 s.
14. Nikanorov A.M. Gidrokhiimiya. – Izd. 3-e, pererab. i dopoln., SPb.: Gidrometeoizdat, – 2008. – 462 s.
15. Pil'guk V.Ya. Fiziko-khimiya vody reki Irtysh v usloviyakh sozdaniya vodokhranilishch: avtoref. kand. khim. nauk. – Alma-Ata: KazGU. – 1975. – 30 s.
16. Romanova S.M. Besstochnye vodoemy Kazakhstana. Tom 1. Gidrokhiimicheskii rezhim. – Almaty: Kaz. un. – 2008. – 250s.
17. Semenov A.D. Rukovodstvo po khimicheskomu analizu poverkhnostnykh vod sushi. – L.: Gidrometeoizdat, – 1977. – 541 s.
18. Tulendinova Yu.G., Shvetsova L.V. Khozyaistvennoe ispol'zovanie vodnykh ob'ektov na territorii Pavlodarskoi oblasti respubliki Kazakhstan // Materialy IX Vserossiiskoi s mezhduнародnym uchastiem nauchno-prakticheskoi konferentsii, Natsional'nyi issledovatel'skii Tomskii gosudarstvennyi universitet. – Tomsk: – 2020 g. – S.376-379.
19. Fomin G.S. Voda. Kontrol' khimicheskoi, bakterial'noi i radiatsionnoi bezopasnosti po mezhduнародnym standartam. (Entsiklopedicheskii spravochnik). – M.: NPO «Al'ternativa», – 1995. – 618 s.
20. Khamzina Sh.Sh., Sharipova Z.M., Omarova G.M. Vodnye resursy Pavlodarskoi oblasti, ikh okhrana i ratsional'noe ispol'zovanie: Uchebnoe posobie, – Pavlodar: Innovats. Evraz. un-t, 2013. – 248 s.
21. Charykov A.K. Matematicheskaya obrabotka rezul'tatov khimicheskogo analiza. – L.: Khimiya, – 1984. – 168 s.
22. Chemagin A.A. Sovremennoe ekologicheskoe sostoyanie reki Irtysh v nizhnem techenii. – Avtoreferat dissertatsii na soiskanie uchenoi stepeni kandidata biologicheskikh nauk. – Tyumen', – 2015. – 17 s.
23. Mamitim Y., Feike T., Seifert I., Doluschitz R. Irrigation in the Tarim Basin, China: farmers' response to changes in water pricing practices // Environ Earth Sci. – 2015. – T.73. – R. 559–569 DOI 10.1007/s12665-014-3245-2.

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

ҚАЗАҚСТАН БӨЛІГІНДЕГІ ЕРТІС ӨЗЕНІ АЛАБЫНЫҢ СУ АЙДЫНДАРЫНЫҢ ҚАЗІРГІ ГИДРОХИМИЯЛЫҚ СИПАТТАМАСЫ

С.М. Романова^{1*} г.ғ.д., Е.Г. Крупа^{1,2} б.ғ.д., А.С. Серикова¹, С.Н. Алексеев¹

¹ҚР ҒЖБМ ҒК «Зоология институты» ШЖҚ РМК, Алматы, Қазақстан

² Қазақстан қолданбалы экология агенттігі, Алматы, Қазақстан

E-mail: softyuarom@mail.ru

Мақалада 2023 жылдың жазында Ертіс өзені бассейнінің Қазақстандық бөлігінің өзен экожүйесінің әртүрлі бөліктеріндегі минералданудың, иондық құрамының, кермектілігінің, еріген газдардың мөлшері және рН мәндерінің бойынша зерттеу материалдары берілген. Қара Ертіс өзенінің суының минералдануы бойынша өте тұщы су, жалпы кермектілігі бойынша – жұмсақ, негізгі иондардың мөлшері мен қатынасы бойынша – карбонаттар класына, кальций тобының екінші түрі. Павлодар облысының аймағында Ертіс өзенінің суындағы негізгі минералдануы бойынша иондардың концентрациясы салыстырмалы орта есеппен 1,7...2,4 есе артады, тұщы су, Алекин классификациясы бойынша суының индексі S_{CaH} көрсетті. Орловка, Старица, Күркөл көлдеріндегі судың минералдануы Ертіс өзені суынан аз ерекшеленеді. Ертіс өзенінің, оның салалары мен көлдерінің суындағы барлық зерттелген көрсеткіштердің мәні шекті рұқсат етілген концентрациядан аспайды. Балқылдақ көлін қоспағанда, барлық зерттелген су объектілерінің негізгі иондар мен минералдану мөлшері бойынша 1 сапа класына жатады, суды пайдаланудың барлық түрлеріне жарамды және «өте жақсы» сапаға сәйкес келеді. Балқылдақ ағынды су қоймасында минералдануы (19,42 г/дм³) және кермектілігі өте жоғары, метаморфизмге ұшыраған натрий хлоридінің үшінші типті суына жатады және суын бисофит, галит және гипс алу үшін ұсынылуы мүмкін.

кермектілігі өте жоғары, метаморфизмге ұшыраған натрий хлоридінің үшінші типті суына жатады және суын бисофит, галит және гипс алу үшін ұсынылуы мүмкін.

Түйін сөздер: минералдану, иондық құрамы, еріген газдар, гидрохимия, рН мәні, су кермектігі, тұз құрамы, экология

MODERN HYDROCHEMICAL CHARACTERISTICS OF WATER BODIES IN THE KAZAKHSTAN PART OF THE BASIN R. IRTYSH

S. Romanova^{1*} *Doctor of Geographical Sciences*, **E. Krupa**^{1,2} *Doctor of Biological Sciences*,
A. Serikova¹, **S. Alekseev**¹

¹*«Institute of Zoology», Almaty, Kazakhstan*

²*Kazakhstan Agency of Applied Ecology, Almaty, Kazakhstan*

**E-mail: sofiyarom@mail.ru*

The article presents materials from our own research on the study of the distribution of the mineralization, ionic composition, hardness, dissolved gases and pH values in various components of the river ecosystem of the Kazakhstan part of the Ertis river basin in the summer of 2023. It has been established that the water of the Black Ertis river is ranked in terms of mineralization to ultra-fresh, the value of total hardness – to soft, the content and ratio of the main ions - to the carbonate class, calcium group, the second type. Within the Pavlodar region, the concentration of the main salt-forming ions in the water of the Ertis River increases on average by 1.7...2.4 times, the water becomes fresh, the Alekin water index remains $C^{Ca\Pi}$ throughout the entire flow. The mineralization of water in the floodplain lakes Orlovskoye, Staritsa, Kurkol differs little from the water of the river Irtysh. The value of all studied indicators in the water of the Ertis River, its tributaries and lakes does not exceed the maximum permissible concentration. The water of all studied water bodies, with the exception of the storage lake Balkyldak, in terms of the content of standardized main ions and mineralization, belongs to quality class 1, is suitable for all types of water use and corresponds to “very good” quality. The wastewater storage tank Balkyldak has water of high salinity (19.42 g/dm³), very hard, highly metamorphosed sodium chloride composition of the third type and it can be recommended for the extraction of bischofite, halite and gypsum.

Key words: mineralization, ionic composition, dissolved gases, hydrochemistry, pH value, water hardness, salt composition, 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, Алматы, sofiyarom@mail.ru

Крупа Е.Г. – доктор биологических наук, заведующий лаборатории гидробиологии и экотоксикологии РГП на ПХВ «Институт зоологии» МНВО РК, Алматы, elena.krupa@zool.kz

Серикова А.С. – научный сотрудник лаборатории гидробиологии и экотоксикологии РГП на ПХВ «Институт зоологии» МНВО РК, Алматы, office@zool.kz

Алексеев С.Н. — научный сотрудник лаборатории гидробиологии и экотоксикологии РГП на ПХВ «Институт зоологии» МНВО РК, Алматы, office@zool.kz

Романова С. М. - география ғылымдарының докторы, «Зоология институты» ШЖҚ РМК гидробиология және экотоксикология зертханасының бас ғылыми қызметкері, Алматы, Қазақстан, sofiyarom@mail.ru

Крупа Е. Г. – биология ғылымдарының докторы, «Зоология институты» ШЖҚ РМК гидробиология және экотоксикология зертханасының меңгерушісі, Алматы, elena.krupa@zool.kz

Серикова А.С. – «Зоология институты» ШЖҚ РМК гидробиология және экотоксикология зертханасының ғылыми қызметкері, Алматы, office@zool.kz

Алексеев С.Н. – «Зоология институты» ШЖҚ РМК гидробиология және экотоксикология зертханасының ғылыми қызметкері, Алматы, office@zool.kz

Romanova S. – Doctor of Geographical Sciences, Leading Researcher of the Laboratory of Hydrobiology and Ecotoxicology, «Institute of Zoology», Almaty, sofiyarom@mail.ru

Krupa E. – Doctor of Biological Sciences, Head of the Laboratory of Hydrobiology and Ecotoxicology, «Institute of Zoology», Almaty, elena.krupa@zool.kz

Serikova A. – Researcher at the Laboratory of Hydrobiology and Ecotoxicology, «Institute of Zoology», Almaty, office@zool.kz

Alekseev S. - Researcher at the Laboratory of Hydrobiology and Ecotoxicology, «Institute of Zoology», Almaty, office@zool.kz

Вклад авторов/Авторлардың қосқан үлесі/Authors contribution:

Романова С.М. – разработка концепции, корректировка методологии, проведение исследования, ресурсы, подготовка и редактирование текста, визуализация

Крупа Е.Г. – разработка концепции, корректировка методологии, создание программного обеспечения, подготовка и редактирование текста, визуализация

Серикова А.С. – проведение статистического анализа, проведение исследования

Алексеев С.Н. — проведение исследования

Романова С. М. - тұжырымдаманы әзірлеу, әдістемені әзірлеу, зерттеу жүргізу, ресурстар, мәтінді дайындау және өңдеу, көрнекілік

Крупа Е. Г. – тұжырымдаманы әзірлеу, әдістемені әзірлеу, бағдарламалық жасақтама жасау, мәтінді дайындау және өңдеу, көрнекілік

Серікова А.С. – статистикалық талдау жүргізу, зерттеу жүргізу

Алексеев С.Н. – зерттеу жүргізу

Romanova S. – concept development, methodology development, conducting research, resources, preparing and editing the text, visualization

Krupa E. – concept development, methodology development, creating software, preparing and editing the text, visualization

Serikova A. – conducting statistical analysis, conducting research

Alekseev S. - conducting research

DETERMINING THE SPECIES COMPOSITION OF FOREST VEGETATION IN THE KOSTANAY REGION USING REMOTE SENSING DATA

Zh.O. Ozgeldinova¹ PhD, A.A. Zhanguzhina^{1*} PhD, Zh.T. Mukayev² PhD, M.M. Ulykpanova¹, Berdenov Zh.G.¹ PhD

¹*L.N. Gumilyov Eurasian National University, Astana, Kazakhstan*

²*Shakarim University, Semey, Kazakhstan*

**e-mail: altyn8828@mail.ru*

During the scientific investigation, woody species of forest vegetation were identified and a map of forest vegetation in the Kostanay region was produced using various data sources: field materials, Earth remote sensing data, and ArcGIS10.9 software. An algorithm was developed to detect tree species based on Landsat 9 satellite imagery, characterized by high spatial resolution. Recognition of dominant tree species was performed using various combinations of spectral bands from Landsat 9 imagery, analysis of vegetation indices (NDVI, EVI) across different seasons, and supervised local adaptive classification. The obtained data were validated against field research materials (August-September 2023) and forest management records. The chosen algorithm implements contemporary approaches to acquiring and processing necessary data from satellite remote sensing imagery. Further differentiation and creation of the forest vegetation map of the Kostanay region were based on the established map of tree species, digital elevation model, geological-geomorphological features, field research, thematic maps, and physical geography of the region. As a result of the conducted research, six classes of forest stands were delineated in the Kostanay region, including light-coniferous and deciduous tree species such as pine, birch, aspen, larch, shrubbery, and meadow vegetation. These research findings and the algorithm developed can be applied to other study areas and hold practical significance.

Keywords: forest vegetation, tree species, Kostanay Region, spectral channels, decoding, geographic information systems.

Accepted: 30.12.23

DOI: 10.54668/2789-6323-2024-112-1-133-143

INTRODUCTION

Remote sensing data is the main and essential means and mechanism for assessing the state of forest resources. The development of the field of space monitoring of the natural environment in the modern world helps address many important scientific tasks related to the conservation and restoration of natural resources.

Modern space technologies are capable of providing data through Earth remote sensing in visible and infrared channels of spectral visibility. Remote sensing methods serve as an indispensable tool that allows obtaining timely information about the areas, quality status of forest resources, and forest-forming tree species. The reliability of information obtained from aerial and satellite images depends on the accuracy of photogrammetric data processing

and their decoding. The intensity and visibility of pixels in different spectral ranges depend on the specific reflective characteristics of the territory object by electromagnetic waves in a particular range. It should be noted that a zonal image is capable of depicting the characteristics of landscape elements, which is utilized in interpreting land surface classes and monitoring the natural environment. For decoding and representing forest vegetation and tree species, the optimal solution would be the application of red, infrared, or green spectral channels.

It should be noted that data from Landsat 9 A - B satellites exhibit the best combination of spatial, spectral, and temporal characteristics among open-access Earth remote sensing satellite data. Currently, one of the modern processing

methods involves transforming raw images using vegetation indices and subsequently creating index images.

The decoding and mapping of tree species in forests are important applications of space imagery data. Low-resolution satellite images (Terra/Aqua MODIS, SPOT-Vegetation) and medium-resolution images (Landsat) provide the opportunity to create cartographic materials that assist in identifying tree species (Shikhov A.N. et al., 2020).

The analysis of literature in the field of space monitoring of the natural environment, including forests, has revealed a vast body of work dedicated to the application of remote sensing data (development of methodological approaches to decoding forest-forming tree species) in the study of forests.

The issues of conducting various types of forest monitoring and methods of decoding forest cover are described in the works of Lupyana E. A. et al. (2011), Bartalev S. A., Egorov V. A. et al. (2016, 2007), Marchukova V. S. et al. (2012), Zharko V. O. et al. (2014), Zhirina V. M. (2014), Isaeva A. S. et al. (2014), Rouse J.W. et al. (1973), Czaplewski R. (1994), Epting, J. et al. (2005) and so on.

In the studied region, two large forest provinces can be identified – the Trans-Urals-Obagan Forests and the Turgai Belted Pine Forests, which are located within the boundaries of the forest-steppe and steppe natural zones.

The area of the state forest fund in the Kostanay Region is 1 million 146 thousand hectares. The regional akimat manages 457 thousand hectares of forest resources, with the majority of the forest resource fund falling under the Republican administration. Out of the land designated for the regional management's forest fund, the projected forest cover constitutes about 240 thousand hectares. The remaining portion of the fund consists of agricultural lands (arable land, hayfields, pastures), transportation routes, etc.

The forest cover of the Kostanay Region is predominantly composed of birch, aspen-birch forests, and pine groves. White poplar, weeping willow, bird cherry, wild apple, and larch are also found. Deciduous forests form large continuous expanses in the central part between the Tobol and Obagan rivers, aspen groves thrive in moist depressions to the west, and birch groves occupy drier terrain depressions.

The region of ancient pine forest belts of the ancient Tobolsk depression occupies the northern part of the steppe zone in the Kostanay Region. Pine forests here grow on the tops of high sandy ridges and the upper parts of their slopes. Birch and aspen forests are associated with the lower parts of the slopes of sandy ridges and often adjoin the shores of saline lakes.

It should be noted that the forests of the Kostanay Region include unique relict pine groves interspersed with birch and aspen clusters, such as the Arakaragai forest massif, the Kazanbasy and Amankaragai groves, and the groves of the Naurzum State Nature Reserve (the small protected strip forest Tersyk-Karagai and the pine grove Naurzum-Karagai) (Pugachev P.G., 1994, Vilesov E.N. et al., 2009).

The goal of this study is an experimental assessment of the possibilities for recognizing tree species in the forests of the Kostanay Region based on the analysis of seasonal changes in their spectral reflectance characteristics using Landsat 9 satellite data.

MATERIALS AND METHODS

To determine the tree species in the forest vegetation of the studied region, we systematically carried out the following tasks:

- The existing possibilities of using Earth remote sensing data have been investigated as the primary foundational information for modern monitoring and the creation of cartographic representations of forest vegetation;
- An action algorithm has been developed for identifying tree species in forests based on Landsat 9 satellite imagery characterized by high spatial resolution;
- The use of vegetation indices NDVI (Normalized Difference Vegetation Index), EVI (Enhanced vegetation index) has been investigated, and their values have been analyzed to determine tree species in the forest vegetation of the researched region;
- The data for identifying tree species in the Kostanay Region have been verified using field research and forestry materials.

The Kostanay Region was chosen as the study area to investigate the potential use of spectral channels for identifying tree species in forest vegetation based on Landsat 9 A-B satellite data. According to field

research data (August-September 2023) and an analysis of specialized literature on the studied region, it was identified that the Kostanay Region is mainly characterized by coniferous (light-coniferous) and deciduous (small-leaved) forests, with dominant tree species being pine, birch, and aspen.

The main tree-forming species in the forest zone of the Kostanay Region (dark-coniferous, light-coniferous, and small-leaved) are sufficiently distinguishable in the spectra on medium and high-spatial resolution satellite images, especially in the presence of near-and mid-infrared channels.

The existence of differences in the phenological dynamics of tree species allows us to hypothesize the possibility of detecting variations in the dynamics of their spectral reflectance characteristics based on regular satellite imagery acquired with sufficiently high frequency.

The success of decoding satellite imagery also largely depends on the seasonal acquisition period. With the appropriate selection of satellite images from different seasons, it is possible to identify forest-forming tree species.

RESULTS AND DISCUSSION

During the experiment, the changes in spectral reflectance characteristics for different tree species were investigated (Figure 1). Overall, the coefficients of spectral brightness

for different types of forests vary differently across different parts of the electromagnetic spectrum depending on the season.

Figure 1 displays various combinations of Landsat 9 image channels. During the experiment, a visual assessment was conducted to determine the most suitable combination for distinguishing different tree species.

We analyzed the synthesis of Landsat 9 channels in the SWIR1(Shortwave Infrared 1)-NIR (Near Infrared) -RED range, where dark coniferous and light coniferous forests appear in dark green, while deciduous and small-leaved forests take on a bright green color hue.

The mixed composition of forests can be distinguished by various color transitions, primarily depending on the percentage of coniferous forests in the forest-forming tree species, as well as the age-related characteristics of the trees.

The synthesis of spectral channels in the NIR-RED-GREEN range takes on a reddish color tone. In summer season images, light-coniferous and dark-coniferous forests stand out with dark-red hues, deciduous forests primarily with a bright red color, and mixed forests acquire transitional colors (from red to bright red). Combining SWIR-NIR-RED channels allows for the differentiation of pine tree species, which exhibit a distinctive reddish tone, enabling their distinction from deciduous tree species (Figure 1).

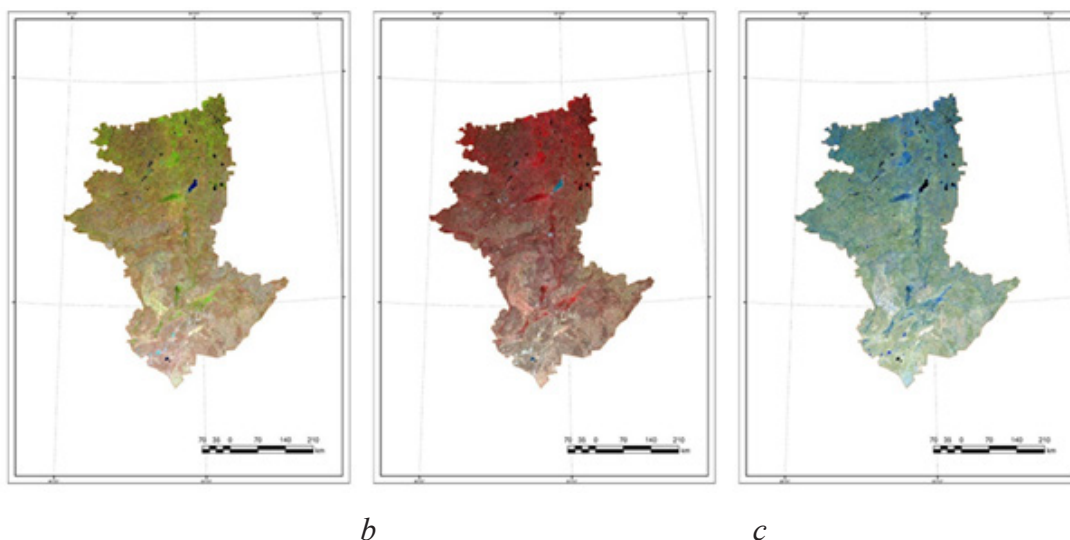


Fig.1. Composite images from combinations of spectral channels: a) SWIR1-NIR-RED; b) Composite image from combinations of spectral channels NIR-RED-GREEN; c) Composite image from combinations of spectral channels SWIR2 (Shortwave 2)-SWIR1(Shortwave 1)-NIR

A distinctive feature of pine forests is often a higher brightness in the mid-infrared range of the spectrum, as well as in the visible channels.

Pine forests mainly grow on sandy soils, and the ground cover there is relatively sparse. Areas devoid of vegetation often affect spectral

visibility and imagery, resulting in pronounced brightness in the mid-infrared channel and to a lesser extent in the red channel of the visible spectrum.

Thus, when using a combination of channels involving infrared, red, and green channels, coniferous forests in July images appear red, as they are the only ones containing chlorophyll in their leaves.

The combination of spectral channels SWIR1-NIR-SWIR2 does not include any channel from the visible range, and coniferous forests appear blue. This combination most distinctly highlights coniferous vegetation.

For reliable decoding of tree species in forests from satellite images during the summer period, data from the near-infrared channel is sufficiently reliable. In this channel, the crowns of leaves from small-leaved trees are visible in the images and have a higher reflectance coefficient compared to, for example, dark-coniferous and light-coniferous trees. It is also worth noting that the Red Edge spectral channel (transitional between red and near-infrared) (Shikhov A.N. et al., 2020).

Thus, during the summer months, there is a general sharp increase in the near-infrared channel for all tree species, but the difference between species remains.

It should be noted that in the visible spectrum, the differences in spectral brightness between different tree species in images during the autumn period are more informative than in the summer.

The study of vegetation indices has shown that they also effectively reflect the stages of phenological development. However, for the most effective recognition, it is necessary to use the vegetation index not as a static feature. A characteristic feature, especially for deciduous tree species, is not the vegetation index itself but its temporal changes, which reflect the succession of phenological phases. Since the difference in the rate of phenological development between different tree species can be about a week, it is advisable to select May and October images with a one-week interval, which is possible for satellites like Landsat or, for example, Landsat 9.

Table 1

The changes in NDVI values characterize tree species in different months (Munzer Nur., 2021).

	April	May	June	July	August	September	October
Birch	0,223388	0,520894	0,70422	0,599157	0,505741	0,51295	0,310513
Elm	0,187917	0,518598	0,706061	0,602858	0,493664	0,515241	0,300569
Oak	0,21253	0,514159	0,720115	0,603434	0,507393	0,526989	0,298002
Spruce	0,279356	0,467238	0,650801	0,527463	0,446498	0,48188	0,343209
Willow	0,158225	0,495745	0,681883	0,610151	0,489762	0,533074	0,317474
Maple	0,188796	0,495663	0,712973	0,609266	0,544594	0,517567	0,282917
Linden	0,208917	0,48909	0,723287	0,608096	0,500902	0,517264	0,285788
Larch	0,19222	0,530846	0,691004	0,589156	0,487296	0,506282	0,280621
Alder	0,17962	0,4714	0,692859	0,603993	0,50622	0,51977	0,324855
Aspen	0,210263	0,497455	0,694743	0,582292	0,499274	0,511341	0,294668
Rowan	0,225226	0,4809	0,61932	0,600558	0,519563	0,561196	0,371189
Pine	0,28086	0,481667	0,63969	0,531283	0,45109	0,476954	0,369742
Ash	0,159276	0,449726	0,663223	0,578212	0,466309	0,485688	0,257846

For the most effective recognition, it is necessary to use a combination of different vegetation indices. More comprehensive information about the on-site situation is provided by index images. Among the numerous spectral indices, vegetation indices are of the greatest interest for identifying tree species in forest vegetation (Munzer Nur., 2021). Based on the analysis of literary sources, spectral index indicators (NDVI, EVI, SAVI,

NDMI) were calculated for differentiating the species composition of forest vegetation, and they differ in the complexity of computational operations. In the process of analyzing the results of mapping index calculations, it was found that the most indicative indices for determining tree species in forest vegetation at the level of individual indicators, based on Landsat 9 A-B data, are the normalized NDVI and EVI indices.

We analyzed the NDVI (Normalized Difference Vegetation Index), which is one of the most common vegetation indices widely used in remote sensing tasks. The advantage of using this index lies in having spectral brightness coefficients measured in each of the channels in both the numerator and denominator, allowing a significant reduction in the influence of the atmosphere and observation geometry. This enables a more accurate comparison of measurements taken at different times. The seasonal dynamics of chlorophyll content in tree leaves can be visually represented through graphs showing the seasonal dynamics of NDVI. Table 1 presents the average NDVI values by month for tree species.

The change in average values of the Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) allows for the classification of the forested area into classes based on the values of this index. This is because different tree species have distinct periods of vegetation, leaf unfolding, and leaf fall, which is well reflected in the NDVI vegetation index and allows for the identification of certain tree species. Based on the analysis of NDVI map values, the following conclusions were

drawn for the territory of the Kostanay region.

These indices provide the ability to make a detailed distinction between deciduous forests against the dominance of coniferous tree species and classify deciduous species into broad-leaved (birch) and other broad-leaved. NDVI and other spectral vegetation indices are not perfect indicators of plant biomass, but with careful analysis, they can be effective in differentiating the species composition of forest vegetation (Figure 4).

The research revealed that during the period of leaf unfolding and canopy establishment from May to September, the NDVI values for deciduous trees increase. The NDVI values for deciduous trees range from 0.55 to 0.60, while coniferous forests, such as pine, have values ranging from 0.48 to 0.35 according to our calculations. During the summer months, the NDVI values for deciduous trees show an increase.

Clearly, during the period of leaf fall and leaf unfolding from October to April, coniferous vegetation will have the highest NDVI values, allowing for the differentiation of coniferous species from deciduous ones.

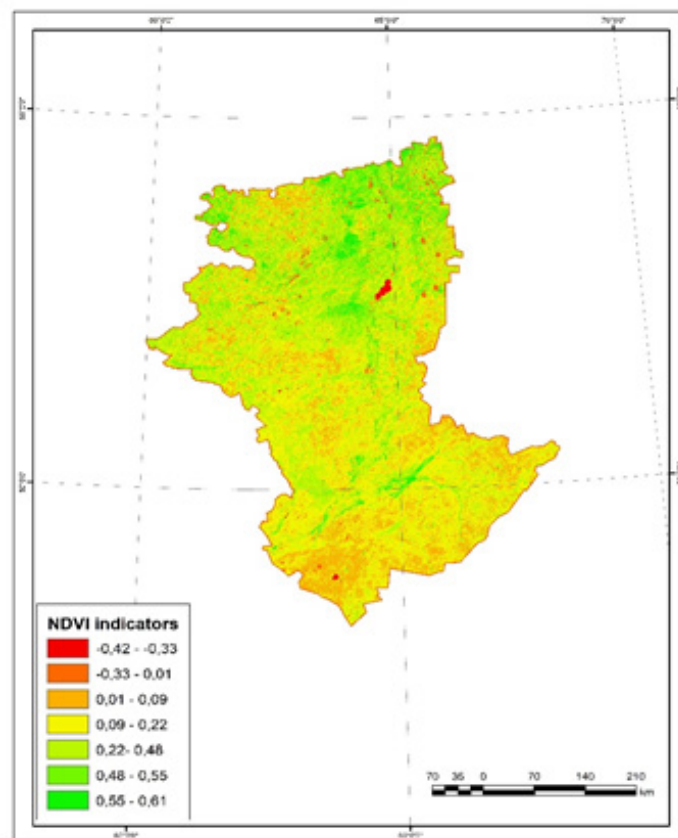


Fig. 2. Indicators of the normalized vegetation index (NDVI) for the Kostanay region based on the materials of the Landsat 9 satellite survey, July 2023

Closer to October, a decline in the NDVI values of deciduous trees is observed. When analyzing the seasonal dynamics of NDVI, it was found that the values of the index are higher in the summer months (June-July) than in the autumn months (September and October). This can be explained by the seasonal dynamics of the vegetation index, as plants go through all stages of vegetation during the season. As the phases of vegetative development change, the composition and content of pigments in plant leaves change, and the biomass increases, along with the amount of chlorophyll in green leaves.

As chlorophyll accumulates, the brightness of plants decreases in the visible part of the spectrum, increases in the red, and especially in the infrared region. This explains the increase in the value of the normalized difference vegetation index (NDVI).

With the breakdown of chlorophyll in the autumn months, the opposite picture is observed – brightness increases in the red zone, and decreases in the near-infrared, as seen in the analysis of the October image. NDVI values in October for deciduous forests are significantly lower than in the summer months. The decrease in index values is associated with vegetation drying out and, consequently, low chlorophyll content. This fact indicates the reliability of the applied methods in analyzing vegetation conditions.

It is known that forests of different species can demonstrate different dynamics of phenological development. For example, the appearance of leaves on birch trees usually occurs earlier than on other trees. May images generally confirm this fact, as birch, willow, maple, and rowan have the highest index values compared to other species.

The existence of differences in the phenological dynamics of tree species allows for the possibility of detecting differences in the dynamics of their spectral reflectance characteristics based on regular high-frequency satellite observations. This dynamic is particularly evident in early May, September, and early October images, as confirmed by principal component images where vegetation differentiation is maximal. It is also worth noting that the most significant differences in dynamics occur in these months, and the

difference in phenological development can be about a week. This underscores the requirement for timely imaging, which should coincide with these periods. Open satellite data that meet such timeliness requirements include images from the Copernicus project's Landsat 9 satellites.

Materials from high spatial resolution satellite imagery provided the opportunity to ensure the high accuracy of reference data.

They are an integral part of the stage of performing a controlled (with training) classification necessary for the further creation of a map of woody species of forest vegetation of the Kostanay region according to the data of the Landsat 9 A-B satellite survey.

Image classification is an important part of remote sensing, image analysis, and pattern recognition. Among the possible options for supervised classification, the Mahalanobis distance method was chosen. The advantage of this classification method lies in taking into account multiple variables that are correlated with each other. Based on the data of the performed classification, a map of tree species of forest vegetation in the Kostanay region was compiled and prepared. Further differentiation and grouping into forest cover classes in the Kostanay region were carried out according to the data of the digital elevation model, the geological-geomorphological features of the research region, field studies conducted in 2023, thematic maps, and the physical geography of the studied area (Pugachev P.G., 1994, Vilesov E.N. et al. 2009, A.R. Medeu et al., 2010).

As a result of the conducted research, we identified 6 classes of forest stands in the Kostanay region, associated with specific geological-geomorphological areas and characterized by zonal features (Figure 3).

According to the geological-geomorphological features, the forest stands in the Kostanay region were differentiated into the following classes: 1) Forests of residual, erosion-denudation small watersheds (hilly watershed and hilly-valley plains) (300...450 meters above sea level); 2) Forests of abrasion-denudation layer-pedestal plains (low-undulating and hollow-basin with eluvial cover) (250...350 meters above sea level); 3) Forests of accumulative-denudation layer plains (200...300 meters above sea level);

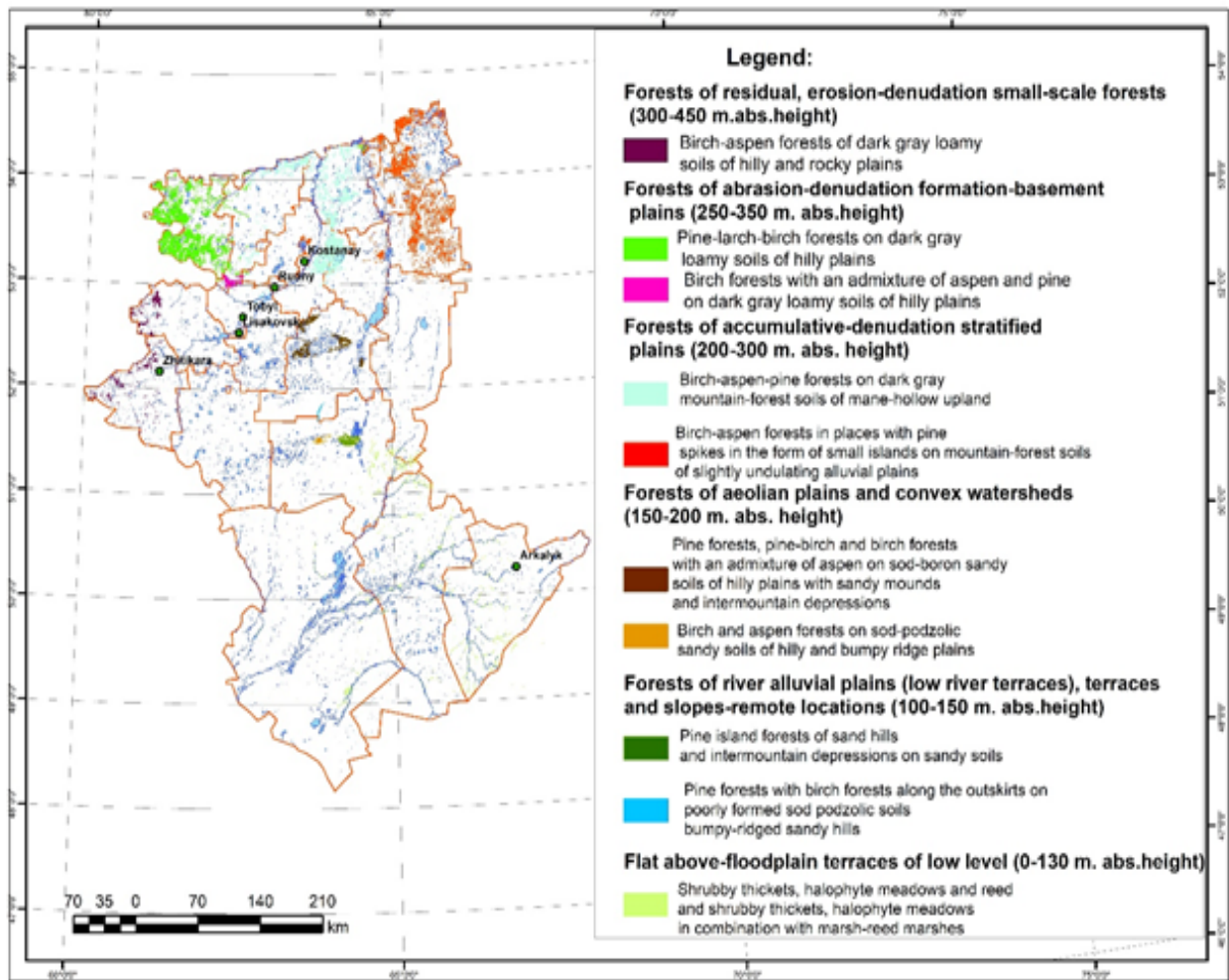


Fig. 3. Map of tree species of forest vegetation in the Kostanay region based on the materials of the Landsat 9 satellite imagery as of July 15, 2023

4) Forests of aeolian plains and convex watersheds (150...200 meters above sea level); 5) Forests of river alluvial plains (low river terraces), terraces, and slope-valley locations (100...150 meters above sea level); 6) Flat floodplain terraces of low level (0...130 meters above sea level).

CONCLUSION

Analyzing the Forest Tree Species Map of the Kostanay Region compiled during the study, obtained through Landsat 9 satellite imagery, it can be noted that areas with birch vegetation have a higher vegetation index compared to pine forest areas. Assessing the applicability of this methodological approach, which involves the use of an algorithm for forest mapping, it is necessary to emphasize that the accuracy of the generated maps depends on the quality and quantity of the training dataset. In images with a resolution of 10 meters, the spectral information

of one pixel is a complex combination of radiation reflected from several trees, possibly of different species, and the underlying surface.

The results obtained by us provide grounds to conclude that by applying this methodological approach to higher spatial resolution satellite imagery, a more reliable classification of tree species can be achieved.

Thus, the methods we employed for identifying tree species in the forest vegetation of the Kostanay Region allowed for the differentiation of classes of forest-forming tree species in the region through the processing and analysis of remote sensing data, field research data (July 2023), and specialized literature. The synthesis method of simultaneous index and multispectral images proposed in the study enables the identification of tree species and their qualitative condition.

As a result of the conducted research in the Kostanay Region, we identified coniferous and deciduous forest-forming tree species in the studied region, such as pine, birch, aspen, larch, shrub thickets, and meadow vegetation. Further differentiation of forest stands based on physiogeographical features (landscape characteristics) allowed us to categorize them into 6 classes of forest stands and conduct their mapping.

This study was undertaken as part of grant funding for scientists awarded for scientific and (or) scientific and technical projects from 2023 to 2025 by the Ministry of Science and Higher Education of the Republic of Kazakhstan (IRN № AP19678305).

REFERENCES

1. Thematic decoding and interpretation of satellite images of medium and high spatial resolution [Electronic resource]: textbook Shikhov A.N., Gerasimov A.P., Ponomarchuk A.I., Perminova E.S.; Perm State National Research University: Perm, 2020. 191 p.
2. Lupyan E.A., Satellite service for monitoring the state of vegetation (Vega)/ E.A. Lupyan, I.Yu. Savin, S.A. Bartalev, V.A. Tolpin, I.V. Balashov, D.E. Plotnikov // Modern problems of remote sensing of the Earth from space. 2011. No. 1. pp. 190-198.
3. Bartalev S.A., Egorov V.A., Zharko V.O., Lupyan E.A., Plotnikov D.E., Khvostikov S.A., Shabanov N.V. Satellite mapping of the vegetation cover of Russia. – M.: IKI RAS, 2016. – 208 p.
4. Bartalev S. A. Development of methods for assessing the state and dynamics of forests based on satellite observations: dis., Dr. tech. 01.04.01/ S. A. Bartalev. – M 2007. 291 p.
5. Marchukov V.S., Decoding of vegetation cover using spectral-temporal features/ V.S. Marchukov, E.A. Stytsenko // Exploring the Earth from space. 2012, No. 1, pp. 77-88.
6. Zharko V.O., S.A. Bartalev Assessment of the recognizability of woody forest species based on satellite data on seasonal changes in their spectral-reflective characteristics // Modern problems of remote sensing of the Earth from space. 2014. Vol. 11. No. 3., pp. 159-170.
7. Zhirin V. M., Dynamics of spectral brightness of the breed-age structure of groups of forest types on Landsat satellite images/ V. M. Zhirin, S. V. Knyazeva, S. P. Eidlina // Forest science. 2014. No.5. pp. 3-12.
8. Isaev A. S., Satellite sensing — a unique tool for monitoring forests in Russia/ A. S. Isaev, S. A. Bartalev, E. A. Lupyan, N. V. Lukina// Bulletin of the Russian Academy of Sciences. 2014. Vol. 84. No. 12. pp. 1073-1079.
9. Rouse J.W., Haas R.H., Schell J.A., Deering D.W. Monitoring vegetation systems in the Great Plains with ERTS // Third ERTS Symposium, NASA SP-351 I, 1973, P. 309-317.
10. Czaplewski R. Variance approximations for assessments of classification accuracy // Fort Collins: US Department of Agriculture, Forest Service. Research paper RM-316. – 1994. – 30 p.
11. Epting, J.; Verbyla, D. Landscape-level interactions of prefire vegetation, burn severity, and postfire vegetation over 16 years in interior Alaska. Can. J. For. Res. 2005, 35, 1367–1377.
12. Pugachev P.G. Pine forests of the Turgai depression. – Kostanay, 1994. – 406 p.
13. Vilesov E.N., Naumenko A.A., Veselova L.K., Nurbekov B.J. Physical geography of Kazakhstan. – Almaty: Kazak University, 2009. – 362 p.
14. Munzer Nur. Development of a methodology for using satellite imagery data for forest monitoring: dissertation ... Candidate of Technical Sciences: 25.00.34 / Munzer Nur; [Place of protection: Moscow State University of Geodesy and Cartography]. – Moscow, 2021. - 150 p.
15. National Atlas of the Republic of Kazakhstan / edited by A.R. Medeu et al. – Almaty, 2010. – vol. 1. – 149 p.

ҚОСТАНАЙ ОБЛЫСЫНЫҢ ОРМАНДАРЫНДАҒЫ ОРМАНТҮЗУШІ ТҰҚЫМДАР ҚҰРАМЫН ЖЕРДІ ҚАШЫҚТЫҚТАН ЗОНДАУ ДЕРЕКТЕРІ АРҚЫЛЫ АНЫҚТАУ

Ж.О. Озгединова¹ PhD, А.А. Жангужина^{1*} PhD, Ж.Т. Мукаев² PhD, М.М. Улыкпанова¹, Берденов Ж.Г.¹ PhD

¹Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті, Қазақстан, Астана қ.

²Шәкәрім Университеті, Қазақстан, Семей қ.

E-mail: altyn8828@mail.ru

Ғылыми зерттеу барысында Қостанай облысының орман өсімдіктерінің ағаш түрлері анықталды және орман өсімдіктерінің картасы құрастырылды әр түрлі деректер бойынша: далалық материалдар, Жерді қашықтықтан зондтау мәліметтері және ArcGIS10.9 бағдарламалық құралын пайдалану арқылы және арнайы әдебиеттер материалдары негізінде. Жоғары кеңістіктік ажыратылымдықпен сипатталынатын Landsat 9 спутниктік суреттері негізінде орман ағаштарының түрлерін анықтау бойынша әрекеттер алгоритмі жасалды. Орман құраушы негізгі ағаш түрлерін анықтау Landsat 9 спектрлі каналдарының комбинациясы негізінде, жылдың әртүрлі маусымындағы өсімдіктердің индекстерін (NDVI, EVI) зерттеу және бақыланатын жергілікті бейімделу классификациясы негізінде жүзеге асырылды. Алынған деректер далалық зерттеулердің (2023 жылғы тамыз-қыркүйек) және орман шаруашылығының материалдарымен тексерілді. Таңдалған әрекеттер алгоритмі Жерді қашықтықтан зондтау арқылы алынған ғарыштық суреттерінің деректерінен қажетті материалды алу және өндеудің ең өзекті тәсілдерін жүзеге асырады. Қостанай облысының орман өсімдіктерінің картасын одан әрі саралау және құрастыру орман өсімдіктерінің ағаш түрлері картасы, цифрлық рельеф үлгісінің деректері, зерттелетін аймақтың геологиялық және геоморфологиялық ерекшеліктері, жүргізілген далалық зерттеулер, тақырыптық карталардың материалдары және зерттелетін аймақтың физикалық географиясы негізінде жүзеге асырылды. Зерттеу нәтижесінде Қостанай облысының аумағында орман алқаптарының 6 класын анықталып сонымен қатар аймақта ақшылқылқанды, жапырақты орман құраушы түрлері анықталды, оның ішінде қарағай, қайың, көктерек, қарағай, бұта және шалғынды өсімдіктер. Бұл зерттеу алгоритмін басқа зерттеу объектілеріне қолдануға болады және практикалық маңызы бар.

Түйін сөздер: орман өсімдіктері, ағаш түрлері, Қостанай облысы, спектрлік арналар, дешифрлеу, геоақпараттық жүйелер.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПОРОДНОГО СОСТАВА ЛЕСНОЙ РАСТИТЕЛЬНОСТИ КОСТАНАЙСКОЙ ОБЛАСТИ ПО ДАННЫМ ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ ЗЕМЛИ

**Ж.О. Озгединова¹ PhD, А.А. Жангужина^{1*} PhD, Ж.Т. Мукаев² PhD, М.М. Улыкпанова¹,
Берденов Ж.Г.¹ PhD**

¹Евразийский национальный университет имени Л.Н.Гумилева, г. Астана, Казахстан

²Университет Шакарима, г. Семей, Казахстан

E-mail: altyn8828@mail.ru

В процессе научного исследования были определены древесные породы и создана карта лесной растительности Костанайской области на основе различных данных: полевых материалов, данных дистанционного зондирования Земли и с использованием программного средства ArcGIS10.9, материалов специальной литературы. Создан алгоритм действий для выявления древесных пород лесов по материалам космических снимков Landsat 9, характеризующихся высоким пространственным разрешением. Распознавание преобладающих древесных пород лесообразующих пород выполнялось на основе различных комбинации спектральных каналов снимка Landsat 9, исследованию вегетационных индексов (NDVI, EVI) в различные сезоны года и контролируемой локально-адаптивной классификации с обучением. Полученные данные были верифицированы с материалами полевых исследований (август-сентябрь 2023) и лесоустройства. Выбранный алгоритм действий реализует наиболее актуальные подходы к получению и обработке необходимого материала из данных космических снимков

дистанционного зондирования Земли. Дальнейшая дифференциация и создание карты лесной растительности Костанайской области осуществлялось на основе созданной карте древесных пород лесной растительности, данным цифровой модели рельефа, геолого-геоморфологическим особенностям региона исследования, проведенным полевым исследованиям, материалам тематических карт и физической географии исследуемого региона. В результате проведенных исследований на территории Костанайской области было выделено 6 классов лесных массивов и были выделены светлохвойные, лиственные лесообразующие породы, такие как сосны, березы, осины, лиственница, кустарниковые заросли и луговая растительность. Данный алгоритм проведенных исследований могут быть применен на других объектах исследования и имеет практическое значение.

Ключевые слова: лесная растительность, древесные породы, Костанайская область, спектральные каналы, дешифрирование, геоинформационные системы.

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

Ozgeldinova Zhanar - PhD, Acting Professor of the Department physical and economic geography of L.N. Gumilyov Eurasian National University, Astana, ozgeldinova@mail.ru

Zhanguzhina Altyn - PhD, Acting Associate Professor of the Department physical and economic geography of L.N. Gumilyov Eurasian National University, Astana, altyn@mail.ru

Mukaev Zhandos - PhD, Associate Professor, the Dean of the Faculty of Natural and Mathematical Sciences of Shakarim University, Semey, zhandos.mukaev@mail.ru

Ulykpanova Meruert - PhD student of the Department physical and economic geography of L.N. Gumilyov Eurasian National University, Astana, ulykpanova@mail.ru

Berdenov Zharas - PhD Associate Professor of the Department of Physical and Economic Geography of the L.N.Gumilev Eurasian National University, Dean of the Faculty of Natural Sciences, Astana, berdenov-z@mail.ru

Озгелдинова Жанар Озгелдиновна - PhD, и. о. профессора кафедры физической и экономической географии Евразийского национального университета им. Л. Н. Гумилева, Астана, ozgeldinova@mail.ru

Жангужина Алтын Амиржановна - автор-корреспондент) - PhD, и. о. доцента кафедры физической и экономической географии Евразийского национального университета имени Л.Н.Гумилева, Астана, altyn@mail.ru

Мукаев Жандос Толеубекович – PhD, ассоц. профессор, декан естественно-математического факультета университета Шакарима, Семей, zhandos.mukaev@mail.ru

Улыкпанова Мерuert Муратовна - докторант кафедры физической и экономической географии Евразийского национального университета имени Л.Н.Гумилева, Астана, ulykpanova@mail.ru

Берденов Жарас -Галимжанович - PhD доцент кафедры физической и экономической географии Евразийского национального университета имени Л.Н.Гумилева, декан факультета естественных наук, Астана, berdenov-z@mail.ru)

Озгелдинова Жанар Озгелдиновна - PhD, Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университетінің физикалық және экономикалық география кафедрасының профессор м. а., Астана, ozgeldinova@mail.ru

Жангужина Алтын Амиржановна -(корреспондент-автор) - PhD, Еуразия ұлттық университетінің физикалық және экономикалық география кафедрасының доцент м. а., Астана, altyn@mail.ru

Мукаев Жандос Толеубекович - PhD, доцент, Шәкәрім университетінің жаратылыстану-математикалық факультетінің деканы, Семей, zhandos.mukaev@mail.ru

Улыкпанова Мерuert Муратовна - Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университетінің физикалық және экономикалық география кафедрасының докторанты, Астана, ulykpanova@mail.ru

Берденов Жарас Галимжанович - PhD Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университетінің физикалық және экономикалық география кафедрасының доценті, жаратылыстану ғылымдары факультетінің деканы, Астана, berdenov-z@mail.ru

Вклад авторов/Авторлардың қосқан үлесі/Authors contribution:

Ozgeldinova Zhanar - concept development, conducting a research

Zhanguzhina Altyn - methodology development, conducting a research

Mukaev Zhandos - creating software

Ulykpanova Meruert - conducting statistical analysis, preparing and editing the text, visualization

Berdenov Zharas - resources, preparing and editing the text, visualization

Озгелдинова Жанар Озгелдиновна - тұжырымдаманы әзірлеу, зерттеу жүргізу

Жангужина Алтын Амиржановна - әдістемені әзірлеу, зерттеу жүргізу

Мукаев Жандос Толеубекович – бағдарламалық жасақтама жасау

Улыкпанова Меруерт Муратовна - статистикалық талдау жүргізу, мәтінді дайындау және өңдеу, көрнекілік

Берденов Жарас Галимжанович - ресурстар, мәтінді дайындау және өңдеу, көрнекілік

Озгелдинова Жанар Озгелдиновна - разработка концепции, проведения исследования

Жангужина Алтын Амиржановна -разработка методологии, проведения исследования

Мукаев Жандос Толеубекович - создание программного обеспечения

Улыкпанова Меруерт Муратовна - проведение статистического анализа, подготовка и редактирование текста, визуализация

Берденов Жарас Галимжанович - ресурсы, подготовка и редактирование текста, визуализация

ПРИМЕНЕНИЕ РАДАРНЫХ И ОПТИЧЕСКИХ ДАННЫХ ДЗЗ ДЛЯ ОЦЕНКИ КОЛИЧЕСТВА ПОСТРАДАВШИХ ДОМОВ, ПЛОЩАДИ И ГРАНИЦ ЗОН ЗАТОПЛЕНИЯ**М.Т. Кусаинова***, **Ж.З. Толеубекова** к.т.н., **А.А. Ахмадия** PhD, **А.З. Капасова** к.т.н.*Казахский Агротехнический Исследовательский Университет им. С. Сейфуллина, Астана, Казахстан
E-mail: marzh.kussainova@gmail.com*

В статье представлен результат определения зоны затопления, количество пострадавших домов и здания города Атбасар от весеннего половодья 2017 года. Этот результат получен с применением трех доступных данных ДЗЗ Sentinel-2A, Landsat-8 и Sentinel-1B среднего пространственного разрешения. На первой стадии визуально проводился анализ данных ДЗЗ ближнего, коротковолнового, теплового инфракрасного (ИК) диапазона и поляризации по уровню контрастности. Были выбраны изображения по высокому уровню контрастности между двумя классами: водный объект и не водный объект (суша). На второй стадии вычислялись пороговые значения из выборки пикселей, относящихся к водным объектам, и далее создавались бинарные изображения. На третьей стадии, бинарные изображения логически суммировались для устранения облачного эффекта и нахождения результирующего бинарного изображения зоны затопления от весенних паводков. На четвертой стадии, результирующее бинарное изображение было наложено на ГИС данные города Атбасар, где, находились локации и количество пострадавших домов и зданий. По данному исследованию было обнаружено, что более 200 дачных домиков в результате половодья были подтоплены на северной, и 9 домов на восточной части города Атбасар. Согласно данным СМИ и официальных органов количество пострадавших домов в Атбасар составило около 400. Количество пострадавших домов, найденных по методу логического суммирования с тремя данными ДЗЗ составило 52%. Точность нахождения может быть значительно повышена при использовании данных ДЗЗ высокого пространственного разрешения. Результаты этого исследования могут быть полезны для службы ЧС, местным госорганам, страховым компаниям при оценке ущерба от весенних паводков.

Ключевые слова: инфракрасный диапазон, поляризация, ДЗЗ, весенние паводки, половодья, граница и площадь затопления.

Поступила: 11.02.24

DOI: 10.54668/2789-6323-2024-112-1-144-160

ВВЕДЕНИЕ

Паводки и половодья могут иметь серьезные последствия. Они способны наносить ущерб домам, инфраструктуре, вызывать затопления и эвакуацию населения. Половодье это ежегодное явление, которое приносит значительный ущерб жизнедеятельности человека. Основные причины весенних паводков и половодья - таяние снега и льда. Эти факторы обуславливают большой объем талой воды, которая поступает в реки, ручьи и озера, вызывая их переполнение и часто приводя

к масштабным разливам. Таким образом, весенние паводки представляют собой одно из стихийных бедствий, требующее управления для минимизации их воздействия на окружающую среду и жизнь людей. Реки равнинного Казахстана, находящиеся в условиях недостаточного увлажнения, имеют преимущественно снеговое питание с весенним половодьем и по водному режиму относятся к особому казахстанскому типу. Большая часть их стока проходит за весенний период и составляет 80...90 % годового стока (Tyumenev S.D., 2008). В Казахстане весеннее

половодье может вызывать различные проблемы и причинять ущерб как населению, сельскому хозяйству, так и экономике. Основные регионы, подверженные риску паводков, включают в себя западные и северные области страны, такие как Западно-Казахстанская, Атырауская, Актюбинская, Костанайская, Северо-Казахстанская, Акмолинская, Павлодарская, Карагандинская и Восточно-Казахстанская области, а также некоторые районы северной части Алматинской области (Zou et al. 2020; Spivak et al. 2004; Arkhipkin et al. 2010). Правительство Казахстана предпринимает шаги для минимизации рисков и ущерба от весенних паводков. В целом, весенние паводки в Казахстане представляют собой потенциальную угрозу для местного населения и экономики, поэтому важно проводить постоянный мониторинг и принимать меры для защиты людей и имущества от негативных последствий этого стихийного бедствия (Arkhipkin et al. 2016; Arkhipkin et al. 2017; Arkhipkin et al. 2018).

Научные исследования весенних паводков в Казахстане включают в себя множество аспектов, в том числе изучение климатических условий, гидрологических особенностей регионов, оценку уровня риска и разработку методов прогнозирования и предотвращения негативных последствий паводков (Ongdas et al. 2020; Nikolaos et al. 2019; Lammers et al. 2021). Дистанционное зондирование земли (ДЗЗ) является эффективным инструментом для определения зон затопления весенними паводками. Спутниковые данные могут быть использованы для обнаружения и отслеживания изменений в природной среде, связанных с паводками, путем анализа изображений до и после наводнения (Ghofrani, Sposito, and Faggian 2019). Современные методы обработки изображений позволяют автоматически выделять и обозначать на снимках области затопления. Это может быть сделано с помощью алгоритмов компьютерного зрения и классификации изображений (Farhadi and Najafzadeh 2021). После обработки спутниковых данных можно создать карты, показывающие области затопления. Эти карты могут быть очень полезными для спасательных операций, планирования и принятия мер

по уменьшению ущерба от паводков.

В целом, ДЗЗ предоставляет ценную информацию и помогает в оценке масштабов паводков, идентификации затопленных областей и обеспечении необходимой помощи и мер по предотвращению ущерба от подобных природных бедствий. Выделение областей затопления возможно с помощью инфракрасного и радиолокационных диапазонов ДЗЗ (Wang, Jin, and Xiong 2023). Области затопления могут отличаться по своей температуре от окружающей среды, и это может быть обнаружено с помощью инфракрасного диапазона. Вода обычно имеет отличительные характеристики от обычной земли или растительности на радиолокационных изображениях, что позволяет идентифицировать области затопления. В радиоволновом диапазоне (которые используются в радиолокации), вода является поглощающим материалом. Поэтому на радиолокационных изображениях водные поверхности, такие как озера, реки или другие водоемы, обычно отображаются темнее, чем суша или другие объекты на поверхности Земли. Это отличие в яркости или рассеянной радиоволновой энергии позволяет идентифицировать и выделять водные участки на радиолокационных изображениях (Huang and Jin 2020; Kuntla and Manjusree 2020; Benoudjit and Guida 2019).

Целью данного исследования являлось определение зоны границ и площади затопления с применением доступных данных ДЗЗ Sentinel-1, Sentinel-2 и Landsat-8, оценка спектральных поляризационных каналов, выявление количества и локации затопленных домов совместным использованием ГИС данных, создание точной карты затопления. В этом исследовании использовался комбинационный метод порогового значения и логического сложения оптических и радарных данных ДЗЗ для определения зоны границ и площади затопления.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

На основе официальных данных полученных из отчетов акимата и департаментов ЧС Атбасарского района, Акмолинской области было определено количество подтопленных домов.

Они составляли на 19 апреля 2017 года, более 400 домов на 18 улицах города Атбасар. Затопления города Атбасар началось с 16 апреля и закончилась 21 апреля, уровень вод реки Жабай превысила критическую отметку, прорвала защитные дамбы и хлынула в город Атбасар.

По данному событию были загружены

данные ДЗЗ Sentinel-1/2 и Landsat-8 из открытого источника <https://www.earthexplorer.usgs.gov> (см. Таблица 1). Эти данные ДЗЗ покрывают территорию исследования, выделенная прямоугольным белым контуром, представленная ниже в Google Earth (Рисунок 1).

Таблица 1

Спутниковые данные ДЗЗ

№	Спутник ДЗЗ	Дата, время	Диапазон	Данные
1	Sentinel-1B	19.04.2017 07:42:14	Радиоволновой	S1B_IW_GRDH_1SDV_20170419T014212_20170419T014237_005223_009246_D244
2	Sentinel-2A	18.04.2017 12:30:21	Оптический	S2A_MSIL1C_20170418T063021_N0204_R077_T42UVC_20170418T063018
3	Landsat-8	19.04.2017 12:19:52	Оптический	LC08_L1TP_157024_20170419_20170501_01_T1



Рис.1. Территория исследования город Атбасар, Акмолинской области

В основе методологии нахождения водной поверхности лежит способность воды поглощать большую часть электромагнитных волн, где также она отличается температурой от других объектов, что особенно заметно в космических снимках Земли. Как правило, начиная с ультрафиолетового до инфракрасного оптического спектра ДЗЗ, водная поверхность больше поглощает чем отражает обратно электромагнитные волны (Du et al. 2023; Quang et al. 2021). Потому, чистая водная поверхность имеет более темные или темно-синие оттенки в видимом диапазоне. В инфракрасном диапазоне, она имеет более темные оттенки из-за того, что она имеет более низкую температуру. В радиоволновом диапазоне поглощение зависит от частоты, чем выше частота, тем выше поглощение, тем меньше проникающая способность радиоволны в толщу воды (Taloor, Thakur, and Jakariya 2022; Guo et al. 2023). Потому, радиоволны больше поглощаются, меньше обратно рассеиваются, при условии, что вода имеет гладкую поверхность и имеет достаточную глубину (Pivaev et al. 2020).

Вопросом исследования являлось какие данные ДЗЗ Sentinel-1, Sentinel-2 и Landsat-8, т.е., какие спектральные и поляризационные каналы лучше подходят для выявления зоны затопления весеннего половодья. Выдвинута гипотеза, что совместное использование оптических, радиолокационных данных ДЗЗ вместе ГИС данными позволяет выявить территорию наводнения и подтопления домов и здания от весенних паводков и половодий. Предложен комбинационный метод, включающий логическое суммирование бинарных изображений, полученных из пороговых значений, разделяющих водную и не водные объекты на космических снимках Земли. Алгоритм комбинационного метода с применением логического суммирования приведен ниже (Рисунок 2), который состоит из:

1. **Получение спутниковых данных ДЗЗ** – запрос и загрузка данных из открытых источников;

2. **Вырезка данных** – вырезка исследуемой территории на космоснимках, и выбор специальных спектральных и поляризационных каналов. Под специальными спектральными каналами понимают инфракрасный диапазон космоснимков, под поляризационными каналами понимают поляризованность при передаче и приеме радиоволн (вертикальная и горизонтальная).

3. **Атмосферная коррекция** – это коррекция искажений в спектре, которая вызвана атмосферой Земли (Li, Yan, and Kang 2023);

4. **Фильтрация спекл шума** – подавление шумов в радиолокационном снимке данных ДЗЗ (Sebastianelli et al. 2021);

5. **Геокодирование и изменение пространственного разрешения пикселя** – это процесс конвертирования координат пикселя по строкам и столбцам в изображении к географическим координатам, также приведение пространственного разрешения пикселей к одному общему для всех изображений.

6. **Определение порогового значения и создание бинарных изображений** – данная операция проводится чтобы разделить пиксели в изображении на относящихся к водным объектам и не водным (суша, сельскохозяйственные поля, населенный пункт и т.д.) и представление их в виде черно-белого изображения (бинарного изображения). Пороговое значение определяется из выборки пикселей, относящихся к водным объектам, это его максимальное значение. Пиксели, значения которых выше порогового относятся к не водным объектам, а ниже или равно к водным (Kadapala and Hakeem 2023).

7. **Слияние с использованием логического суммирования** – это простая попиксельная логическая операция ИЛИ-НЕ из ранее полученных бинарных изображений, где входными данными являются операнды 1 и 0, где, не водный объект – «1» (цвет пикселя - белый) и водный объект – «0» (цвет пикселя - черный). Формула слияния с использованием логического суммирования имеет математический вид:

$$W_{is} = \overline{(\overline{W_1} \vee \overline{W_2} \vee \overline{W_3} \dots \vee \overline{W_n})} \tag{1}$$

где, W_{is} – пиксель бинарного изображения слияния с использованием логического суммирования;

$\overline{W_1}, \overline{W_2} \dots \overline{W_n}$ - пиксели из бинарных изображений;

ражений, полученных из оптических и радарных данных ДЗЗ Sentinel-1, Sentinel-2 и Landsat-8.

8. **Определение затопленных домов, зданий и земель с использованием ГИС данных** – последняя стадия, где на ГИС данные с

объектами включающие дома и здания накладывается бинарное изображение логического суммирования, где далее, подсчитывается количество объектов, находящихся в зоне затопления.

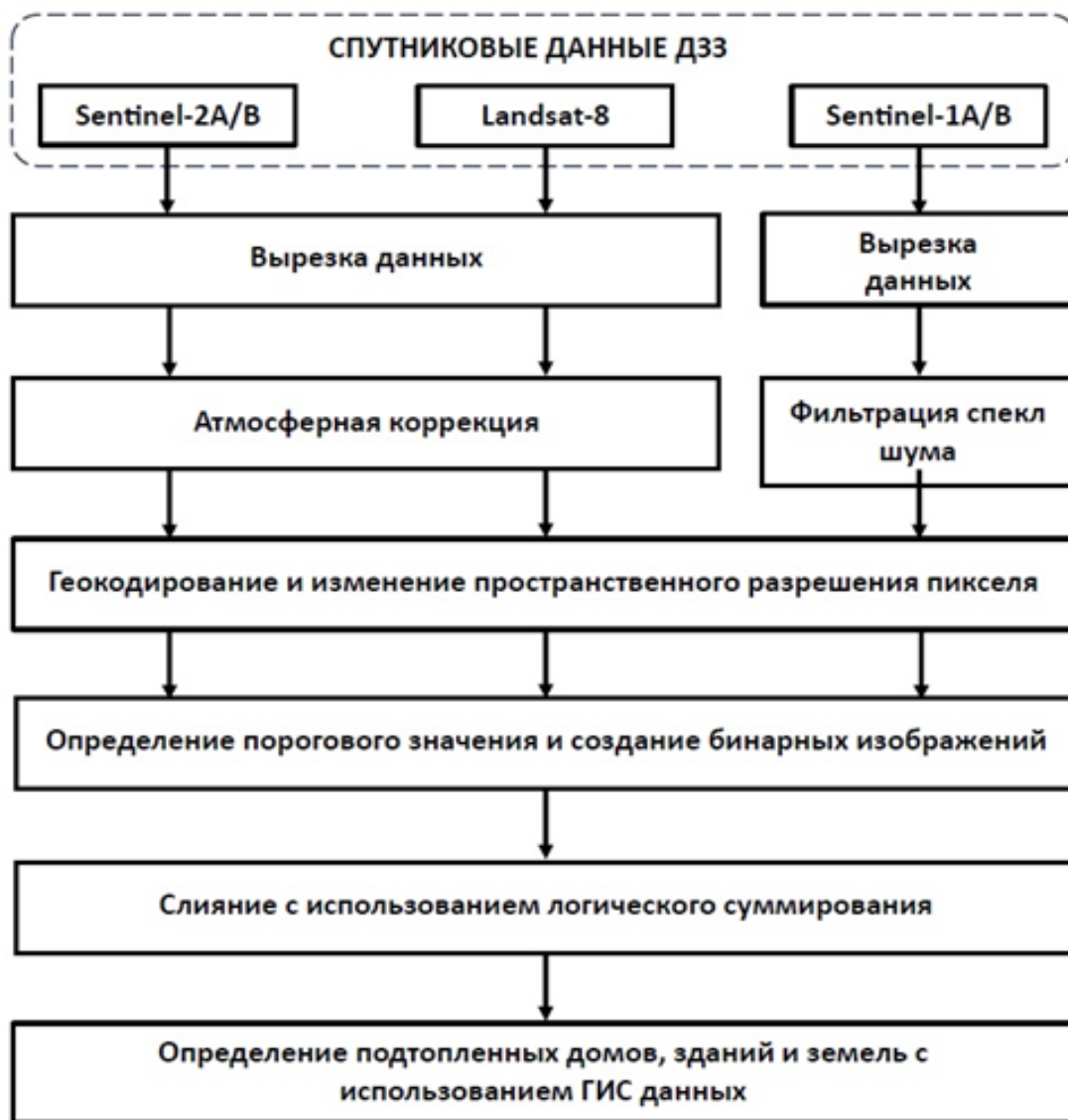


Рис.2. Алгоритм комбинационного метода с применением логического суммирования

Вычисление пороговых значений и создания бинарных изображений проводилось на коммерческом ПО ENVI 5.2. Затопленные дома и здания в городе Атбасар определялись с помощью коммерческого ПО ArcGIS 10.2.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Проанализированы спектры инфракрасного (ИК) диапазона данных ДЗЗ Sentinel-2A и Landsat-8 после атмосферной коррекции, в которых водные объекты резко контрастируют по отношению к другим объектам. Кроме

этого, замечено что местами плотная облачность на космоснике Sentinel-2A частично перекрывает водные объекты, что может ошибочно определено как не водный объект (Рисунок 3). Там еще присутствуют облака, которые создают тени на суше что, может быть ошибочно определено как водный объект при обработке данных ДЗЗ (Рисунок 3). На ИК диапазоне в Band 10, длина волны 1375 нанометр, присутствуют шумы и линейные помехи, по этой причине эти данные далее не рассматриваются для вычисления пороговых значений.



(a)



(б)



(в)



(г)

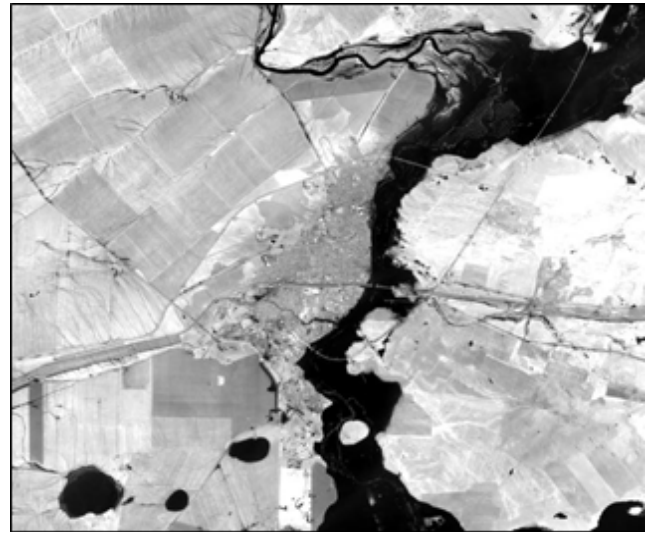
Рис.3. Космоснимок Sentinel-2A в ИК диапазоне, с длиной волны: (a) – ближний ИК диапазон (Band 9), 945 нм; (б) – коротковолновый ИК диапазон (Band 10), 1375 нм; (в) – коротковолновый ИК диапазон (Band 11), 1690 нм; (г) – коротковолновый ИК диапазон (Band 12), 2900 нм

Напротив, на космоснимке Landsat-8 отсутствует облачный покров, что позволяет более точно идентифицировать водный объект. Здесь,

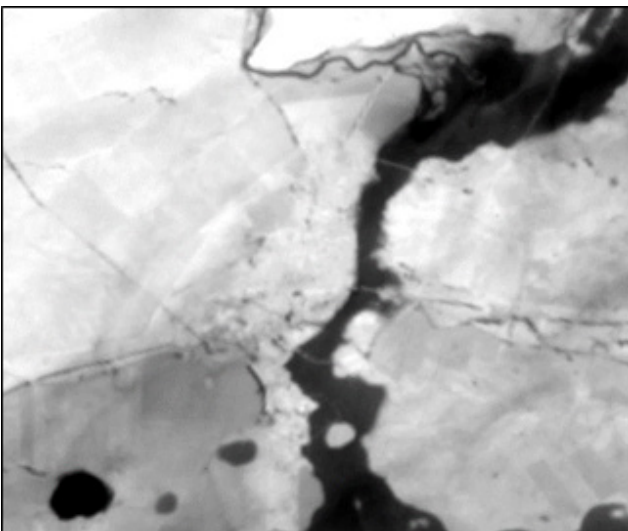
кроме коротковолнового ИК диапазона присутствует тепловое ИК диапазон (Рисунок 4).



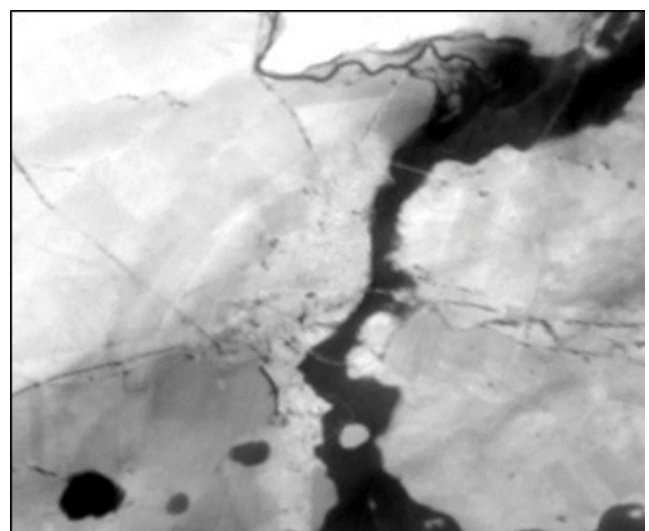
(a)



(б)



(в)



(г)

Рис.4. Космоснимок Landsat-8 в ИК диапазоне, с длиной волны: (а) – коротковолновый ИК диапазон (Band 6), 1560...1660 нм; (б) – коротковолновый ИК диапазон (Band 7), 2100÷2300 нм; (в) – тепловой ИК диапазон (Band 10), 10300...11300 нм; (г) – тепловой ИК диапазон (Band 11), 11500...12500 нм

Коэффициент обратного рассеяния был получен для радиолокационных данных ДЗЗ Sentinel-1В с поляризациями VV и VH, затем спекл-шум (искажение вызванные зернистостью на изображении, похожий на равномерно рассыпанную соль и черный перец) сглаживался с применением алгоритма Ли (Ли фильтрация спекл-шума). Радиолокационное изображение с VV поляризацией имел визуально лучший контраст по интенсивности

в градациях серых оттенков между водным и не водным объектом по сравнению с VH поляризацией. Водные объекты на полученных радиолокационных изображениях имеют более темные оттенки, что в принципе справедливо, так как они хорошие поглотители электромагнитной энергии волны, и имеют крайне малое рассеивание от этих объектов, если имеют гладкую поверхность. Напротив, земная поверхность имеет шероховатость сравнимую

или большую чем длина волны, и потому крыши, стены зданий и домов лучше отражают и рассеивают электромагнитную энергию волны. К примеру, Sentinel-1В имеет радиоволны длиной 5.6 см. Признаки такого отражения и рассеивания радиоволн хорошо видны в ради-

олокационном изображении VV поляризации, городские районы с большим скоплением домов и зданий имеют более яркие по интенсивности пиксели, чем водный объект, который разительно имеет черный оттенок (Рисунок 5.)

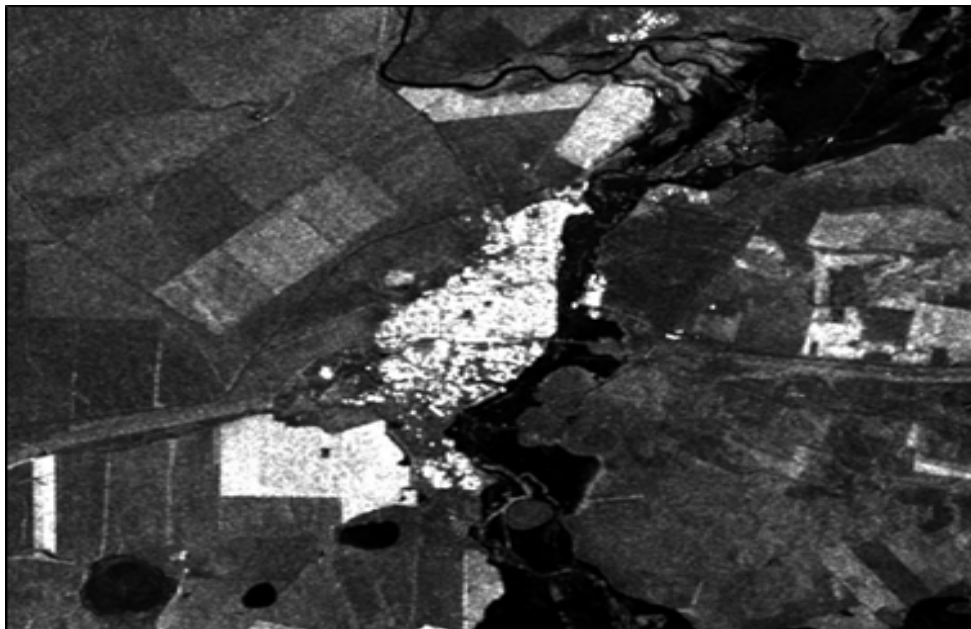


Рис.5. Радиолокационный снимок Sentinel-1В, коэффициент обратного рассеяния VV поляризации после Ли фильтрации спекл-шума

Анализ данных проводился с выборки числовых значений пикселей, относящихся к классу водный объект. Целью этой выборки являлось определение порогового значения, которое позволит нам сделать бинарное заключение о том: если пиксель в изображении принадлежит водному объекту, то пиксе-

лю присваивается значение “0”, если нет, то “1”. Максимальное числовое значение пикселя является тем пороговым значением Th. Область в изображении, с которого извлекались числовые значения пикселей представляет собой белый контур ROI-1 (Рисунок 6).

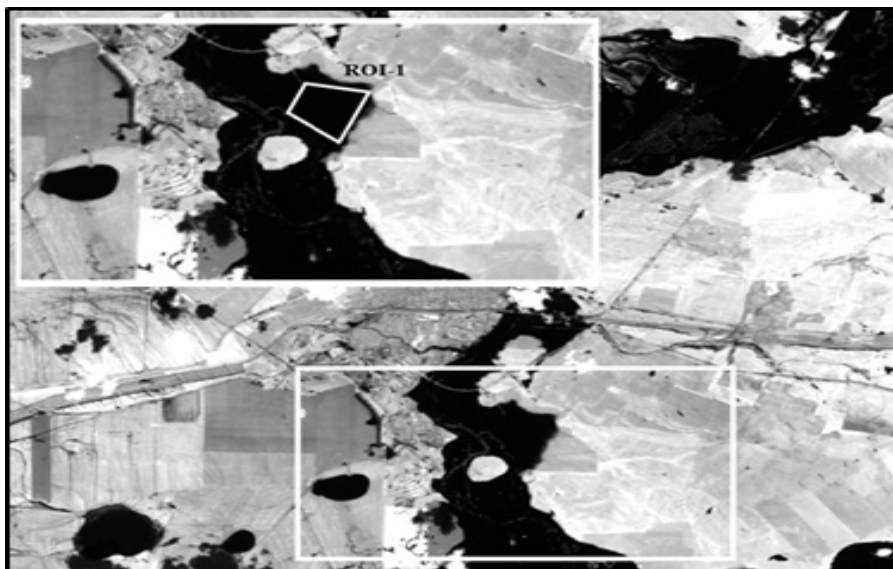


Рис.6. Область ROI-1 (белый контур) водный объект в изображении данных ДЗЗ Sentinel-2А Band 11

Результат вычисления порогового значения ИК диапазонов Sentinel-2A, Landsat-8 и поляризации Sentinel-1B представлен в Таблице 2.

Таблица 2

Пороговые значения, Th

№	Спутник ДЗЗ	Спектр или поляризация	Пороговое значение, Th
1		Band 9	200
2	Sentinel-2A	Band 11	100
3		Band 12	80
4		Band 6	6840
5	Landsat-8	Band 7	6450
6		Band 10	2×10^4
7		Band 11	1.92×10^4
8	Sentinel-1B	VV	25×10^{-3}

Была применена формула в программе ENVI 5.2 с использованием инструмента **Band Math** для разделения двух классов по признакам водный объект и не водный:

$$W^{BP} = (BP \text{ GT } Th) \quad (2)$$

где, W^{BP} - бинарный результат сравнения значения пикселя BP в изображении с пороговым значением Th ; GT – логический оператор Band Math означающий (greater than), который присваивает пикселю значение «1» если BP больше, чем Th в других случаях присваивается значение «0».

Были вычислены бинарные изображения по формуле (2), представляющие изображение классификации черно-белого цвета. На

бинарных изображениях Sentinel-2A Band 9 обнаружены факторы облачности на водном объекте и тени облачности на суше. Однако, в бинарных изображениях Sentinel-2A относящихся ИК спектрам диапазона Band 11, Band 12 отсутствовали факторы тени облачности на суше (Рисунок 7). Поэтому, для логического суммирования суммирования целесообразнее брать эти последние ИК спектры диапазона.

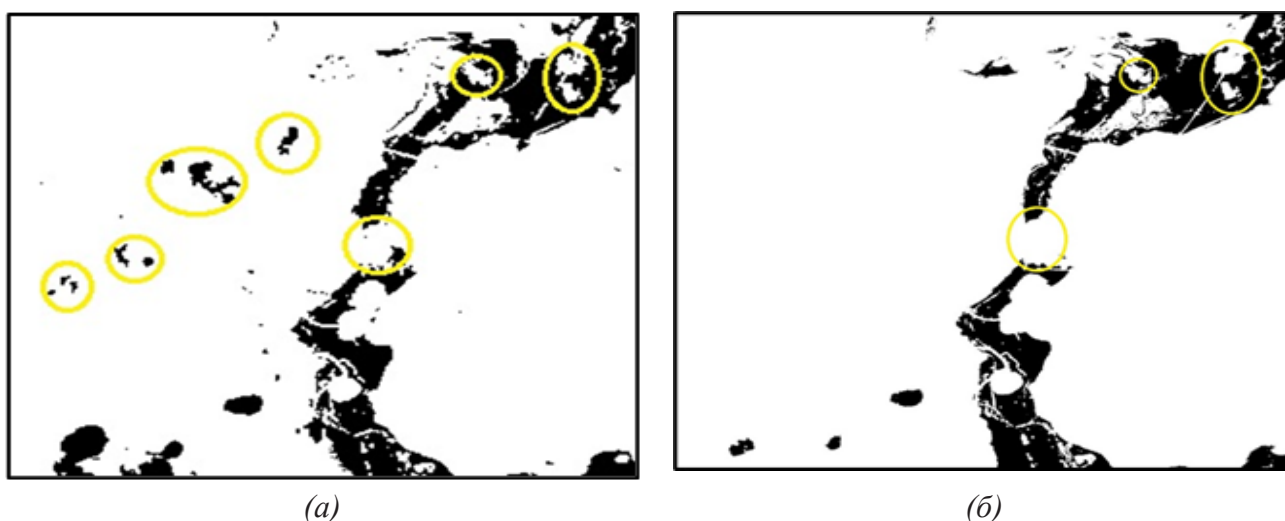


Рис.7. Эффект облачности (желтые контуры) на бинарных изображениях (черное – водный объект, белый – суша или не водные объект) Sentinel-2A ИК спектра диапазона, длина волны: (а) – Band 9, 945 нм; (б) – Band 11, 1690 нм

В бинарных изображениях ИК спектра диапазона относящихся к Landsat-8 была безоблачная погода, потому снимки являются качественными без эффекта облачности по сравнению Sentinel-2A (Рисунок 8). В бинарных изображениях ИК спектра диапазона Sentinel-2A, Landsat-8 не обнаруживаются тонкие по ширине притоки, так как их шири-

на меньше или сравнима с пространственным разрешением этих космоснимков. К примеру, на бинарном изображении коротковолнового ИК диапазона Landsat-8, Band 6 при пространственном разрешении 30 метров видны изгибы притоков на северной части (Рисунок 8а), чем при тепловом ИК, Band 10 имеющий пространственное разрешение 100 метров (Рисунок 8б).

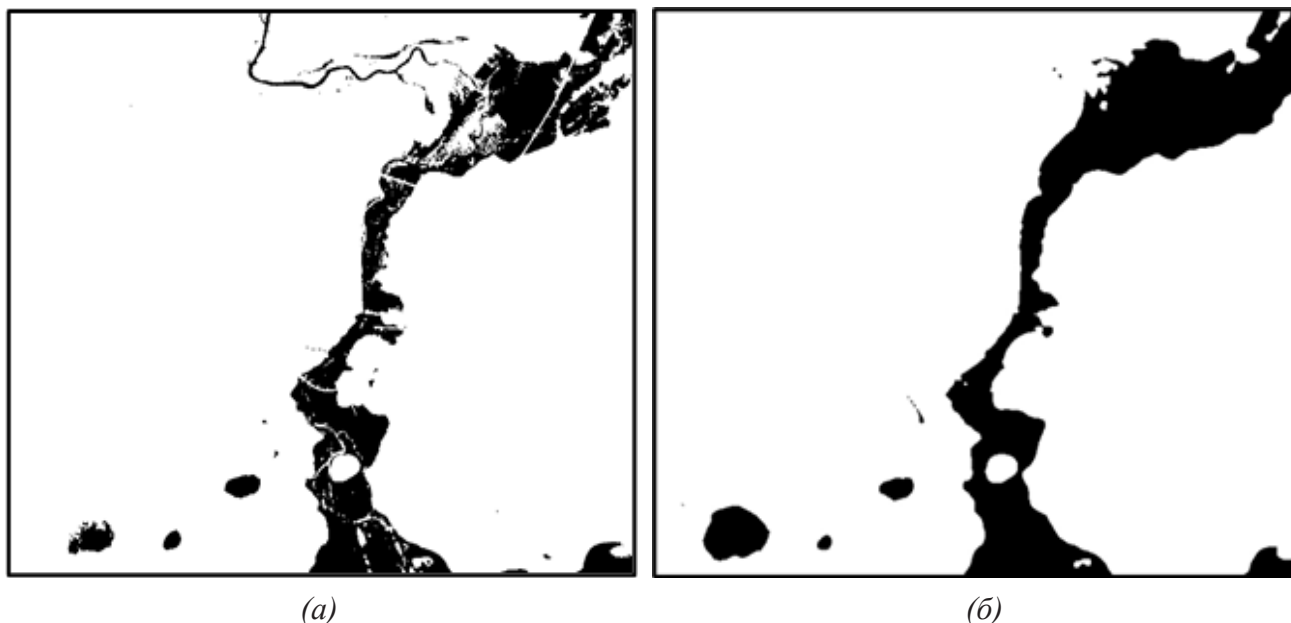


Рис.8. Бинарные изображения Landsat-8 ИК спектра диапазона, длина волны: (а) – коротковолновый ИК Band 6, 1560...1660 нм; (б) – тепловой ИК Band 10, 10300...11300 нм.

Бинарное изображение радиоволнового диапазона VV поляризации Sentinel-1B имеет пространственное разрешение в преде-

лах 15 метров, что позволило лучше определить притоки на северной части (Рисунок 9).

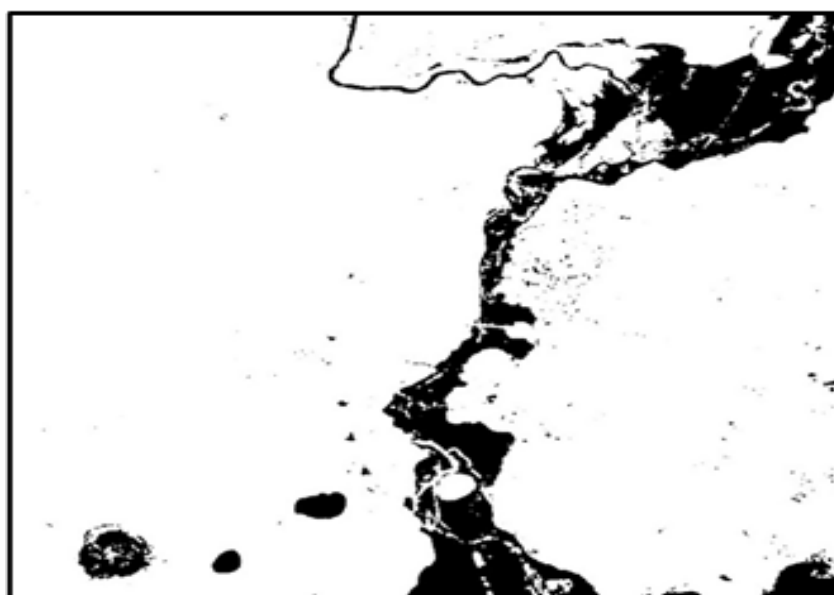


Рис.9. Бинарное изображение VV поляризации Sentinel-1B

Логическое суммирование всех выбранных ИК спектров Sentinel-2A, Landsat-8 и VV поляризации Sentinel-1B устранил эффект облачности, и общее изображение выглядит полнее и достовернее, чем по отдельности взятые бинарные изображения ИК спектров и поляризации (Рисунок 10). Шесть бинарных изображений было логически просуммировано, данная операция называется слиянием, так как

различного ИК спектра и поляризации данные ДЗЗ были использованы совместно. Вместе с этим, ошибка классификации, вызванная неполным затоплением дачного района на севере города Атбасар была устранена после логического суммирования. Данная ошибка классификации возникала на ближнем, коротковолновом ИК спектре и VV поляризации (Рисунок 11).



Рис.10. Бинарное изображение, полученное логическим суммированием спектров ИК диапазона Sentinel-2A (Band 11, Band 12), Landsat-8 (Band 6, Band 10, Band 11) и VV поляризации Sentinel-1B

На ГИС данные города Атбасар было наложено бинарное изображение, полученное логическим суммированием ИК спектров и VV-поляризации данных ДЗЗ Sentinel-2A, Landsat-8 и Sentinel-1B (Рисунок 11). Слой водного объекта, который далее называем зоной затопления или подтопления полностью пере-

крывает северный дачный район, и часть зданий и домов на востоке города Атбасар (Рисунок 12...13). Таким образом, здания или дома находящиеся в зоне затопления мы можем отнести к пострадавшим от весенних паводков и половодий. Нетрудно, далее посчитать количество таких пострадавших зданий или домов.

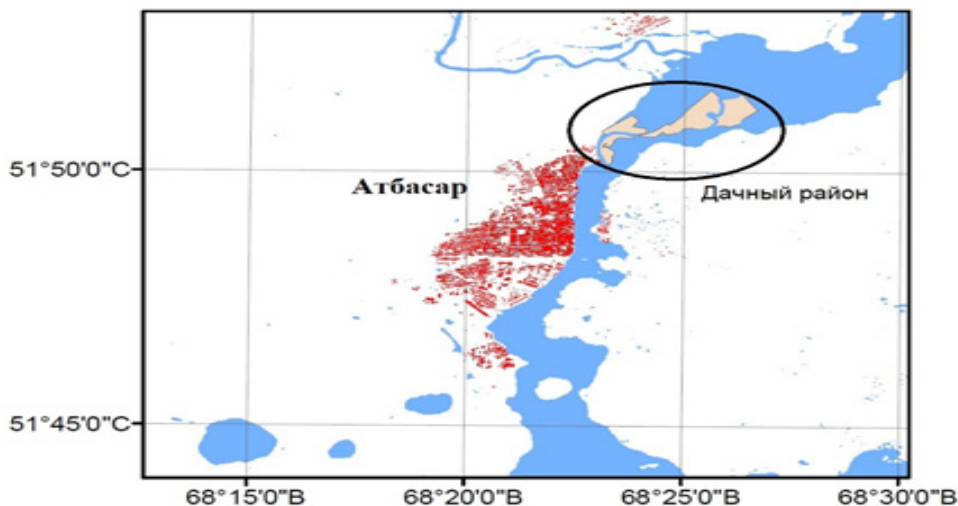


Рис.11. Карта участков затопления весенними паводками города Атбасар

Большая часть северного дачного района оказалось в зоне затопления согласно карте (Рисунок 11), и там находится большинство домиков пострадавших от весенних паводков согласно данным Google

Earth (Рисунок 12). Общее количество пострадавших дачных домиков составило 205.

В восточной части города Атбасар были затоплены около 9 домов, расположенных ближе к реке Жабай (Рисунок 13).



Рис.12. Территория дачных участков с домами подвергшийся затоплению весенними паводками на сервере города Атбасар



Рис.13. Затопленные дома в результате весеннего половодья в восточной части города Атбасар: левая часть – место затопления (контур эллипсообразный указывает место); правая – увеличенное изображение с затопленными домами (красные цветом обозначены объекты – дома, здания).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Определение широких пространственно и глубоких зон затопления по данным оптических ДЗЗ Landsat-8 и Sentinel-2 лучше осуществляется в инфракрасном диапазоне начиная от ближнего до теплового ИК диапазона при условии отсутствии облачности. По данным официальных источников, фото с места стихийного бедствия, было установлено что вода проникла внутрь города Атбасар, некоторые дома не были полностью затоплены, уровень воды был по колено. Однако, этого уровня было достаточно чтобы признать дома пострадавшими от наводнения. Данные ДЗЗ Landsat-8, Sentinel-2A и Sentinel-1B недостаточны для определения зон затопления весенним половодьем, такого уровня воды, тем более, если минимальное расстояние между домами меньше пространственного разрешения космоснимка. Поэтому, для более точного определения пострадавших домов, необходимы данные ДЗЗ более высокого разрешения, вплоть до использование беспилотных летательных аппаратов (БПЛА), дронов с мультиспектральными камерами. Тем не менее, по космоснимкам 20 метрового разрешения удалось отчетливо определить полностью 9 затопленных домов в восточной части города Атбасар, и дачных домиков на северной части города (более 200 домиков). Это цифра меньше чем указывали официальные СМИ, точность около 52%. Точность может быть значительно повышена если будут использованы данные более высокого пространственного разрешения (к примеру 1 метр) при определении пострадавших домов в плотнозастроенных населенных пунктах. Тем не менее, таким образом зону затопления сельскохозяйственных земель можно определить с большой точностью по сравнению населенным пунктом.

В данном научном исследовании использовался комбинационный метод в котором совместно использовались данные ДЗЗ Landsat-8, Sentinel-2A и Sentinel-1B разного диапазона, т.е., оптического и радиоволнового, которые логически суммировались чтобы компенсировать эффект облачности и более точнее выявить зону затопления. Представленный комбинационный метод с применением пороговых значений и логического суммирования

для определения границы и площади затопления является новым и алгоритм обработки данных ДЗЗ прост. В дальнейшем этот метод может быть доработан, и использован совместно с данными более высокого разрешения для более точного определения водных объектов с малыми площадями и небольшой глубины. Этот комбинационный метод может быть применен специалистами служб МЧС, гидрологами для косвенной оценки ущерба от весенних паводков и половодий, или катастроф связанных, к примеру, при разрушении плотин, дамб.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРА

1. Arkhipkin, O. P., L. F. Spivak, and G. N. Sagatdinova. 2010. «Development of Flood Space Monitoring in Kazakhstan.» *Geoscience and Remote Sensing, New Achievements*: 419-436.
2. Benoudjit, A., and R. Guida. 2019. «A Novel Fully Automated Mapping of the Flood Extent on SAR Images Using a Supervised Classifier.» *Remote Sensing* 11 (7).
3. Du, J., H. H. Zhou, P. A. Jacinthe, and K. S. Song. 2023. «Retrieval of lake water surface albedo from Sentinel-2 remote sensing imagery.» *Journal of Hydrology* 617.
4. Farhadi, H., and M. Najafzadeh. 2021. «Flood Risk Mapping by Remote Sensing Data and Random Forest Technique.» *Water* 13 (21).
5. Ghofrani, Z., V. Sposito, and R. Faggian. 2019. «Improving flood monitoring in rural areas using remote sensing.» *Water Practice and Technology* 14 (1): 160-171.
6. Guo, J., X. P. Wang, B. Liu, K. Liu, Y. Zhang, and C. F. Wang. 2023. «Remote-Sensing Extraction of Small Water Bodies on the Loess Plateau.» *Water* 15 (5).
7. Huang, M. M., and S. G. Jin. 2020. «Rapid Flood Mapping and Evaluation with a Supervised Classifier and Change Detection in Shouguang Using Sentinel-1 SAR and Sentinel-2 Optical Data.» *Remote Sensing* 12 (13).
8. Kadapala, B. K. R., and K. A. Hakeem. 2023. «Region-Growing-Based Automatic Localized Adaptive Thresholding Algorithm for Water Extraction Using Sentinel-2 MSI Imagery.» *Ieee Transactions on Geoscience and Remote Sensing* 61.
9. Kuntla, S. K., and P. Manjusree. 2020. «Development of an Automated Tool for Delineation of Flood Footprints from SAR Imagery for Rapid Disaster Response: A Case Study.» *Journal of the Indian Society of Remote Sensing* 48 (6): 935-944.
10. Lammers, R., A. Li, S. Nag, and V. Ravindra. 2021. «Prediction models for urban flood evolution for satellite remote sensing.» *Journal of Hydrology* 603.
11. Li, A. M., X. Y. Yan, and X. Kang. 2023. «Applicability study of four atmospheric correction methods in the remote sensing of lake water color.» *Geocarto International* 38 (1).
12. Nikolaos, S., K. Kleomenis, D. Elias, S. Panagiotis, L. Panagiota, P. Vagelis, and C. Christos. 2019. «A Robust Remote Sensing-Spatial Modeling-Remote Sensing (R-M-R) Approach for Flood Hazard Assessment.» *Spatial Modeling in Gis and R for Earth and Environmental Sciences*: 391-410.

13. Ongdas, N., F. Akiyanova, Y. Karakulov, A. Muratbayeva, and N. Zinabdin. 2020. «Application of HEC-RAS (2D) for Flood Hazard Maps Generation for Yesil (Ishim) River in Kazakhstan.» *Water* 12 (10).
14. Pivaev, P. D., V. N. Kudryavtsev, E. A. Balashova, and B. Chapron. 2020. «SAR Imaging Features of Shallow Water Bathymetry.» *Physical Oceanography* 27 (3): 290-304.
15. Quang, D. N., N. K. Linh, H. S. Tam, and N. T. Viet. 2021. «Remote sensing applications for reservoir water level monitoring, sustainable water surface management, and environmental risks in Quang Nam province, Vietnam.» *Journal of Water and Climate Change* 12 (7): 3045-3063.
16. Sebastianelli, A., M. P. Del Rosso, S. L. Ullo, A. Radius, C. Clemente, D. Orlando, F. Biondi, and J. Wheeler. 2021. «A filtering problem: SAR speckle filtering.» *Artificial Intelligence Applied to Satellite-Based Remote Sensing Data for Earth Observation* 98: 221-236.
17. Spivak, L., O. Arkhipkin, V. Pankratov, I. Vitkovskaya, and G. Sagatdinova. 2004. «Space monitoring of floods in Kazakhstan.» *Mathematics and Computers in Simulation* 67 (4-5): 365-370.
18. Taloor, A. K., P. K. Thakur, and M. Jakariya. 2022. «Remote sensing and GIS applications in water science.» *Groundwater for Sustainable Development* 19.
19. Wang, L. M., G. W. Jin, and X. Xiong. 2023. «Flood Duration Estimation Based on Multisensor, Multitemporal Remote Sensing: The Sardoba Reservoir Flood.» *Journal of Earth Science* 34 (3): 868-878.
20. Zou, S., J. Abuduwaili, J. L. Ding, W. L. Duan, P. De Maeyer, and T. Van De Voorde. 2020. «Description and Attribution Analysis of the 2017 Spring Anomalous High Temperature Causing Floods in Kazakhstan.» *Journal of the Meteorological Society of Japan* 98 (6): 1353-1368.
21. Тюменев С.Д. Водные ресурсы и водообеспеченность территории Казахстана: Учебник. – Алматы: КазНТУ, 2008. – 267 с.
22. Arkhipkin, O.P., Sagatdinova, G.N., 2016. The use of various optical and radar remote sensing data in operative space monitoring of flood in Kazakhstan. *Journal of Siberian Federal University. Engineering & Technologies*, 9(7), pp. 1045-1058.
23. Arkhipkin, O.P., Sagatdinova, G.N., 2017. The use of polarimetric radar data at space monitoring of high waters and floods. *Sovremennye problemy distantsionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa (Current problems in remote sensing of the Earth from space)*, 14(2), pp. 175-184.
24. Arkhipkin, O. P., & Sagatdinova, G. N. (2018). Possibilities of the joint use of optical and radar data in flood space monitoring. *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, 42, 67-73.
25. 2023. «Retrieval of lake water surface albedo from Sentinel-2 remote sensing imagery.» *Journal of Hydrology* 617.
4. Farhadi, H., and M. Najafzadeh. 2021. «Flood Risk Mapping by Remote Sensing Data and Random Forest Technique.» *Water* 13 (21).
5. Ghofrani, Z., V. Sposito, and R. Faggian. 2019. «Improving flood monitoring in rural areas using remote sensing.» *Water Practice and Technology* 14 (1): 160-171.
6. Guo, J., X. P. Wang, B. Liu, K. Liu, Y. Zhang, and C. F. Wang. 2023. «Remote-Sensing Extraction of Small Water Bodies on the Loess Plateau.» *Water* 15 (5).
7. Huang, M. M., and S. G. Jin. 2020. «Rapid Flood Mapping and Evaluation with a Supervised Classifier and Change Detection in Shouguang Using Sentinel-1 SAR and Sentinel-2 Optical Data.» *Remote Sensing* 12 (13).
8. Kadapala, B. K. R., and K. A. Hakeem. 2023. «Region-Growing-Based Automatic Localized Adaptive Thresholding Algorithm for Water Extraction Using Sentinel-2 MSI Imagery.» *Ieee Transactions on Geoscience and Remote Sensing* 61.
9. Kuntla, S. K., and P. Manjusree. 2020. «Development of an Automated Tool for Delineation of Flood Footprints from SAR Imagery for Rapid Disaster Response: A Case Study.» *Journal of the Indian Society of Remote Sensing* 48 (6): 935-944.
10. Lammers, R., A. Li, S. Nag, and V. Ravindra. 2021. «Prediction models for urban flood evolution for satellite remote sensing.» *Journal of Hydrology* 603.
11. Li, A.M., X.Y. Yan, and X. Kang. 2023. «Applicability study of four atmospheric correction methods in the remote sensing of lake water color.» *Geocarto International* 38 (1).
12. Nikolaos, S., K. Kleomenis, D. Elias, S. Panagiotis, L. Panagiota, P. Vagelis, and C. Christos. 2019. «A Robust Remote Sensing-Spatial Modeling-Remote Sensing (R-M-R) Approach for Flood Hazard Assessment.» *Spatial Modeling in Gis and R for Earth and Environmental Sciences*: 391-410.
13. Ongdas, N., F. Akiyanova, Y. Karakulov, A. Muratbayeva, and N. Zinabdin. 2020. «Application of HEC-RAS (2D) for Flood Hazard Maps Generation for Yesil (Ishim) River in Kazakhstan.» *Water* 12 (10).
14. Pivaev, P. D., V. N. Kudryavtsev, E. A. Balashova, and B. Chapron. 2020. «SAR Imaging Features of Shallow Water Bathymetry.» *Physical Oceanography* 27 (3): 290-304.
15. Quang, D. N., N. K. Linh, H. S. Tam, and N. T. Viet. 2021. «Remote sensing applications for reservoir water level monitoring, sustainable water surface management, and environmental risks in Quang Nam province, Vietnam.» *Journal of Water and Climate Change* 12 (7): 3045-3063.
16. Sebastianelli, A., M. P. Del Rosso, S. L. Ullo, A. Radius, C. Clemente, D. Orlando, F. Biondi, and J. Wheeler. 2021. «A filtering problem: SAR speckle filtering.» *Artificial Intelligence Applied to Satellite-Based Remote Sensing Data for Earth Observation* 98: 221-236.
17. Spivak, L., O. Arkhipkin, V. Pankratov, I. Vitkovskaya, and G. Sagatdinova. 2004. «Space monitoring of floods in Kazakhstan.» *Mathematics and Computers in Simulation* 67 (4-5): 365-370.
18. Taloor, A. K., P. K. Thakur, and M. Jakariya. 2022. «Remote sensing and GIS applications in water science.» *Groundwater for Sustainable Development* 19.

REFERENCES

1. Arkhipkin, O. P., L. F. Spivak, and G. N. Sagatdinova. 2010. «Development of Flood Space Monitoring in Kazakhstan.» *Geoscience and Remote Sensing, New Achievements*: 419-436.
2. Benoudjit, A., and R. Guida. 2019. «A Novel Fully Automated Mapping of the Flood Extent on SAR Images Using a Supervised Classifier.» *Remote Sensing* 11 (7).
3. Du, J., H. H. Zhou, P. A. Jacinthe, and K. S. Song.

19. Wang, L. M., G. W. Jin, and X. Xiong. 2023. «Flood Duration Estimation Based on Multisensor, Multitemporal Remote Sensing: The Sardoba Reservoir Flood.» *Journal of Earth Science* 34 (3): 868-878.
20. Zou, S., J. Abuduwaili, J. L. Ding, W. L. Duan, P. De Maeyer, and T. Van De Voorde. 2020. «Description and Attribution Analysis of the 2017 Spring Anomalous High Temperature Causing Floods in Kazakhstan.» *Journal of the Meteorological Society of Japan* 98 (6): 1353-1368.
21. Tyumenev S.D., 2008. *Vodniye resursi i vodoobespechennost territorii Kazakhstana: Uchebnik.* – Almaty: KazNTU, pp. 267.
22. Arkhipkin, O.P., Sagatdinova, G.N., 2016. The use of various optical and radar remote sensing data in operative space monitoring of flood in Kazakhstan. *Journal of Siberian Federal University. Engineering & Technologies*, 9(7), pp. 1045-1058.
23. Arkhipkin, O.P., Sagatdinova, G.N., 2017. The use of polarimetric radar data at space monitoring of high waters and floods. *Sovremennye problemy distantsionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa (Current problems in remote sensing of the Earth from space)*, 14(2), pp. 175-184.
24. Arkhipkin, O. P., & Sagatdinova, G. N. (2018). Possibilities of the joint use of optical and radar data in flood space monitoring. *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, 42, 67-73

ЗАРДАП ШЕККЕН ҮЙЛЕРДІҢ САНЫН, СУ БАСУ АЙМАҚТАРЫНЫҢ АУДАНЫ МЕН ШЕКАРАЛАРЫН БАҒАЛАУ ҮШІН ЖҚЗ РАДИОЛОКАЦИЯЛЫҚ ЖӘНЕ ОПТИКАЛЫҚ ДЕРЕКТЕРІН ҚОЛДАНУ

М.Т. Кусайнова*, Ж.З. Толеубекова *т.ғ.к.*, А.А. Ахмадия *PhD*, А.З. Капасова *т.ғ.к.*

С. Сейфуллин атындағы Қазақ Агротехникалық Зерттеу Университеті, Астана, Қазақстан
E-mail: marzh.kussainova@gmail.com

Мақалада 2017 жылғы көктемгі су тасқынынан су басу аймағын және зардап шеккен Атбасар қалашығының үйлері мен ғимараттарын анықтау нәтижесі келтірілген. Бұл нәтиже Sentinel-2A, Landsat-8 және Sentinel-1B орташа кеңістіктік ажыратымдылықтағы үш қол жетімді ЖҚЗ деректерін қолдану арқылы алынады. Бірінші кезеңде контраст деңгейі бойынша жақын, қысқа толқынды, жылу инфрақызыл (ИК) диапазоны және ЖҚЗ поляризация деректеріне көзбен талдау жүргізілді. Суреттер екі класс арасындағы жоғары контраст деңгейі бойынша таңдалды: су объектісі және су объектісі емес (жер). Екінші кезеңде су объектілеріне қатысты пикселдер үлгісінен шекті мәндер есептелді, содан кейін екілік кескіндер жасалды. Үшінші кезеңде, екілік кескіндер бұлтты әсерді жою және көктемгі су тасқынынан су басу аймағының нәтижесінде пайда болған екілік бейнені табу үшін логикалық түрде суммасы алынды. Төртінші кезеңде алынған екілік сурет Атбасар қалашығының деректері ГАЖ-ға қойылды, онда зардап шеккен үйлер мен ғимараттардың орналасуы мен саны табылды. Осы зерттеуге сәйкес, солтүстікте 200-ден астам саяжай үйлері және Атбасар қалашығының шығыс бөлігінде 9 үй су астында қалғаны анықталды. БАҚ және ресми органдардың мәліметтері бойынша Атбасардағы зардап шеккен үйлердің саны 400-ге жуық. Үш ЖҚЗ деректерімен логикалық қосу әдісі бойынша табылған зардап шеккен үйлердің саны 52% құрады. Жоғары кеңістіктік ажыратымдылықтағы ЖҚЗ деректерін пайдалану кезінде табудың дәлдігін айтарлықтай арттыруға болады. Бұл зерттеудің нәтижелері көктемгі су тасқынынан болған зиянды бағалау кезінде ТЖ қызметі, жергілікті мемлекеттік органдар, сақтандыру компаниялары үшін пайдалы болуы мүмкін.

Түйін сөздер: инфрақызыл диапазон, поляризация, ЖҚЗ, көктемгі су тасқыны, су басу шекарасы мен ауданы

THE USE OF RADAR AND OPTICAL REMOTE SENSING DATA TO ESTIMATE THE NUMBER OF AFFECTED HOUSES, THE AREA AND BOUNDARIES OF FLOOD ZONES

M. Kussainova*, candidate of technical science Z. Toleubekova, doctor PhD A. Akhmediya, candidate of technical science A. Kapassova

S.Seifullin Kazakh Agro Technical Research University, Astana, Kazakhstan
E-mail: marzh.kussainova@gmail.com

The article presents the result of determining the flooding zone and the affected houses and buildings of the town of Atbasar from the spring floods of 2017. This result was obtained using three available remote sensing data Sentinel-2A, Landsat-8 and Sentinel-1B of medium spatial resolution. At the first stage, remote sensing data of the near, short-wave, thermal infrared (IR) range and polarization by contrast level were visually analyzed. Images were selected based on a high level of contrast between two classes: a water object and a non-water object (land). At the second stage, threshold values were calculated from a sample of pixels related to water bodies, and then binary images were created. In the third stage, binary images were logically summarized to eliminate the cloud effect and find the resulting binary image of the flood zone from spring floods. In the fourth stage, the resulting binary image was superimposed on the GIS data of the town of Atbasar, where the locations and the number of affected houses and buildings were located. According to this study, it was found that more than 200 country houses were flooded in the northern part, and 9 houses in the eastern part of the town of Atbasar. According to media reports and official bodies, the number of affected houses in Atbasar was about 400. The number of affected houses found by the method of logical summation with three remote sensing data was 52%. The accuracy of the location can be significantly improved by using high spatial resolution remote sensing data. The results of this study may be useful for the emergency service, local government agencies, and insurance companies in assessing damage from spring floods.

Key words: infrared range, polarization, remote sensing, spring floods, border and area of flooding.

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

Кусаинова Маржан Тлеулиевна – докторант кафедры геодезии и картографии Казахского Агротехнического Исследовательского университете им. С. Сейфуллина, Астана, проспект Женис 62, marzh.kussainova@gmail.com

Толеубекова Жанат Зекеновна – кандидат технических наук, ассоциированный профессор, декан факультета Управления земельными ресурсами, архитектуры и дизайна Казахского Агротехнического Исследовательского университете им. С. Сейфуллина, Астана, проспект Женис 62, zh.toleubekova@kazatu.edu.kz

Ахмадия Асет Ахмадиевич – доктор PhD, старший преподаватель кафедры радиотехники, электроники и телекоммуникации Казахского Агротехнического Исследовательского университете им. С. Сейфуллина, Астана, проспект Женис 62, a.akhmediya@kazatu.kz

Капасова Айзада Зарлыковна – кандидат технических наук, старший преподаватель кафедры геодезии и картографии Казахского Агротехнического Исследовательского университете им. С. Сейфуллина, Астана, проспект Женис 62, a.kapassova@kazatu.edu.kz

Кусаинова Маржан Тлеулиевна - геодезия және картография кафедрасының, С. Сейфуллин атындағы Қазақ агротехникалық зерттеу университетінің докторанты, Астана қаласы, Жеңіс даңғылы 62, marzh.kussainova@gmail.com

Толеубекова Жанат Зекеновна - техника ғылымдарының кандидаты, қауымдастырылған профессор, С. Сейфуллин атындағы Қазақ агротехникалық зерттеу университетінің Жер ресурстарын басқару, сәулет және дизайн факультетінің деканы, Астана қаласы, Жеңіс даңғылы 62, zh.toleubekova@kazatu.edu.kz

Ахмадия Асет Ахмадиевич - PhD доктор, радиотехника, электроника және телекоммуникация кафедрасының аға оқытушысы, С. Сейфуллин атындағы Қазақ агротехникалық зерттеу университеті, Астана қаласы, Жеңіс даңғылы 62, a.akhmediya@kazatu.kz

Капасова Айзада Зарлыковна - техника ғылымдарының кандидаты, геодезия және картография кафедрасының С. Сейфуллин атындағы Қазақ агротехникалық зерттеу университетінің аға оқытушысы, Астана, Жеңіс даңғылы 62, a.kapassova@kazatu.edu.kz

Kusainova Marzhan – doctoral student of the Department of Geodesy and Cartography, Kazakh Agrotechnical Research University named after S. Seifullin, 62 Zhenis Avenue, Astana, marzh.kussainova@gmail.com

Toleubekova Zhanat – candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Dean of the Faculty of Land Management, Architecture and Design, Kazakh Agrotechnical Research University named after S. Seifullin, 62 Zhenis Avenue, Astana, zh.toleubekova@kazatu.edu.kz

Akhmadiya Asset – PhD, Senior Lecturer at the Department of Radio Engineering, Electronics and Telecommunications, S. Seifullin Kazakh Agrotechnical Research University, 62 Zhenis Avenue, Astana, a.akhmadiya@kazatu.kz

Kapassova Aizada – candidate of Technical Sciences, Senior Lecturer at the Department of Geodesy and Cartography, Kazakh Agrotechnical Research University named after S. Seifullin, 62 Zhenis Avenue, Astana, a.kapassova@kazatu.edu.kz

Вклад авторов/ Авторлардың қосқан үлесі/ Authors contribution

Қусаинова Маржан Тлеулиевна - разработка концепции, разработка методологии, создание программного обеспечения, проведение статистического анализа, проведения исследования, подготовка и редактирование текста, визуализация

Толубекова Жанат Зекеновна - разработка концепции, разработка методологии, подготовка и редактирование текста, визуализация

Ахмадия Асет Ахмадиевич - создание программного обеспечения, проведения исследования, ресурсы

Капасова Айзада Зарлыковна- проведение статистического анализа, проведения исследования

Қусаинова Маржан Тлеулиевна - тұжырымдаманы әзірлеу, әдістемені әзірлеу, бағдарламалық жасақтама жасау, статистикалық талдау жүргізу, зерттеу жүргізу, мәтінді дайындау және өңдеу, көрнекілік

Толубекова Жанат Зекеновна - тұжырымдаманы әзірлеу, әдістемені әзірлеу, мәтінді дайындау және өңдеу, көрнекілік

Ахмадия Асет Ахмадиевич - бағдарламалық жасақтама жасау, зерттеу жүргізу, ресурстар

Капасова Айзада Зарлыковна - статистикалық талдау жүргізу, зерттеу жүргізу

Kusainova Marzhan - concept development, methodology development, creating software, conducting statistical analysis, conducting a research, preparing and editing the text, visualization

Toleubekova Zhanat- concept development, methodology development, preparing and editing the text, visualization

Akhmadiya Asset - creating software, conducting a research, resources

Kapassova Aizada - conducting statistical analysis, conducting a research

ПАСПОРТ РЕК КАЗАХСТАНА

С.К. Алимкулов *к.г.н.*, А.Б. Мырзахметов* *PhD**АО «Институт географии и водной безопасности», г. Алматы, Казахстан**E-mail: ahan_myrzahmetov@mail.ru*

В настоящей статье рассматривается структура и заполнение паспорта рек Казахстана, в основе которой находится учет основных морфометрических и морфологических особенностей естественных водотоков и их водосборных бассейнов. Эти особенности отражают гидрографические характеристики, определение которых входит в задачи картографирования гидрологических процессов. Со временем поверхность речных водосборов подвергается изменению, по ряду естественных причин и антропогенной деятельности, что соответственно изменяет значения их морфометрических характеристик. В связи с этим динамичные характеристики необходимо обновить тогда, когда произошли изменения в водных объектах или их водосборах, которые при расчете гидрологических характеристик влияют на их точность. В настоящей работе рассмотрена структура паспорта рек Казахстана, которое является справочным материалом, где объединена информация по рекам и временным водотокам по всей территории Казахстана по водохозяйственным бассейнам. Кроме того, туда вошли все естественные водотоки с протяженностью более 10 км и изученные реки длиной менее 10 км. Паспортизация рек является первой ласточкой, так как разработка формы паспортов водных объектов в Республике Казахстан выполняется впервые.

Ключевые слова: река, водосборный бассейн, ледник, водные ресурсы, паспорт рек, инвентаризация, морфометрические характеристики, морфологические характеристики.

Поступила: 15.03.24

DOI:10.54668/2789-6323-2024-112-1-161-168

ВВЕДЕНИЕ

Без гидрографических характеристик естественных водотоков невозможно выполнить оценку любых инженерно-гидрологических мероприятий и решить абсолютно все водохозяйственные задачи. Гидрографические обследования с составлением справочников в советский период осуществлялись системно в соответствии с едиными руководящими и нормативными документами (Методические указания по составлению водохозяйственных паспортов речных бассейнов, 1977). Была обоснована необходимость регулярного обновления справочников по гидрографическим показателям в связи с тем, что с течением времени поверхность большинства водосборов претерпевает изменения. Однако, такие работы с охватом всей территории бывшего СССР были проведены в 1960-1980 гг. Большие

сроки работ были связаны с технологией гидрографических определений тех лет, рассмотренные в руководствах; технологии основывались на использовании классических карт и изредка аэрофотосъемок. Эти сведения до сих пор служат основой водного кадастра или реестра в бывших союзных республиках, в том числе и Казахстана (СП 33-101-2003, 2004; МСН 3.04-101-2005, 2006; Р 52.08.874-2018, 2018; СТО ГГИ 52.08.40–2017, 2017; Голубцов В.В., Лаврентьев П.Ф., Соседов И.С., 1983; Методические рекомендации по определению расчетных гидрологических характеристик при отсутствии данных гидрометрических наблюдений, 2009). К сожалению, в Казахстане вопросам разработки и обновлению стандартов в области гидрологии мало уделяют внимание.

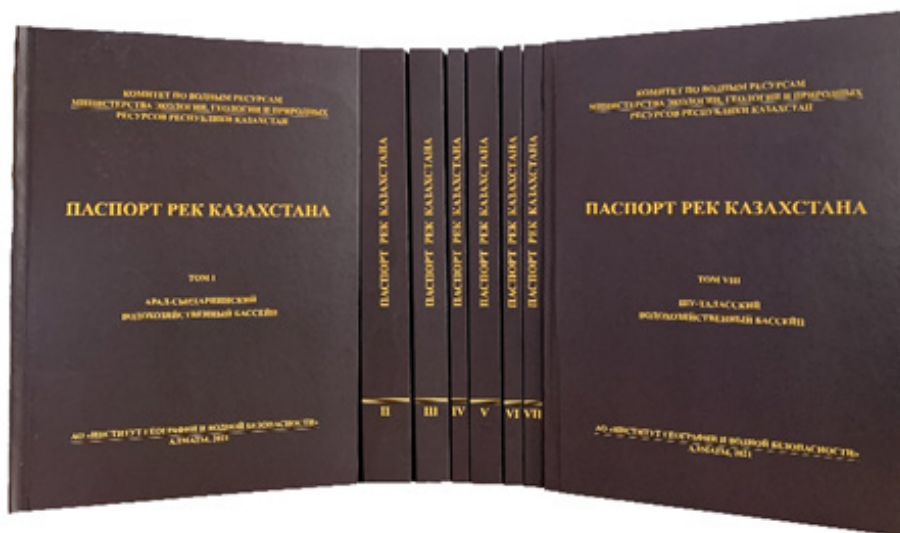
Для полноценной паспортизации и комплексной инвентаризации водотоков собраны и сопоставлены имеющиеся архивные материалы, собраны картографические

информации в комплексе с данными дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ) и обработаны с помощью различных инструментов программы ArcGis, проведены крупномасштабные полевые натурные изыскания с применением современного оборудования и технологий. Использование новых технологий позволили дополнить список естественных рек и временных водотоков, обновить все данные о речной системе и их гидрографических характеристик, по итогам которого разработана форма и заполнен паспорт рек Казахстана по водохозяйственным бассейна (Drusch M. et al., 2012; Fraser R., Bahethi R. S., Al-Abbas O.P., 1977; Аковецкий В.И., 1983; Mayer B., Kylling A., 2005; Туан Ч.Ч.,

2016; Курбатова И.Е. Крылова Н.Ю., 2008).

Паспорта рек Казахстана являются справочным пособием, представляющим собой паспортные данные естественных водотоков Казахстана, а также сведения об их гидрологической изученности, охватывающей территорию водосборных бассейнов Республики Казахстан.

Разработанный паспорт рек Казахстана представлены в 8-ми томах согласно их принадлежности к зонам деятельности бассейновых инспекций по регулированию использования и охране водных ресурсов Комитета по водным ресурсам Республики Казахстан (Рис. 1).



*Том I – Арало-Сырдаринский ВХБ
Том II – Балхаш-Алакольский ВХБ
Том III – Ертисский ВХБ
Том IV – Есильский ВХБ*

*Том V – Жайык-Каспийский ВХБ
Том VI – Нура-Сарысуский ВХБ
Том VII – Тобыл-Торгайский ВХБ
Том VIII – Шу-Таласский ВХБ*

Рис.1. Паспорта рек Казахстана по водохозяйственным бассейнам

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Основой для составления паспорта рек Казахстана послужили Основные сведения о реках и временных водотоков, либо списки рек, составленные до 1970 г. в УГМС КазССР. Также по крупномасштабным картам прежних лет издания 1950...1990 годов, которые при составлении соответствующих таблиц списка рек сопоставлялись, уточнялись и дополнялись по листам крупномасштабных карт последних лет издания, выпущенные после 2000 г.

Для дальнейших работ по определению гидрографических характеристик и получение

востребованных продуктов – были выбраны мультиспектральные космические снимки от Sentinel 2 с пространственным разрешением 10 м, а для цифровых карт и цифровых моделей рельефа мы выбрали цифровую модель рельефа SRTM (Shuttle Radar Topography Mission) с пространственным разрешением 30 м, которая находится в открытом доступе. Далее было загружено около 80 космических снимков Sentinel 2 и 180 космический снимок SRTM покрывающие поверхность водосборов крупных рек от истока до устьев.

Научные исследования, проведенные в данной статье, включают различные методы для анализа морфометрических и морфологических особенностей рек и их водосборных бассейнов. Метод гидрографического картографирования для определения длины рек, площади водосборного бассейна и других морфометрических параметров. Метод топографического анализа для изучения влияния рельефа на формирование водотоков. Применены геоморфологические исследования для анализа геоморфологических процессов, геодезические измерения для измерения различных параметров рек, анализ гидрологических данных для оценки гидрологических характеристик. Метод геоинформационного моделирования для создания моделей изменений в реках и водосборных бассейнах. Перечисленные методы используются совместно для достижения целей исследования и обеспечения точности данных о реках Казахстана для дальнейшего гидрологического анализа и планирования.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Паспорт рек представляет собой документ, содержащий технические данные о реках и временных водотоках, необходимый для внесения в Государственный водный реестр и достоверно отражающие информацию о состоянии и соответствии его функциональному назначению, как в процессе эксплуатации, так и после проведения работ по реконструкции, ремонту и благоустройству, об источниках загрязнения, дающие возможность правильного выбора мер по техническому обслуживанию.

Паспорт не является основанием для регулирования водных отношений, но обязателен для заполнения и корректировки при проведении любых работ на естественных водотоках (новое строительство, реконструкция, благоустройство) с учетом требований единой водоохраной политики.

Первый макет водохозяйственного паспорта бассейна реки был подготовлен в Центральном научно-исследовательском институте комплексного использования водных ресурсов (ЦНИИКИВР) Минмелиоводхоза СССР и утвержден в 1974 г. (Методические

указания по составлению водохозяйственных паспортов речных бассейнов, 1977).

Первоначальный макет паспорта не отражал специфики малых рек, так как предусматривалось приводить данные только о крупных водозаборах и водовыпусках (в объеме более 10 000 м³ в сутки). Форма таблиц позволяла приводить итоговые данные в целом по бассейнам средних или по водохозяйственным участкам крупных рек. Опыт составления водохозяйственных паспортов малых рек в Татарской АССР и обмен мнениями специалистов на специально проведенных всероссийских семинарах в 1977 г. позволили разработать макет паспорта применительно к бассейнам малых рек, где нашли свое место все объекты водоотведения и водозабора независимо от их размера (часто они по длительности существования, объему забора и сброса оказывают существенное влияние на режим малых рек).

Основными в паспорте являются гидрологические сведения о реке и ее притоках. Гидрологические параметры приводятся по данным гидрометрических постов, сведениям, полученным расчетным путем, и материалам специально проведенных региональных исследований.

В результате проведенных исследований по проведению полномасштабной инвентаризации и паспортизации водных объектов, учитывая опыт других стран (Петров Р.С., 1981; Гелашвили Д.Б., Зинченко Т.Д., Розенберг Г.М., 2007; Мингазова Н.М. и др., 2009; Мингазова Н.М. и др. 2010; Юревич Р.А., Фролова О.Е., 2017; Розенберг Г.С., 2001) была разработана структура паспорта рек Казахстана, которые заполнены всеми характеристиками.

Основное содержание паспорта рек представлено в табличном и графическом виде в 8 разделах. Каждый раздел имеет пояснения к представленным материалам, содержащим сведения об исходных данных, их качестве, методике получения и порядке расположения данных в таблице, а также об условиях, принятых при заполнении. Структура паспорта рек Казахстана состоит:

I раздел представляет собой алфавитный указатель идентифицированных рек и временных водотоков для

данными, в которых обозначенные номера рек, представленные в таблицах; 2 раздел содержит основные сведения о реках и временных водотоках, представленные в таблицах в двух формах:

В первой форме приведена уточненная информация о водотоках и о речной системе водосборного бассейна, где определена их порядковая классификация, указаны сведения относительно куда впадает, их административно-водохозяйственная принадлежность, а также географические координаты истоков и устьев рек.

Во второй форме представлена основная информация о морфометрических и морфологических характеристиках естественных рек и временных водотоков, и их водосборов (Розенберг Г.С., 2001; Алимкулов С.К. и др., 2023).

Морфометрические характеристики представляют собой количественные показатели водных объектов и их водосборов, а морфологические характеристики представляют собой качественно-количественные показатели строения поверхности водосборов. Вместе они образуют гидрографические характеристики, дающие достаточно полное представление о водных объектах и некоторых физико-географических особенностях их водосборов (Отчет о НИР: Разработка паспорта рек Казахстана, 2021; Руководство по определению гидрографических характеристик картометрическим способом, 1986; Зятков Л.К., 2009; СТО ГГИ 52.08.40-2017, 2017).

В конце раздела приведен список идентифицированных трансграничных водотоков с основными сведениями, которые представлены в двух формах. В первой форме таблицы дана уточненная информация о речной системе водосборного бассейна, где указана порядковая классификация трансграничных водотоков, сведения относительно куда впадает, а также расположение истоков и устьев с учетом их пересечения государственной границы. Во второй форме представлена основная информация о гидрографических характеристиках естественных водотоков и их водосборов, в том числе данные для сопредельного государства. Здесь же приводится информация о том, что

водоток пересекает государственную границу или протекает вдоль нее. 3 раздел содержит дополненную и уточненную информацию о гидрологических постах на реках и других водотоках всех ведомств, действовавших на водотоках в пределах территории Республики Казахстан, от начала их открытия и на момент составления Паспорта, здесь же приводится карта-схема расположения гидрологических постов;

4 раздел содержит сведения об основных гидрологических характеристиках рек (норма стока, коэффициенты вариации и асимметрии), а также расходах воды различной обеспеченности по гидростворам расположенных на реках и временных водотоках в период от начала наблюдений до настоящего времени;

в 5 разделе приводятся основные гидрохимические параметры водотоков (в данной работе была использована методика определения минерализации и расчета ионного стока рек неизученных территорий), параметры определялись в соответствии с методическими руководствами и ГОСТами, принятыми в Государственной системе мониторинга водных объектов РК;

в 6 разделе представлен каталог ледников горно-ледниковых районов, составленный по единым методическим рекомендациям, в нем приведены сведения о линейных размерах, площади и объеме каждого ледника, его положении на местности, морфологическом типе, экспозиции, абсолютной высоте низшей и высшей точек, высоте фирновой линии;

в 7 разделе представлены формы таблиц, разработанные для внесения сведений о гидротехнических сооружениях и их состоянии (таблицы необходимо заполнять в целях фиксирования последующих изменений водохозяйственной инфраструктуры бассейна), при этом необходимо учесть, что преобразования водохозяйственной инфраструктуры влекут за собой изменения гидрографических характеристик водотоков и их водосборов, указанные сведения будут полезны для эффективного управления и рационального использования речного стока;

8 раздел предназначен для внесения информации об изменениях

тех или иных паспортных данных.

Дополнительно к Паспорту рек Казахстана разработана их веб-версия «Система цифровых паспортов рек», представляющая собой виде интерактивной карте. Электронный паспорт рек предназначен для обеспечения автоматизированной работы с необходимыми данными о реках и временных водотоков, а также их водосборами, который предоставляет возможность поиска и навигации по необходимым параметрам и характеристикам, по административно-территориальному делению и по водосборным и водохозяйственным бассейнам Республики Казахстан (Розенберг Г.С., 2001).

Разработанная Система цифровых паспортов рек, которое охраняется авторским правом (Поветкин Р.Д. и др.), имеет отличный потенциал для расширения и доработки имеющихся инструментов, а также создания новых аналитических модулей, в том числе предназначенных для оценки ресурсов поверхностных вод и их использования. Программное обеспечение легко взаимодействует (API) с другими геоинформационными системами.

ВЫВОДЫ

По результатам выполненных работ и изучая опыт зарубежных организации по проведению паспортизации водных объектов была разработана форма паспортов по бассейновому принципу.

В результате по разработанной форме паспортов были составлены 8 паспортов рек, для восьмиводохозяйственных бассейнов Республики Казахстан. Вся информация, включенная в паспорта рек, приведена в пределах их административно-водохозяйственной границы.

Общее количество идентифицированных и представленных в «Паспорте рек Казахстана» рек и временных водотоков составляет 17 736. В этот перечень включены все водотоки, постоянные и временные, имеющие длину от 10 км в горных и от 5 км в равнинных районах, а также обследованные водотоки длиной менее 5 км. Реки длиной 10 км и более приведены с округлением до целого километра, длиной менее 10 км - с точностью до 0,1 км.

Необходимо отметить, что Паспорт рек и временных водотоков Казахстана разработан

впервые и является уникальным, оригинальным справочным пособием. Представленная информация полезна для специалистов водников, а также для руководителей, принимающих решения в управлении водными ресурсами и занимающихся обустройством водохозяйственной инфраструктурой, к тому же проста в использовании.

Разработана Система цифровых паспортов рек, где представлена серия инвентаризационных карт гидрографической сети, которое имеет перспективы для расширения функциональных возможностей, доработки текущих и создания новых аналитических инструментов, в том числе для оценки поверхностных ресурсов речного стока и их использования.

Проведение паспортизации рек предусматривает, что Комитет по водным ресурсам РК должно вносить изменения и дополнения в них по мере накопления материалов по водопользованию и облагораживанию речных русел. Даже самый хороший паспорт, если его постоянно не корректировать, устаревает и не отражает действительного их состояния.

Результаты работы имеют большое практическое значение. Они могут быть использованы для получения оперативной информации по названию, местоположению и других сведений о водных объектах и гидротехнических сооружениях на определенной территории на основе табличных материалов и картографических приложений. Кроме того, предоставленные материалы возможно использовать при проектировании гидротехнических сооружений, для гидрологических, гидроэкологических и в водохозяйственных расчетах, при решении вопросов рационального и комплексного использования водных ресурсов рассматриваемого региона, охраны малых рек от загрязнения, засорения, истощения, оценки экологического состояния водоохраных зон и полос и для решения других вопросов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Методические указания по составлению водохозяйственных паспортов речных бассейнов / Утвержден Заместителем министра мелиорации и водного хозяйства СССР И.И. Борадавченко от 5 апреля 1977 г. – Москва 1977.
2. СП 33-101-2003. Определение основных расчетных гидрологических характеристик. – М.: Госстрой, 2004. – 73 с.
3. МСН 3.04-101-2005. Определение основных расчетных гидрологических характеристик. – Астана, 2006. – 87 с.

4. Р 52.08.874-2018 Определение гидрографических характеристик картографическим способом. – СПб, 2018. – 172 с.
5. СТО ГГИ 52.08.40–2017 Определение морфометрических характеристик водных объектов суши и их водосборов с использованием технологии географических информационных систем по цифровым картам Российской Федерации и спутниковым снимкам. – М.: ООО «РПЦ Офорт», 2017. – 148 с.
6. Голубцов В.В., Лаврентьев П.Ф., Соседов И.С. Проблемы гидрологии Казахстана // Труды КазНИИ Гос Ком Гидромета. М.: 1983. – Вып. 80. – 120 с.
7. Методические рекомендации по определению расчетных гидрологических характеристик при отсутствии данных гидрометрических наблюдений. – СПб: Нестор-История, 2009. – 194 с.
8. Drusch M., Bello U., Carlier S., Colin O. Sentinel-2: ESA's optical high-resolution mission for GMES operational services // Remote Sens. Environ. – 2012. – V. 120. – P. 25-36. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2011.11.026>
9. Fraser R., Bahethi R. S., Al-Abbas O.P. The effect of the atmosphere on classification of satellite observations to identify surface features // Remote Sens. Environm. – 1977. – V. 6. – P. 229-249.
10. Аковецкий В.И. Дешифрирование снимков. – М.: изд. «Недра», 1983. – 374 с.
11. Mayer B., Kylling A. Technical note: The libRadtran software package for radiative transfer calculations - description and examples of use // Atmos. Chem. Phys. – 2005. – V. 5. – P. 1855-1877. <https://doi.org/10.5194/acp-5-1855-2005>
12. Туан Ч. Ч. Разработка методики обнаружения и картографирования изменений поверхностных водных объектов по материалам космических съемок // Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук. – Москва, 2016. – 155 с.
13. Курбатова И.Е. Крылова Н.Ю. Использование космической информации при изучении и картографировании трансграничных водосборов (на примере озера Ханка) // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. – 2008. – Т.2. – С. 529-537.
14. Петров Р.С. Водохозяйственный паспорт малой реки / Вопросы географии. Сборник 118. Малые реки. М.: «Мысль», 1981. – С. 40-44.
15. Гелашвили Д.Б., Зинченко Т.Д., Розенберг Г.М. Паспортизация городских водоемов (методические рекомендации) // Биржа интеллектуальной собственности. – 2007. – Т. 6. – № 7. – С. 17-21.
16. Мингазова Н.М., Деревенская О.Ю., Палагушкина О.В., Набеева Э.Г., Павлова Л.Р., Зарипова. Инвентаризация и паспортизация водных объектов в г. Казани // Проблемы охраны воды рыбных ресурсов Поволжья. Матер. У Поволжской гидроэкологической конфер. – Казань, 2009. – С. 107-109
17. Мингазова Н.М., Деревенская О.Ю., Палагушкина О.В., Набеева Э.Г., Павлова Л.Р., Зарипова Н.Р. Итоги инвентаризации и паспортизации водных объектов в г. Казани // Сб. матер. Конгресса «Чистая вода. Казань». – Казань, 2010. – С. 247-250.
18. Юревич Р.А., Фролова О.Е. Водохозяйственный паспорт малой реки / Центральный научно-исследовательский институт комплексного использования водных ресурсов, Минск, 2017
19. Розенберг Г.С., Гелашвили Д.Б., Зинченко Т.Д., Перешивайлов Л.А. Об экологической паспортизации городских водоемов // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. – 2001. – Т. 3. – № 2. – С. 254-264.
20. Алимкулов С.К., Мырзахметов А.Б., Турсунова А.А., Исакан Г., Достасва А.Ж., Қанай М.Ә. Основные гидрографические сведения о реках и временных водотоках Балкаш-Алакольского бассейна. // Серия «Биология. Медицина. География». – 2023. – № 1(109). – С. 195-205.
21. Отчет о НИР: Разработка паспорта рек Казахстана. АО «Институт географии и водной безопасности». Алматы, 2021. – 850 с.
22. Руководство по определению гидрографических характеристик картометрическим способом. – Л.: Гидрометеиздат, 1986. – 97 с.
23. Зятьков Л.К. Методы геоэкологической паспортизации природных объектов и новая кадровая политика. Министерство образования и науки Российской Федерации, Федеральное агентство по образованию, ГОУ ВПО «Сибирская гос. геодезическая акад.». – Новосибирск: СГГА, 2009. – 273 с.
24. СТО ГГИ 52.08.40-2017. Определение морфометрических характеристик водных объектов суши и их водосборов с использованием технологии географических информационных систем по цифровым картам российской федерации и спутниковым снимкам. Санкт-Петербург: ООО «РПЦ ОФОРТ», 2017. – 148 с.
25. Поветкин Р.Д., Алимкулов С.К., Пузиков Е.М., Мырзахметов А.Б. Программа для ЭВМ по автоматизированной системе цифровых паспортов рек. Свидетельство о внесении сведений в государственный реестр прав на объекты, охраняемые авторским правом. № 23627 от 15 февраля 2022 года.

REFERENCES

1. Metodicheskie ukazaniya po sostavleniyu vodohozyaystvennih pasportov rechnik basseinov / Utverjden Zamestitelem ministra melioracii i vodnogo hozyaystva SSSR I.I. Boradavchenko ot 5 aprelya 1977 – Moskva 1977.
2. SP 33-101-2003. Opredelenie osnovnih raschetnih gidrologicheskikh harakteristik. – М.: Gosstroj, 2004. – 73 p.
3. MSN 3.04-101-2005. Opredelenie osnovnih raschetnih gidrologicheskikh harakteristik. – Astana, 2006. – 87 p.
4. Р 52.08.874-2018 Opredelenie gidrograficheskikh harakteristik kartograficheskim sposobom. – Spb, 2018. - 172 p.
5. STO GGI 52.08.40–2017 Opredelenie morfometricheskikh harakteristik vodnih obektov sushi i ih vodosborov s ispolzovaniem tehnologii geograficheskikh informacionnih sistem po cifrovim kartam Rossiiskoi Federacii i sputnikovim snimkam. – М.: ООО «RPC Ofort», 2017. – 148 p.
6. Golubcov V.V., Lavrentev P.F. Sosedov I.S. Problemi gidrologii Kazahstana // Trudi Kaz NII Gos Kom Gidrometa. М.: 1983. – Vip. 80. – 120 p.
7. Metodicheskie rekomendacii po opredeleniyu raschetnih gidrologicheskikh harakteristik pri otsutstvii dannih gidrometricheskikh nablyudenii. – SPb: Nestor Istoriya, 2009 – 194 p.
8. Drusch M., Bello U., Carlier S., Colin O. Sentinel-2: ESA's optical high-resolution mission for GMES operational services // Remote Sens. Environ. – 2012. – V. 120. – P. 25-36. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2011.11.026>

9. Fraser R., Bahethi R. S., Al-Abbas O.P. The effect of the atmosphere on classification of satellite observations to identify surface features // *Remote Sens. Environm.* – 1977. – V. 6. – P. 229-249.
10. Akoveckii V.I. Deshifirovanie snimkov. – M.: izd. «Nedra», 1983. – 374 p.
11. Mayer B., Kylling A. Technical note: The libRadtran software package for radiative transfer calculations – description and examples of use // *Atmos. Chem. Phys.* – 2005. – V. 5. – P. 1855-1877. <https://doi.org/10.5194/acp-5-1855-2005>
12. Tuan Ch. Ch. Razrabotka metodiki obnaruzheniya i kartografirovaniya izmenenii poverhnostnih vodnih obektov po materialam kosmicheskikh semok // *Dissertatsiya na soiskanie uchenoi stepeni kandidata tehnikeskikh nauk.* – Moskva, 2016. – 155 p.
13. Kurbatova I.E., Krilova N.Yu. Ispolzovanie kosmicheskoi informatsii pri izuchenii i kartografirovanii transgranichnykh vodosborov na primere ozera Hanka, // *Sovremennye problemi distantsionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa.* – 2008. – T.2. – P. 529-537.
14. Petrov R.S. Vodohozyaistvennii pasport maloi reki / *Voprosi geografii. Sbornik* 118. *Malie reki.* M.: «Misl», 1981. – P. 40-44.
15. Gelashvili D.B., Zinchenko T.D., Rozenberg G.M. Paspportizatsiya gorodskikh vodoemov – metodicheskie rekomendatsii, // *Birja intellektualnoi sobstvennosti.* – 2007. – T. 6. – № 7. – p. 17-21.
16. Mingazova N.M., Derevenskaya O.Yu., Palagushkina O.V., Nabeeva E.G., Pavlova L.R., Zaripova N.R. Inventarizatsiya i pasportizatsiya vodnih obektov v g. Kazani // *Problemi ohrani vod i ribnykh resursov Povoljya. Mater. Y Povoljskoi gidroekologicheskoi konfer.* – Kazan, 2009. – P. 107-109.
17. Mingazova N.M., Derevenskaya O.Yu., Palagushkina O.V., Nabeeva E.G., Pavlova L.R., Zaripova N.R. Itogi inventarizatsii i pasportizatsii vodnih obektov v g. Kazani // *Sb. mater. Kongressa «Chistaya voda. Kazan».* – Kazan, 2010. – P. 247-250.
18. Yurevich R.A., Frolova O.E. *Vodohozyaistvennii pasportmaloi reki/Centralniinauchno issledovatel'skii institut kompleksnogo ispolzovaniya vodnykh resursov.* – Minsk, 2017
19. Rozenberg G.S., Gelashvili D.B., Zinchenko T.D., Pereshvailov L.A. *Ob ekologicheskoi pasportizatsii gorodskikh vodoemov // Izvestiya Samarskogo nauchnogo centra Rossiiskoi akademii nauk.* 2001. – T. 3. – № 2. – P. 254-264.
20. Alimkulov S.K., Mirzahmetov A.B., Tursunova A.A., Isakan G., Dostaeva A.J., Kanai M.Ө. *Osnovnie gidrograficheskie svedeniya o rekah i vremennykh vodotokakh Balkash Alakolskogo basseina. // Seriya «Biologiya. Medicina. Geografiya».* – 2023. – № 1/109. – S. 195-205.
21. Otchet o NIR Razrabotka pasporta rek Kazakhstana. AO «Institut geografii i vodnoi bezopasnosti». – Almati, 2021. – 850 p.
22. *Rukovodstvo po opredeleniyu gidrograficheskikh harakteristik kartometricheskim sposobom.* – L.: Gidrometeoizdat, 1986. – 97 p.
23. Zyatkov L.K. *Metodi geoeologicheskoi pasportizatsii prirodnih obektov i novaya kadrovaya politika. Ministerstvo obrazovaniya i nauki Rossiiskoi Federatsii, Federalnoe agentstvo po obrazovaniyu GOU VPO «Sibirskaya gos. geodezicheskaya akad.».* – Novosibirsk: SGGA, 2009. – 273 p.
24. STO GGI 52.08.40-2017. *Opredelenie morfometricheskikh harakteristik vodnykh obektov sushi i ih vodosborov s ispolzovaniem tehnologii geograficheskikh informatsionnykh sistem po cifrovym kartam rossiiskoi federatsii i sputnikovim snimkam.* – Sankt-Peterburg OOO «RPC OFORT» 2017. – 148 p.
25. Povetkin R.D., Alimkulov S.K., Puzikov E.M., Mirzahmetov A.B. *Programma dlya EVM po avtomatizirovannoi sisteme cifrovnykh pasportov rek. Svidetelstvo o vnesenii svedenii v gosudarstvennii reestr prav na obekti ohranyaemие avtorskim pravom № 23627 ot 15 fevralya 2022.*

ҚАЗАҚСТАН ӨЗЕНДЕРІНІҢ ПАСПОРТЫ

С.Қ. Әлімқұлов *д.ғ.к.*, А.Б. Мырзахметов* *PhD*

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

Бұл мақалада табиғи ағындылар мен олардың су жинау алаптарының негізгі морфометриялық және морфологиялық ерекшеліктерін ескере отырып, Қазақстанның өзендерінің паспорттарын толтыру мен оның құрылымы қарастырылады. Бұл ерекшеліктер гидрологиялық үдерістерді картаграфиялау міндеттеріне кіретін көптеген гидрографиялық сипаттамалар айқындайды. Уақыт өте келе табиғи себептер мен антропогендік әрекеттердің әсерінен өзендердің су жинау алаптарының беті өзгеріске ұшырайды, ол сәйкесінше олардың морфометриялық сипаттамаларының мәндерін өзгертеді. Сондықтан динамикалық сипаттамаларды жаңартуды гидрологиялық есептеулердің дәлдігіне әсер ететін су нысандары немесе олардың су жинау алаптарында өзгерістер болған кезде жүргізу қажет. Бұл жұмыста Қазақстанның барлық аумағындағы өзендер мен уақытша ағындар бойынша ақпараттар біріктірілген анықтамалық құжат болып табылатын Қазақстан өзендері паспорттарының құрылымы қарастырылды. Сонымен қатар, оған ұзындығы 10 шақырымнан асатын барлық табиғи су ағындары және ұзындығы 10 шақырымнан төмен зерттел-

ген өзендер кірді. Қазақстан Республикасында су нысандарының паспортын алғаш рет жүргізіліп жатқандықтан, өзендерді паспорттау бірінші белгісі болып табылады.

Түйін сөздер: өзен, су жинау алабы, мұздық, су ресурстары, өзендер паспорты, түгендеу, морфометриялық және морфологиялық сипаттамалар.

PASSPORT OF THE RIVERS OF KAZAKHSTAN

S.K. Alimkulov candidate of geographical sciences, **A.B. Myrzakhmetov*** PhD

«Institute of Geography and Water Security» Joint Stock Company, Almaty, Kazakhstan

E-mail: ahan_myrzahmetov@mail.ru

This article discusses the structure and content of the passport of the rivers of Kazakhstan, which is based on the accounting of the main morphometric and morphological features of natural watercourses and their catchment basins. These features reflect the hydrographic characteristics, the definition of which is part of the task of mapping hydrological processes. Over time, the surface of river catchments undergoes changes due to a number of natural causes and anthropogenic activity, which accordingly changes the values of their morphometric characteristics. In this regard, dynamic characteristics need to be updated when there have been changes in water bodies or their catchments, which, when calculating hydrological characteristics, affect their accuracy. In this paper, the structure of the passport of the rivers of Kazakhstan is considered, which is a reference material, which combines information on rivers and temporary watercourses throughout the territories of Kazakhstan on water basins. In addition, it includes all natural watercourses with a length of more than 10 km and studied rivers with a length of less than 10 km. The certification of rivers is the first step, since the development of the form of passports of water bodies in the Republic of Kazakhstan is being carried out for the first time.

Key words: river, drainage basin, glacier, water resources, river passport, inventory, morphometric and morphological characteristics.

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

Әлімқұлов Саят Құрбанбайұлы – география ғылымдарының кандидаты, «География және су қауіпсіздігі институты» АҚ, Басқарма төрағасының орынбасары, Алматы қаласы, Пушкин көшесі, 99, askigwr@mail.ru

Мырзахметов Ахан Бақытұлы – Доктор PhD, «География және су қауіпсіздігі институты» АҚ, Су ресурстары зертханасының аға ғылыми қызметкері, Алматы қаласы, Пушкин көшесі, 99, ahan_myrzahmetov@mail.ru

Алимкулов Саят Курбанбаевич – кандидат географических наук, заместитель Председателя правление АО «Институт географии и водной безопасности», г. Алматы, ул. Пушкина 99, askigwr@mail.ru

Мырзахметов Ахан Бақытович - Доктор PhD, старший научный сотрудник лаборатории водных ресурсов АО «Институт географии и водной безопасности», Алматы, ул. Пушкина 99, ahan_myrzahmetov@mail.ru

Alimkulov Sayat Kurbanbaevich – Candidate of Geographical Sciences, Deputy Chairman of the Board of JSC «Institute of Geography and Water Security», Almaty, 99 Pushkin str., askigwr@mail.ru

Myrzakhmetov Akhan Bakytovich - PhD, Senior Researcher at the Laboratory of Water Resources of JSC «Institute of Geography and Water Security», Almaty, 99 Pushkin str., ahan_myrzahmetov@mail.ru

Вклад авторов/ Авторлардың қосқан үлесі/ Authors contribution:

Алимкулов Саят Курбанбаевич – разработка концепции, разработка методологии

Мырзахметов Ахан Бақытович - создание программного обеспечения, проведение статистического анализа, проведение исследования, ресурсы, подготовка и редактирование текста, визуализация

Әлімқұлов Саят Құрбанбайұлы – тұжырымдаманы әзірлеу, әдістемені әзірлеу

Мырзахметов Ахан Бақытұлы – бағдарламалық жасақтама жасау, статистикалық талдау жүргізу, зерттеу жүргізу, ресурстар, мәтінді дайындау және өңдеу, көрнекілік

Alimkulov Sayat – concept development, methodology development

Myrzakhmetov Akhan - creating software, conducting statistical analysis, conducting a research, resources, preparing and editing the text, visualization