SJIF 2025 = 8,23 ISSN 2181-2578

ЦЕНТРАЛЬНОАЗИАТСКИЙ ЖУРНАЛ ГЕОГРАФИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ

Международный научный журнал

№ 3-4, 2025

*** * ***

CENTRAL ASIAN JOURNAL OF THE GEOGRAPHICAL RESEARCHES

International scientific journal

No. 3-4, 2025

Чирчик
Chirchik

Центральноазиатский журнал географических исследований
№ 3-4, 2025

Основан в 2021 году. Выходит 4 раза в год
Учредитель: Чирчикский государственный педагогический университет

Международный редакционный совет

Арушанов М.Л., д.г.н, профессор (Ташкент, Узбекистан), **Бабаев А.Г.**, д.г.н., профессор, академик АН Туркменистана, член-корр. РАН (Ашхабад, Туркменистан), **Гнято Р.,** д.г.н., профессор (Баня-Лука, Республика Сербская, Босния и Герцеговина), **Дружинин А.Г.**, д.г.н., профессор (Ростов-на-Дону, Россия), **Ибрагимов А.**, д.г.н., профессор (Баку, Азербайджан), **Исмаилов Ч.Н.**, д.г.н., профессор (Баку, Азербайджан), **Курбан А.**, д.г.н., профессор (Урумчи, Китай), **Логинов В.Ф.,** д.г.н., профессор, академик НАН Беларуси (Минск, Беларусь), **Медеу А.Р.**, д.г.н., профессор, академик НАН Казахстана (Алматы, Казахстан), **Мухаббатов Х.М.**, д.г.н., профессор (Душанбе, Таджикистан), **Надыров Ш.М.,** д.г.н., профессор (Алматы, Казахстан), **Нигматов А.Н.**, д.г.н., профессор (Ташкент, Узбекистан), **Низамиев А.Г.**, д.г.н., профессор (Ош, Кыргызстан), **Салуквадзе И.**, д.г.н., профессор (Тбилиси, Грузия), **Стрыякевич Т.**, д.г.н., профессор (Познань, Польша), **Тулохонов А.К.**, д.г.н., профессор, академик РАН (Улан-Удэ, Россия), **Уразбаев А.К.,** д.г.н., профессор (Чирчик, Узбекистан), **Яротов А.Е.**, к.г.н., доцент (Минск, Беларусь)

Редакционная коллегия

Главный редактор – Ражабов Ф.Т., д.п.н. (DSc), доцент (Чирчик, Узбекистан)
Зам. главного редактора – Федорко В.Н., д.ф. (PhD) г.н. (Ташкент, Узбекистан)
Ответственный секретарь – **Курбанов Ш.Б.** д.ф. (PhD) г.н., доцент (Чирчик, Узбекистан)

Аббасов С.Б., д.г.н., профессор (Самарканд, Узбекистан), **Акобиров Ш.З.,** к.э.н., доцент (Душанбе, Таджикистан), **Ахмадалиев Ю.И.**, д.г.н., профессор (Фергана, Узбекистан), **Батомункуев В.С.**, к.г.н., доцент (Улан-Удэ, Россия), **Богдасаров М.А.**, д.г.-м.н., профессор, член-корр. НАН Беларуси (Брест, Беларусь), **Волчек А.А.**, д.г.н., профессор (Брест, Беларусь), **Деточенко Л.В.**, к.г.н., доцент (Волгоград, Россия), **Дылдаев М.М.,** д.г.н., профессор (Бишкек, Кыргызстан), **Исаченко Г.А.**, к.г.н., доцент (Санкт-Петербург, Россия), **Кумо К.**, д.ф. (PhD), профессор (Токио, Япония), **Лачининский С.С.,** к.г.н, доцент (Санкт-Петербург, Россия), **Мазбаев О.Б.,** д.г.н., профессор (Астана, Казахстан), **Милинчич М.**, д.г.н., профессор (Белград, Сербия), **Момошева Г.А.**, к.г.н., доцент (Ош, Кыргызстан), **Муртазаев У.И.,** д.г.н., профессор (Душанбе, Таджикистан), **Мягков С.В.,** д.т.н., профессор (Ташкент, Узбекистан), **Отеулиев М.О.,** д.ф. (PhD) г.н. (Нукус, Узбекистан), **Плохих Р.В.,** д.г.н., профессор (Алматы, Казахстан), **Попов В.А.,** к.г.н, с.н.с. (Ташкент, Узбекистан), **Пулатов Э.Я.,** д.с.-х.н., профессор (Душанбе, Таджикистан), **Сандаг Х.**, д.г.н. (PhD), профессор (Улан-Батор, Монголия), **Турдиев Т.И.,** д.э.н., профессор (Ош, Кыргызстан), **Турдымамбетов И.Р.**, д.г.н., профессор (Нукус, Узбекистан), **Шилдс К.,** д.ф. (PhD), ассоциированный профессор (Мемфис, США), **Ширази С.А.**, д.ф. (PhD), профессор (Лахор, Пакистан), **Эзиз А.**, д.ф. (PhD), ассоциированный профессор (Урумчи, Китай), **Янчук С.Л.,** к.г.н., доцент (Ташкент, Узбекистан)

Научный журнал "Центральноазиатский журнал географических исследований" зарегистрирован в Агенстве информации и массовых коммуникаций при Администрации Президента Республики Узбекистан (свидетельство о государственной регистрации средства массовой информации № 1195 от 2.07.2021 г.).

"Центральноазиатский журнал географических исследований" включён в перечень научных изданий, рекомендованных Высшей Аттестационной комиссией при Кабинете Министров Республики Узбекистан для публикации основных научных результатов диссертационных исследований по направлению "11.00.00 – Географические науки".

Адрес редакции: 111700, Республика Узбекистан, Ташкентская область, город Чирчик, ул. А.Темура, д. 104.

Веб сайт: www.cageojournal.uz **E-mail:** ca_geojournal@mail.ru
ISSN 2181-2578 **© ЧГПУ, 2025**

Центральноазиатский журнал географических исследований № 3-4, 2025
Central Asian journal of the geographical researches
No 3-4, 2025

Founded in 2021. Published 4 times a year
Founder: Chirchik state pedagogical university

International editorial board

Arushanov M.L., DSc, professor (Tashkent, Uzbekistan), **Babaev A.G.,** DSc, professor, academician of the Academy of Sciences of Turkmenistan, corresponding member of RAS (Ashkhabad, Turkmenistan), **Gnjato R.,** DSc, professor (Banya-Luka, Republika Srpska, Bosnia and Herzegovina), **Druzhinin A.G.,** DSc, professor (Rostov-on-Don, Russia), **Ibragimov A.**, DSc, professor (Izmir, Turkey), **Ismailov Ch.N.**, DSc, professor (Baku, Azerbaijan), **Kurban A.**, DSc, professor (Urumchi, China), **Loginov V.F.,** DSc, professor, academician of the Academy of Sciences of Belarus (Minsk, Belarus), **Medeu A.R.,** DSc, professor, academician of the National Academy of Sciences of Kazakhstan (Almaty, Kazakhstan), **Mukhabbatov Kh.M.,** DSc, professor (Dushanbe, Tajikistan), **Nadirov Sh.M.,** DSc, professor, (Almaty, Kazakhstan), **Nigmatov A.N.,** DSc, professor (Tashkent, Uzbekistan), **Nizamiev A.G.,** DSc, professor (Osh, Kyrgyzstan), **Salukvadze I.**, DSc, professor, (Tbilisi, Georgia), **Stryjakiewicz T.**, DSc, professor (Poznan, Poland), **Tulokhonov A.K.**, DSc, professor, academician of RAS (Ulan-Ude, Russia), **Urazbaev A.K.,** DSc, professor (Chirchik, Uzbekistan), **Yarotov A.E.,** PhD, associate professor (Minsk, Belarus)

Editorial team

Editor-in-chief – Rajabov F.T., DSc, associate professor (Chirchik, Uzbekistan)
Deputy of editor-in-chief – Fedorko V.N., PhD (Tashkent, Uzbekistan)
Responsible Secretary – **Kurbanov Sh.B.,** PhD, associate professor (Chirchik, Uzbekistan)

Abbasov S.B., DSc, professor (Samarkand, Uzbekistan), **Akhmadaliev Yu.I.,** DSc, professor (Fergana, Uzbekistan), **Akobirov Sh.Z.,** PhD, associate professor (Dushanbe, Tadjikistan), **Batomunkuev V.S.**, PhD, associate professor (Ulan-Ude, Rossiya), **Bogdasarov M.A.**, DSc, professor, corresponding member of NAS of Belarus (Brest, Belarus), **Detochenko L.V.**, PhD, associate professor (Volgograd, Russia), **Dyldaev M.M.**, DSc, professor (Bishkek, Kyrgyzstan), **Eziz A.**, PhD, associate professor (Urumqi, China), **Isachenko G.A.**, PhD, associate professor (Sankt-Peterburg, Russia), **Lachininskiy S.S.,** PhD, associate professor (Sankt-Peterburg, Russia), **Mazbaev O.B.,** DSc, professor (Astana, Kazakhstan), **Milinchich M.**, PhD, professor (Belgrad, Serbia), **Momosheva G.A.**, PhD, associate professor (Osh, Kyrgyzstan), **Murtazaev U.I.,** DSc, professor (Dushanbe, Tadjikistan), **Myagkov S.V.,** DSc, professor (Tashkent, Uzbekistan), **Oteuliev M.O.,** PhD (Nukus, Uzbekistan), **Plokhikh R.V.,** DSc, professor (Almaty, Kazakhstan), **Popov V.A.,** PhD, senior researcher (Tashkent, Uzbekistan), **Pulatov E.Ya.,** DSc, professor (Dushanbe, Tadjikistan), **Sandag Kh.,** PhD, professor (Ulan Bator, Mongoliya), **Shields K.,** PhD, associate professor (Memfis, USA), **Shirazi S.A.**, PhD, professor (Lahore, Pakistan), **Turdiev T.I.,** DSc, professor (Osh, Kyrgyzstan), **Turdymambetov I.R.,** DSc, professor (Nukus, Uzbekistan), **Volchek A.A.**, DSc, professor (Brest, Belarus), **Yanchuk S.L.,** PhD, associate professor (Tashkent, Uzbekistan).

The scientific journal "Central Asian Journal of Geographical Research" is registered with the Agency for Information and Mass Communications under the Administration of the President of the Republic of Uzbekistan (certificate of state registration of mass media No. 1195 dated 2.07.2021).

"Central Asian Journal of Geographical Research" is included in the list of scientific publications recommended by the Higher attestation commission under the Cabinet of Ministers of the Republic of Uzbekistan for the publication of the main scientific results of dissertation research in the direction "11.00.00 - Geographical sciences".

Editorial office address: 111700, Republic of Uzbekistan, Tashkent region, Chirchik city, st. A.Temur, 104.

Web site: www.cageojournal.uz **E-mail:** ca_geojournal@mail.ru
ISSN 2181-2578
© ChSPU, 2025

ФИЗИЧЕСКАЯ ГЕОГРАФИЯ И ГЕОЭКОЛОГИЯ

PHYSICAL GEOGRAPHY AND GEOECOLOGY

УДК: 911.2:556 https://doi.org/10.5281/zenodo.18033354

Халимова Г.С., Бабакулова Ш.С.

Бухарский государственный университет, Бухара, Узбекистан

МОРФОМЕТРИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ ВРЕМЕННЫХ ВОДОТОКОВ ХРЕБТА АУМИНЗАТАУ В ЦЕНТРАЛЬНОМ КЫЗЫЛКУМЕ

Аннотация. *В данной статье изложены итоги авторского исследования морфометрических характеристик временных водотоков останцового хребта Ауминзатау, расположенного в Центральном Кызылкуме. Актуальность исследования определяется дефицитом питьевой воды в исследуемом районе пустыни Кызылкум и необходимостью рационального использования водных ресурсов в условиях их жёсткого дефицита. На основе полевых наблюдений, проведённых в апреле 2025 года, и анализа топографических карт масштаба 1:100000 на склонах хребта Ауминзатау были выявлены 79 временных водотоков. В рамках исследования были определены их морфометрические показатели, такие как длина, количество притоков и площадь бассейна. Результаты исследования имеют практическое значение для оценки возможностей использования временного поверхностного стока, формирующегося на склонах хребта Ауминзатау, планирования водоснабжения новых производственных и жилых объектов, создаваемых в целях освоения природных ресурсов прилегающих пустынных районов. Полученные данные могут быть использованы для оценки местных водных ресурсов останцовых низкогорий Центрального Кызылкума.*

Ключевые слова: *хребет Ауминзатау, Центральный Кызылкум, временные водотоки, морфометрические показатели, водные ресурсы, пустынные районы, пролювиальные шлейфы, дефицит воды.*

Khalimova G.S., Babakulova Sh.S.

Bukhara State University, Bukhara, Uzbekistan

MORPHOMETRIC INDICATORS OF TEMPORARY WATERCOURSES OF AUMINZATAU RIDGE IN THE CENTRAL KYZYLKUM

Abstract. *This article presents the results of a study examining the morphometric characteristics of temporary streams in the Auminzatau remnant ridge, located in Central Kyzylkum. The relevance of this study is determined by the shortage of drinking water in the study area of the Kyzylkum Desert and the need for rational use of water resources under severe water shortages. Based on field observations conducted in April 2025 and an analysis of 1:100,000 scale topographic maps, 79 temporary streams were identified on the slopes of the Auminzatau ridge. The study determined their morphometric parameters, such as length, number of tributaries, and basin area. The results of the study have practical significance for assessing the potential for using temporary surface runoff generated on the slopes of the Auminzatau ridge and for planning water supply for new industrial and residential facilities being built to develop the natural resources of adjacent desert areas. The obtained data can be used to assess local water resources of the residual lowlands of Central Kyzylkum.*

Key words: *Auminzatau ridge, Central Kyzylkum, temporary streams, morphometric parameters, water resources, desert landscapes, proluvial plain, water scarcity.*

Введение и постановка проблемы. В последние годы ситуация с обеспеченностью питьевой водой во всём мире вызывает серьёзную озабоченность. Потепление климата и нерациональное использование водных ресурсов усугубляют кризис в снабжении территорий питьевой водой. Особенно остро эта проблема стоит в аридных регионах.

Одной из целей устойчивого развития ООН до 2030 года является цель «Чистая вода и санитария», центральная задача в контексте которой сформулирвоана, как «Обеспечение наличия и рационального использования водных ресурсов и санитарии для всех». Достижение этой цели требует эффективного использования местных водных ресурсов регионов.

Указы Президента Республики Узбекистан № УП-5742 «О мерах по рациональному использованию земельных и водных ресурсов в сельском хозяйстве» от 17 июня 2019 года, № УП-158 «О стратегии «Узбекистан-2030»» от 11 сентября 2023 года, № УП-74 «О определении приоритетных направлений внедрения и развития современной системы управления в водном хозяйстве» от 7 мая 2024 года, Постановление Кабинета Министров Республики Узбекистан № 841 «О мероприятиях по реализации национальных целей и задач в области устойчивого развития до 2030 года» от 20 октября 2018 года определяют актуальность темы исследования в свете целей и задач устойчивого развития Республики Узбекистан.

Около 70 % всей территории Узбекистана занимают пустыни [7; 20; 21]. Наиболее значительную площадь при этом занимает пустыня Кызылкум в западной части страны, где в дисперсных очагах освоения и заселения территории ощущается острый дефицит водных ресурсов вследствие отсутствия постоянные водотоков. Одним из способов смягчения этой проблемы является эффективное использование временных водных ресурсов, образующихся от сезонных дождей в низкогорных районах Центрального Кызылкума.

Немало временных водотоков формируется в результате выпадения атмосферных осадков на склонах останцового низкогорного хребта Ауминзатау в Центральном Кызылкуме. Этот низкогорный хребет административно расположен на территории Навоийской области в пределах 41°–41°27′ северной широты и 63°21′–64°5′ восточной долготы. Хребет Ауминзатау простирается с запада на восток на 30 км, его средняя высота составляет 300–500 м, а наивысшая точка — 694 м, расположенная в восточной части [3; 8].



Рис. 1. Южный склон хребта Ауминзатау

Фото авторов.

Ауминзатау, согласно схеме геоморфологического районирования Узбекистана, разработанной В.А. Поповым, относится к Тамды-Ауминзатаускому геоморфологическому району Кызылкумской провинции Туранской области, который объединяет аридные тектонически выровненные низкогорья и эоловые равнины [3].

Хребет Ауминзатау имеет асимметричное строение. Северный склон его более крутой, а южный – более пологий, пересечённый сухими речками и обрывами. В нижних частях сухих долин образовались небольшие веерообразные конусы. Они слились между собой, образуя пролювиальные шлейфы [7]. На поверхности шлейфов расположены пески различных форм (рис. 1).

Таблица 1

Сведения о населённых пунктах, расположенных у подножья хребта Ауминзатау (на начало 2025 г.)

№	Населённые пункты	Количество семей, проживающих в настоящее время
1.	Узункудук	80
2.	Шенгелди	10
3.	Шенгелди (в котловине Караката)	15
4.	Караката	15
5.	Ашчи	1
6.	Ауминза	Население отсутствует

Таблица составлена авторами на основе полевых обследований.

У подножья хребта Ауминзатау расположены 6 населённых пунктов, в 5 из которых в настоящее время проживает постоянное население, преимущественно этнические казахи (табл. 1). В ауле Ауминза население сейчас не проживает, так как 10-15 лет назад здесь возникли проблемы с питьевой водой, и жители аула покинули его.

Изученность вопроса. Природа пустынных низкогорий Узбекистана и соседних стран, возможности по использованию водных ресурсов временных водотоков, образующихся на их склонах, отражены в научных работах Э.Д. Мамедова [6], И.И. Гранитова [4], П.К. Закирова [5], Л.Н. Бабушкина, Н.А. Когая [2], С.Б. Аббасова [1], Х.Т. Тухтаевой [9], Ф.Х. Хикматова [15-19], Г.С. Халимовой [10-15; 17] и других учёных. Однако исследования, связанные с морфогидрографическими характеристиками временных водотоков хребта Ауминзатау, к настоящему времени не проводились.

Геоморфология песков Внутреннего Кызылкума, где расположен хребет Ауминзатау, была изучена Э.Д. Мамедовым в качестве объекта его кандидатской диссертации [6].

В исследовании пастбищных ресурсов Юго-Западного Кызылкума, включая хребет Ауминзатау, значительный вклад внес геоботаник И.И. Гранитов. Проведённые им исследования нашли отражение в его классической монографии [4].

В результате исследований, проведённых П.К. Закировым в 1961–1966 годах в низкогорьях Кызылкума, было установлено, что на данной территории встречается около 50 процентов видового разнообразия флоры Кызылкума, а общее количество видов растений превышает 500 [5]. Особое значение в понимании специфической сущности ландшафтов хребта Қульджуқтау имеют исследования Л.Н. Бабушкина, Н.А. Когай [2] и С.Б. Аббасова [1].

Л.Н. Бабушкин и Н.А. Когай [2] создали классический образец физико-географического районирования Средней Азии и её юго-западной (Туранской) части. Согласно данной схеме районирования, хребет Ауминзатау отнесён к равнинной подпровинции Туранской провинции. В этом районе отмечается «слабая выраженность» вертикальной (высотной) поясности. Наряду с этим обосновано, что возраст хребта

относится к плиоцен-четвертичному периоду, а его положение соответствует самой высокой ступени (IV ярус) среди равнинных округов.

Ландшафты пустыни Кызылкум (300 000 км²) и их геоэкологические аспекты были изучены С.Б. Аббасовым [1]. Опираясь на мнения ряда известных учёных, исследователь относит Кызылкум к пустынной зоне умеренного пояса и подразделяет её на три подзоны: северную, среднюю (центральную) и южную. В рамках исследований им было выделено 8 типов местности в пределах пустыни Кызылкум, при этом хребет Ауминзатау отнесён к типу местности «низкогорная пустыня».

Цель и задачи работы. С учётом наличия пяти населённых пунктов в пределах исследуемой территории и потребностей местного населения в водных ресурсах, необходимости оценки местных источников водных ресурсов в зоне низкогорья Ауминзатау, основной целью работы было определено исследование морфометрических показателей временных водотоков, формирующихся на склонах хребта.

Для реализации поставленной цели в данном исследовании были определены и решены следующие задачи:

1. На топографической карте района исследований масштаба 1: 100 000 были выявлены элементы гидрографической сети в виде временных водотоков.

2. Были рассчитаны морфометрические показатели сезонных водотоков, в частности, длина главного русла и притоков, площади водосборов.

Материалы и методы. В ходе выполнения работы в качестве основного источника была использована топографическая карта масштаба 1: 100 000. Известно, что карты данного масштаба относятся к крупномасштабным топографическим картам, и их возможности по выявлению гидрографических сетей малоизученных территорий значительно выше по сравнению с картами среднего масштаба. Это обстоятельство обеспечивает достоверность полученных в ходе исследования результатов [8].

Исходя из цели исследования и поставленных для её реализации задач, ниже рассмотрим морфометрические показатели сезонных водотоков, формирующихся на склонах хребта Ауминзатау.



Рис. 2. Измерительные работы на Кайраксае (хребет Ауминзатау), проведённые 01.04.2025 г.

Длина главного водотока (L) определяется расстоянием от его истока до устья. Местоположение главной реки было установлено путём геоморфологического анализа карты. В результате выполненных полевых работ в зоне хребта Ауминзатау было выявлено всего 79 русел временных водотоков различного размера. Из них лишь один имеет собственное название на карте – Кайраксай. Водотоки, названия которых на карте не указаны, были обозначены номерами, и их общее количество составило 78.

Сезонное заполнение сухих русел на склонах хребта свидетельствует о периодическом возникновении селевых потоков. Подобные явления наносят ущерб пустынным пастбищам. С целью предотвращения этих негативных процессов, эффективного использования атмосферных осадков и сохранения биоразнообразия пустынных ландшафтов, прилегающих к низкогорьям, в апреле 2025 года авторами были проведены экспедиционные работы по изучению временных водотоков хребта. На крупных руслах южного склона были выполнены измерительные работы (рис. 2).

Результаты и их обсуждение. Результаты обследования основных морфометрических показателей русел водотоков изучаемой территории обобщены в таблице 2.

Таблица 2

Основные морфометрические показатели временных водотоков на склонах Ауминзатау

№	Водоток	Устье водотока	*L*, км	l_i	$L+\sum l_i$	F, км^2
1	1-й водоток	Теряется в песках	2,5	-	2,5	2,25
2	2-й водоток	Теряется в песках	9,5	-	9,5	45,6
3	3-й водоток	Теряется в песках	10,5	-	10,5	90,25
4	4-й водоток	Теряется в песках	3	-	3	8,3
5	Кайраксай	Впадает в главный водоток	16,7	7,5	24,2	254,84
6	5-й водоток	Теряется в песках	3,5	-	3,5	6,25
7	6-й водоток	Впадает в главный водоток	9	19,2	28,2	85,75
8	7-й водоток	Теряется в песках	3,5	-	3,5	6,25
9	8-й водоток	Впадает в главный водоток	15	3	18	75,39
10	9-й водоток	Теряется в песках	3	-	3	2,25
11	10-й водоток	Теряется в песках	3,4	-	3,4	1,56
12	11-й водоток	Впадает в главный водоток	8,5	14,4	22,9	26,94
13	12-й водоток	Впадает в главный водоток	8	6	14	19,01
14	13-й водоток	Теряется в песках	5	-	5	14,06
15	14-й водоток	Впадает в главный водоток	12	12,7	24,7	23,87
16	15-й водоток	Впадает в главный водоток	6	11,7	17,7	15,81
17	16-й водоток	Теряется в песках	6,2	-	6,2	7,56
18	17-й водоток	Впадает в главный водоток	13	5	18	39,06
19	18-й водоток	Теряется в песках	4,6	-	4,6	3,06
20	19-й водоток	Теряется в песках	2,6	-	2,6	2,25
21	20-й водоток	Теряется в песках	8	-	8	12,25
22	21-й водоток	Теряется в песках	6,3	-	6,3	7,56
23	22-й водоток	Теряется в песках	3,5	-	3,5	4
24	23-й водоток	Впадает в главный водоток	16	13,1	29,1	103,39
25	24-й водоток	Впадает в главный водоток	11	3,6	14,6	23,31
26	25-й водоток	Впадает в главный водоток	8,2	3	11,2	17,56

27	26-й водоток	Теряется в песках	2,5	-	2,5	1.56
28	27-й водоток	Впадает в главный водоток	5	4,5	9,5	9,31
29	28-й водоток	Теряется в песках	5	-	5	7,56
30	29-й водоток	Теряется в песках	2,5	-	2,5	2,25
31	30-й водоток	Теряется в песках	3,6	-	3,6	5,64
32	31-й водоток	Впадает в главный водоток	16	3,9	19,9	350,39
33	32-й водоток	Впадает в главный водоток	4	13,6	17,6	25,68
34	33-й водоток	Теряется в песках	7,5	-	7,5	20,25
35	34-й водоток	Теряется в песках	13	-	13	52,56
36	35-й водоток	Впадает в главный водоток	4,5	1,6	6,1	6,03
37	36-й водоток	Впадает в главный водоток	11,5	4,7	16,2	26,32
38	37-й водоток	Теряется в песках	2,4	-	2,4	1,89
39	38-й водоток	Теряется в песках	1,6	-	1,6	1
40	39-й водоток	Теряется в песках	9	-	9	30,25
41	40-й водоток	Впадает в главный водоток	5,2	2,6	7,8	32,62
42	41-й водоток	Теряется в песках	3	-	3	5,06
43	42-й водоток	Теряется в песках	2,7	-	2,7	2,25
44	43-й водоток	Впадает в главный водоток	6,5	1,2	7,7	13,75
45	44-й водоток	Впадает в главный водоток	12,5	15,2	27,7	60,7
46	45-й водоток	Теряется в песках	5,9	-	5,9	9
47	46-й водоток	Впадает в главный водоток	13	11,5	24,5	66,7
48	47-й водоток	Впадает в главный водоток	14	8,3	22,3	58,06
49	48-й водоток	Впадает в главный водоток	12	2	14	45,95
50	49-й водоток	Впадает в главный водоток	16	9,5	25,5	63,14
51	50-й водоток	Впадает в главный водоток	6,5	4,5	11	26,07
52	51-й водоток	Впадает в главный водоток	3,8	3	6,8	6,06
53	52-й водоток	Теряется в песках	6,1	-	6,1	22,56
54	53-й водоток	Впадает в главный водоток	10,5	10,8	21,3	64,97
55	54-й водоток	Впадает в главный водоток	9	9,6	18,6	38,02
56	55-й водоток	Теряется в песках	3,5	-	3,5	1.89
57	56-й водоток	Теряется в песках	2,5	-	2,5	2,25
58	57-й водоток	Теряется в песках	2,5	-	2,5	1,56
59	58-й водоток	Впадает в главный водоток	17,5	8,5	28,7	116,13
60	59-й водоток	Теряется в песках	2,7	-	2,7	2.64
61	60-й водоток	Впадает в главный водоток	11,6	11	22,6	168,08
62	61-й водоток	Теряется в песках	6,2	-	6,2	4
63	62-й водоток	Впадает в главный водоток	6,5	3,2	9,7	14,04
64	63-й водоток	Теряется в песках	3	-	3	3,06
65	64-й водоток	Теряется в песках	4,8	-	4,8	6,25
66	65-й водоток	Впадает в главный водоток	7,5	18,2	25,7	53,76
67	66-й водоток	Теряется в песках	10	-	10	33,06
68	67-й водоток	Теряется в песках	4,5	-	4,5	6,25
69	68-й водоток	Теряется в песках	3,7	-	3,7	3,51
70	69-й водоток	Теряется в песках	6,5	-	6,5	15,01
71	70-й водоток	Впадает в главный водоток	7,5	1,6	9,1	3,56
72	71-й водоток	Теряется в песках	2,5	-	2,5	3,51

73	72-й водоток	Теряется в песках	2	-	2	1
74	73-й водоток	Теряется в песках	7	-	7	16
75	74-й водоток	Теряется в песках	2,6	-	2,6	3,6
76	75-й водоток	Теряется в песках	4,5	-	4,5	5,64
77	76-й водоток	Впадает в главный водоток	6,3	3,5	9,8	23,76
78	77-й водоток	Теряется в песках	4,9	-	4,9	6,25
79	78-й водоток	Впадает в главный водоток	6,5	3	9,5	14,82
80	79-й водоток	Теряется в песках	9	-	9	39,06

Примечание: L - длина главного водотока; l - длина притоков; $L+\sum l_i$ - длина главного водотока вместе с притоками.

Таблица составлена авторами на основе проведённых на местности полевых обследований.

Длина водотока Кайраксай вместе с притоками составляет 24,2 км. Этот водоток начинается в юго-западной ветви Ауминзатау, называемой Сарыктау, и течёт в юго-западном направлении. В нижнем течении водоток пересыхает, теряясь в песках на абсолютной высоте местности менее 200 м над уровнем моря.

Среди временных водотоков, формирующихся на склонах Ауминзатау, самым длинным является 23-й водоток, длина которого вместе с притоками составляет 29,1 км. По площади бассейна лидирует 31-й водоток, площадь его водосбора равна 350,39 км². Этот водоток расположен на южном склоне гряды, начинается на высоте 500 м и в нижнем течении теряется в песках.

Большинство выявленных водотоков формируется в южной, юго-восточной, восточной и северо-восточной частях хребта Ауминзатау. Отдельно мелкие водотоки образуются на северном склоне и имеют короткую протяжённость.

Выводы. В заключении отметим, что, несмотря на расположение останцового низкогорного хребта Ауминзатау в центральной части пустыни Кызылкум, временным стоком сезонных осадков на его склонах сформировано 79 русел временных водотоков, изучение морфогидрографических особенностей которых даёт основание сделать следующие выводы:

1. Русла водотоков, в основном, берут начало в водораздельной части хребта и текут к его подножью, в нижнем течении теряясь в песках.

2. Среди выявленных водотоков особенно выделяется 23-й, длина которого составляет 29,1 км. По площади бассейна особое место занимает 31-й водоток (350,39 км²).

3. Результаты исследования временных водотоков в зоне хребта Ауминзатау могут быть использованы для выбора места строительства рабочего посёлка, который планируется возвести для освоения новых месторождений минеральных ресурсов этой территории в ближайшие годы, с учётом особой значимости вопроса водоснабжения жителей посёлка.

Использованная литература:

1. Аббасов С.Б. Ландшафты Кызылкума и их геоэкологические аспекты: автореф. дисс. докт. геогр. наук. Ташкент, 2007. 39 с. (На узб. яз.).

2. Бабушкин Л.Н., Когай Н.А. Природные территориальные комплексы Юго-Запада Средней Азии. Ташкент: Фан, 1975, 116 с.

3. Географический атлас Узбекистана. Ташкент: Государственный комитет по ресурсам земли, геодезии, картографии и государственному кадастру Республики Узбекистан, 2016. С. 161. (На узб. яз.).

4. Гранитов И.И. Растительный покров Юго-Западных Кызылкумов. Ташкент: Наука, 1964. 336 с.

5. Зокиров П.К. Геоботаническое районирование низкогорий Кызылкума с точки зрения хозяйственного использования // Очерки по географии растительного покрово Узбекской ССР. Ташкент: Фан, 1969, С. 210-230.

6. Мамедов Э. Пески внутренних Кызылкумов: автореф. дисс. канд. геогр. наук. Ташкент, 1963. 16 с.

7. Национальная энциклопедия Узбекистана. Том 12, Ташкент. 2006. 624 с. (На узб. яз.).

8. Топографическая карта Бухарской и Навоийской областей. K-41-XXVIII.

9. Тухтаева Х.Т. Борьба с опустыниванием на основе рационального использования местных водных ресурсов (на примере Центрального Кызылкума): автореф. дисс. докт. фил. геогр. наук. Ташкент, 2018. 42 с. (На узб. яз.).

10. Халимова Г.С. Гидрографические показатели временных ручьёв на южных склонах хребта Кульджуктау // Узбекистан в евразийском пространстве: география, геоэкономика, геоэкология. Международная научно-практическая конференция. Ташкент, 2017. С. 323-325. (На узб. яз.).

11. Халимова Г.С. Закономерности сезонного формирования местных водных ресурсов в хребте Кульджуктау (Кызылкум) // Современные проблемы науки и образования по географии. Республиканская научно-практическая конференция. Ташкент, 2015. С. 321-323. (На узб. яз.).

12. Халимова Г.С. О многолетних показателях атмосферных осадков в районе хребта Кульджуктау (Кызылкум) // Известия Географического общества Узбекистана. 2014. Том 44. С. 119-122. (На узб. яз.).

13. Халимова Г.С., Бабакулова Ш. Практическое значение географического изучения низкогорий Узбекистана // Сборник материалов республиканской научно-практической конференции студентов, магистрантов, аспирантов и докторантов на тему «Мышление и толкование». Часть II. Бухара, 2022. С. 488-493. (На узб. яз.).

14. Халимова Г.С., Бабакулова Ш.С. Низкогорья района Кызылкум и степень их изученности. Образование и наука в XXI веке. Научно-образавательный электронный журнал. Выпуск №26, том 5. 2022, май. С. 476-482. [Электронный ресурс]: URL: https://mpcareer.ru/oinv21veke3. (На узб. яз.).

15. Хикматов Ф., Халимова Г.С., Зияев Р.Р. Морфометрические показатели гидрографической сети хребта Кульджуктау // Известия НУУз. 2018. Т. №3/1. С. 466-470. (На узб. яз.).

16. Хикматов Ф.Х., Айтбоев Д.П., Хайитов Ё.К. Практические занятия по общей гидрологии. Ташкент, 2004. 161 с. (На узб. яз.).

17. Хикматов Ф.Х., Халимова Г.С. Источники водных ресурсов низкогорий Узбекистана и вопросы их эффективного использования. Ташкент, 2021. 160 с. (На узб. яз.).

18. Хикматов Ф.Х., Юносов Г.Х., Сагдиев Н.З., Тургунов Д.М., Зияев Р.Р. Гидрометрия. Ташкент: Сано-стандарт, 2014. 208 с. (На узб. яз.).

19. Хикматов Ф.Х., Якубов М.А., Айтбоев Д.П. Процессы русла и динамика потока русла. Ташкент, 2004. 57 с. (На узб. яз.).

20. Шомуродова Ш.Г. География Узбекистана. Ташкент: YANGI CHIRCHIQ PRINTS, 2023. 207 с. (На узб. яз.).

21. Halimova G., Qalandarova D., Anvarova Z. (2023), Assesment of local mountain system, *BIO Web of Conferences*, URL:https://www.bio-conferences.org/articles/bioconf/abs/2024/03/bioconf_aquaculture2024_01040/bioconf_aquaculture2024_01040.html

References:

1. Abbasov S.B. (2007), *Landscapes of the Kyzylkum and their geoecological aspects*: *abstract of diss. ... doct. geogr. sciences.* Tashkent, 39 p. (In Uzbek).

2. Babushkin L.N., Kogay N.A. (1975), *Natural territorial complexes of the South-West of Central Asia,* Tashkent, 116 p. (In Russ.).

3. *Geographical Atlas of Uzbekistan* (2016), Tashkent. p. 161. (In Uzbek).

4. Granitov I.I. (1964), *Vegetation Cover of the South-Western Kyzylkum*, Tashkent, 336 p. (In Russ.).

5. Zokirov P.K. (1969), Geobotanical zoning of the lowlands of the Kyzylkum from the perspective of economic use, *Essays on the geography of the vegetation cover of the Uzbek SSR,* Tashkent, pp. 210-230. (In Russ.).

6. Mamedov E. (1963), *Sands of the Inner Kyzylkum: abstract of diss. ... cand. geogr. sciences.* Tashkent, 16 p. (In Russ.).

7. *National Encyclopedia of Uzbekistan* (2006), vol. 12, Tashkent, 624 p. (In Uzbek).

8. *Topographic map of Bukhara and Navoi regions*. K-41-XXVIII.

9. Tukhtaeva Kh.T. (2018), *Combating desertification based on the rational use of local water resources (the case of the Central Kyzylkum): abstract of diss. ... PhD of geogr. sciences,* Tashkent, 42 p. (In Uzbek.).

10. Halimova G.S. (2017), Hydrographic characteristics of ephemeral streams on the southern slopes of the Kuljuktau range, *Uzbekistan in the Eurasian context: geography, geoeconomics, geoecology, proceedings of the International scientific-practical conference,* pp. 323-325. (In Uzbek).

11. Halimova G.S. (2015), Seasonal formation patterns of local water resources in the Kuljuktau range (Kyzylkum), *Modern problems of the science and education of geography, proceedings of the Republican scientific-practical conference,* pp. 321-323. (In Uzbek).

12. Halimova G.S. (2014), On the long-term indicators of atmospheric precipitation in the Kuljuktau range (Kyzylkum), *The Annales of the Geographical Society of Uzbekistan,* vol. 44, pp. 119-122. (In Uzbek).

13. Halimova G.S., Babakulova Sh. (2022), The practical significance of the geographical study of low mountains in Uzbekistan, *Proceedings of the Republican scientific-practical conference on the theme "Reflection and Interpretation" for gifted students, master's students, basic doctoral candidates and doctoral students*, pp. 488-493. (In Uzbek).

14. Halimova G.S., Babakulova Sh. (2022), Low mountains in the Kyzylkum region and the degree of their study, *Education and Science in the XXI Century. Scientific-educational electronic journal*, Issue 26, vol. 5, pp. 476-482. URL: https://mpcareer.ru/oinv21veke3.

15. Hikmatov F., Halimova G.S., Ziyaev R.R. (2018), Morphometric characteristics of the hydrographic networks of the Kuljuktau range, *News of Uzbekistan State University*, pp. 466-470. (In Uzbek).

16. Hikmatov F.H., Aytboev D.P., Hayitov Yo.K. (2004), *Practical Exercises in General Hydrology*, Tashkent, 161 p. (In Uzbek).

17. Hikmatov F.H., Halimova G.S. (2021), *Sources of Water Resources in the Low Mountains of Uzbekistan and Issues of Their Efficient Use*, Tashkent, 160 p. (In Uzbek).

18. Hikmatov F.H., Yakubov M.A., Aytboev D.P. (2004), *Channel Processes and Streamflow Dynamics*, Tashkent, 57 p. (In Uzbek).

19. Hikmatov F.H., Yunosov G.Kh., Sagdeev N.Z., Turgunov D.M., Ziyaev R.R. (2014), *Hydrometry*, Tashkent, 208 p. (In Uzbek).

20. Shomurodova Sh.G. (2023), *Geography of Uzbekistan*, Tashkent, 207 p. (In Uzbek).

21. Halimova G., Qalandarova D., Anvarova Z. (2023), Assesment of local mountain system, *BIO Web of Conferences*, URL:https://www.bio-conferences.org/articles/bioconf/abs/2024/03/bioconf_aquaculture2024_01040/bioconf_aquaculture2024_01040.html

Сведения об авторах:

Халимова Гулшан Субхоновна – Бухарский государственный университет (Бухара, Узбекистан), доктор философии (PhD) по географическим наукам. E-mail: g.s.halimova@buxdu.uz

Бабакулова Шохида Саиджоновна – Бухарский государственный университет (Бухара, Узбекистан), базовый докторант. E-mail: Babakulovashohida018@gmail.com

Information about authors:

Gulshan Halimova – Bukhara State University (Bukhara, Uzbekistan), Doctor of philosophy (PhD) in geographical sciences. E-mail: g.s.halimova@buxdu.uz

Shokhida Babakulova – Bukhara State University (Bukhara, Uzbekistan), basical doctoral student. E-mail: Babakulovashohida018@gmail.com

Для цитирования:

Халимова Г.С., Бабакулова Ш.С. Морфометрические показатели временных водотоков хребта Ауминзатау в Центральном Кызылкуме // Центральноазиатский журнал географических исследований. 2025. № 3-4. С. 4-13.

For citation:

Khalimova G.S., Babakulova Sh.S. (2025), Morphometric indicators of temporary watercourses of Auminzatau ridge in the Central Kyzylkum, *Central Asian Journal of Geographical Researches*, No. 3-4, pp. 4-13. (In Russ.).

УДК 528.854.2:614.76 https://doi.org/10.5281/zenodo.18028525

Аденбаев Б.Е., Хамзаева Ж.Т.,Тоштурдиев Н.Н.

Национальный университет Узбекистана, Ташкент, Узбекистан

ОЦЕНКА СОСТОЯНИЯ ЗАГРЯЗНЕНИЯ АТМОСФЕРНОГО ВОЗДУХА ГОРОДА НАВОИ

Аннотация. *В статье представлена комплексная характеристика состояния загрязнения атмосферного воздуха в городе Навои за период 2000-2024 годов на основе данных наблюдательной сети Узгидромета. Рассматривается динамика содержания основных загрязняющих веществ, включая диоксид серы, диоксид азота, оксид азота, оксид углерода и взвешенные частицы (пыль). Анализ результатов наблюдений показывает, что среднегодовые концентрации большинства загрязнителей оставались ниже установленных нормативов качества атмосферного воздуха, что свидетельствует о сравнительно благополучной общей экологической обстановке. Однако по ряду случаев фиксировались превышения среднесуточных предельно допустимых концентраций (ПДК), что указывает на наличие периодов неблагоприятных условий и локальных источников повышенных выбросов. Установлено, что индекс загрязнения атмосферы (ИЗА) в городе в рассматриваемый период находился в диапазоне 3,53–5,88, что соответствует умеренному уровню загрязнения и требует дальнейшего регулярного мониторинга и анализа факторов, влияющих на качество воздушной среды.*

Ключевые слова: *атмосферный воздух, загрязнение, промышленные выбросы, диоксид серы, диоксид азота, оксид углерода, пыль, качество воздуха, город Навои.*

Adenbaev B.E., Toshturdiev N.N.

National University of Uzbekistan, Tashkent, Uzbekistan

ASSESSMENT OF THE STATE OF ATMOSPHERIC AIR POLLUTION IN THE CITY OF NAVOI

Abstract. *The article presents a comprehensive assessment of the state of atmospheric air pollution in the city of Navoi in recent years based on data from the UzHydromet monitoring network. The dynamics of major air pollutants are examined, including sulfur dioxide, nitrogen dioxide, nitrogen oxides, carbon monoxide, and suspended particulates (dust). Analysis of the monitoring results shows that the annual average concentrations of most pollutants remained below the established ambient air quality standards, indicating a relatively favorable overall environmental situation. However, in several cases, exceedances of the maximum permissible daily average concentrations (MPC) were recorded, pointing to periods of unfavorable conditions and local sources of elevated emissions. It was established that the Air Pollution Index (API) in the city ranged from 3.53 to 5.88, which corresponds to a moderate level of pollution and underscores the need for continued regular monitoring and analysis of the factors influencing air quality.*

Key words: *atmospheric air, pollution, industrial emissions, sulfur dioxide, nitrogen dioxide, carbon monoxide, dust, air quality, city of Navoi.*

Введение и постановка проблемы. Качество атмосферного воздуха является одним из ключевых факторов, определяющих экологическую ситуацию и уровень благополучия населения в городской среде. В условиях стремительного роста промышленного производства, увеличения транспортного движения, энергетики и интенсивного строительства возрастает техногенная нагрузка на атмосферу, что приводит к росту концентраций вредных веществ и формированию стойких зон загрязнения. Проблема оценки состояния атмосферного воздуха приобретает особую

актуальность для городов с развитой промышленной инфраструктурой, к числу которых относится и город Навои.

Навои – один из крупнейших промышленно-инфраструктурных центров Узбекистана, где сосредоточены предприятия металлургической, химической, энергетической и строительной отраслей. Высокая концентрация техногенных объектов, а также особенности климатических условий – низкая влажность, частые ветровые явления, высокая солнечная радиация и наличие пылевых переносов – создают предпосылки для формирования неблагоприятного состояния атмосферного воздуха. В последние годы наблюдается усиление интереса к изучению качества воздуха в городе, что обусловлено, как экологическими, так и социально-экономическими аспектами: влиянием загрязнения на здоровье населения, комфортность проживания и перспективы устойчивого развития региона [2, 3].

В связи с этим комплексная оценка состояния загрязнения атмосферного воздуха города Навои является важной научной и практической задачей. Она позволяет выявить наиболее проблемные зоны, установить основные источники выбросов, определить степень превышения нормативов качества воздуха и оценить экологические риски. Полученные результаты могут послужить основой для разработки природоохранных мероприятий, совершенствования системы мониторинга и принятия управленческих решений в сфере экологии и градостроительной политики.

Мониторингу и контролю на всей территории Навоийской области подлежат основные загрязняющие вещества: твердые частицы (пыль), диоксид серы, оксид углерода оксид и диоксид азота. В промышленных центрах определяется содержание в атмосферном воздухе ионов свинца, кадмия, цинка, меди. Ответственным за проведение мониторинга загрязнения атмосферного воздуха на территории Республики Узбекистан является Агентство гидрометеорологической службы (Узгидромет). Информация о загрязнении атмосферного воздуха на пунктах наблюдения Узгидромета отображается на официальном сайте агентства https://monitoring/meteo/uz [15].

Изученность проблемы. В мировой научной литературе накоплен значительный опыт исследований по оценке качества атмосферного воздуха, разработке методов мониторинга и моделированию процессов рассеивания загрязняющих веществ [4, 13, 14]. В Узбекистане также проводятся исследования, направленные на анализ состояния окружающей среды в индустриальных регионах [1, 9, 12]. Исследования ведутся, как органами государственного управления в сфере охраны окружающей среды, так и научно-исследовательскими институтами и вузами страны. По результатам ежегодных докладов о состоянии окружающей среды отмечается тенденция повышения уровня загрязнения воздуха в крупных промышленных центрах, особенно в городах Ташкент, Навои, Андижан, Фергана, Бухара и Нукус [7, 14].

Существенный вклад в изучение проблем атмосферного загрязнения внесли учёные таких научных учреждений и вузов, как Научно-исследовательский гидрометеорологический институт, Ташкентский государственный технический университет, Национальный университет Узбекистана, а также ряда региональных вузов, проводящих исследования источников загрязнения, его последствий для здоровья населения и методов снижения выбросов [3, 5, 9, 12]. В этих исследованиях рассматриваются вопросы влияния промышленности, автомобильного транспорта, энергетики и сельского хозяйства на качество воздуха. Особое внимание уделяется влиянию на качество атмосферного воздуха климатических условий Узбекистана, характеризующихся засушливостью и частыми ветровыми процессами, которые способствуют поднятию пылевых частиц и формированию устойчивых смоговых явлений, особенно в зимний период.

Однако для города Навои комплексные работы, объединяющие анализ многолетних данных, оценку влияния различных источников выбросов, а также

изучение природно-климатических факторов, остаются недостаточными. Это подчёркивает необходимость проведения настоящего исследования.

Цель и задачи исследования. Целью настоящей работы является определить современное состояние загрязнения атмосферного воздуха города Навои, выявить основные источники и факторы, влияющие на формирование уровней загрязняющих веществ, а также оценить степень экологической нагрузки на население и окружающую среду. Для достижения поставленной цели необходимо выполнить следующие задачи: оценить соответствие фактических концентраций загрязняющих веществ установленным гигиеническим нормативам и предельно допустимым концентрациям (ПДК), определить основные источники загрязнений; исследовать пространственную и временную динамику загрязнения воздуха.

Материалы и методы. Для проведения данного исследования были использованы данные о концентрации различных загрязняющих веществ в воздухе города Навои за период 2000-2024 годов (табл. 1). Данные были получены с помощью 3 стационарных станций мониторинга качества атмосферного воздуха, расположенных в разных районах города (рис. 1). Методическое руководство сетью осуществляет Управление мониторинга загрязнения (УМЗ) природной среды [7]. Станции подразделяются на городские («фоновые») – в жилых районах города (станция № 1), «авто» – вблизи автомагистрали с интенсивным движением транспорта (станция № 2), «промышленные» – вблизи предприятий (станция № 3).

Таблица 1

Характеристика загрязнения атмосферного воздуха города Навои за 2000-2024 годы, мг/м^3

Год	Взвешенные вещества (пыль)	Диоксид серы	Оксид углерода	Диоксид азота	Оксид азота	Озон	Аммиак
2000	0,3	0,003	2	0,06	0,04	0,039	0,07
2005	0,2	0,003	1	0,05	0,04	0,026	0,05
2010	0,1	0,002	1	0,04	0,04	0,026	0,04
2015	0,1	0,002	1	0,05	0,04	0,016	0,03
2020	0,1	0,004	2	0,05	0,06	0,013	0,05
2024	0,14	0,006	1	0,04	0,02	0,029	0,05

Источник: данные сети Узгидромета по загрязнению атмосферного воздуха.



Рис. 1. Карта расположения пунктов мониторинга загрязнения атмосферного воздуха города Навои

Источник: https://monitoring/meteo/uz

Для оценки качества атмосферного воздуха города Навои на основе данных, полученных с постов мониторинга за 2000-2024 годы, было проведено исследование, направленное на определение уровня загрязнения воздуха различными веществами, такими как пыль, диоксид серы, оксид углерода, диоксид и оксид азота, озон, аммиак.

Концентрация каждого загрязняющего вещества определялась как среднегодовое значение и как максимальное разовое значение. Для оценки соответствия полученных данных нормативным требованиям использовались предельно допустимые концентрации (ПДК), установленные для каждого загрязнителя (табл. 2). Для анализа данных применялась статистическая обработка, включающая вычисление средних и максимальных значений, а также сопоставление их с ПДК.

Таблица 2

Предельно допустимые концентрации загрязняющих веществ в атмосферном воздухе

Примесь	Значения ПДК, мг/м^3		
	максимально-разовая ($ПДК_{м.р.}$)	среднесуточная ($ПДК_{с.с.}$)	среднегодовая ($ПДК_{с.г.}$)
Основные загрязняющие вещества			
Диоксид серы	0,5	0,05	-
Оксид углерода	5	3	3
Диоксид азота	0,085	0,06	0,04
Оксид азота	0,6	0,25	0,06
Взвешенные вещества	0,5	0,15	0,075
Специфические загрязняющие вещества			
Аммиак	0,2	0,10	0,04
Озон	0,16	0,10	0,03
Фенол	0,01	0,006	0,003
Формальдегид	0,035	0,01	0,003
Мелкодисперсные частицы			
PM2,5	-	60 мкг/м^3	35 мкг/м^3
PM10	500 мкг/м^3	300 мкг/м^3	50 мкг/м^3

Источник: https://monitoring/meteo/uz

Результаты и их обсуждение. К ключевым источникам загрязнения воздуха города Навои относятся Навоийский горно-металлургический комбинат, цементные заводы, химические предприятия и автотранспорт.

Загрязнение атмосферного воздуха оксидами азота. Оксиды азота (NO и NO_2) относятся к числу наиболее распространённых и опасных загрязнителей атмосферного воздуха. Город Навои, являясь крупным промышленным центром, испытывает значительную нагрузку со стороны выбросов загрязняющих веществ, включая оксиды азота, которые относятся к ключевым показателям загрязнения воздуха. Основные источники выбросов NO_x в данном городе – это крупные промышленные объекты (энергетические установки, производственные предприятия), транспортные средства, особенно автомобили с бензиновыми и дизельными двигателями.

В воздухе оксид азота (NO) трансформируется в диоксид азота (NO_2). Средняя годовая концентрация оксидов азота в атмосферном воздухе за рассматриваемый период изменялась от 0,02 до 0,06 мг/м^3. Содержание диоксида азота превышало ПДК в 1,25 – 1,5 раза (рис. 2).

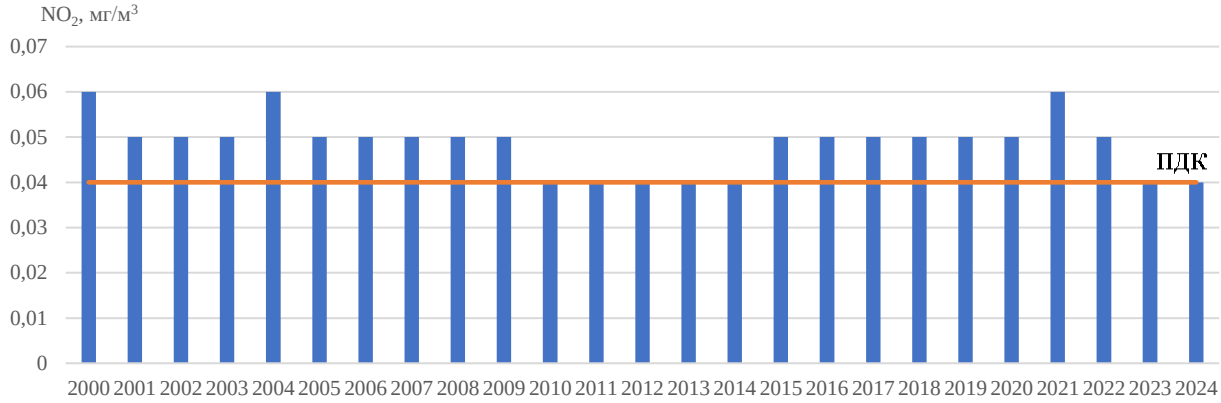


Рис. 2. Среднегодовое содержание диоксида азота в атмосферном воздухе за 2000-2024 годы

Рисунок составлен авторами по данным Узгидромета.

Загрязнение атмосферного воздуха диоксидом серы. Диоксид серы (SO_2) – один из ключевых загрязнителей воздуха, возникающий преимущественно при сжигании серосодержащих видов топлива (мазут, уголь, топочный мазут), при работе промышленных печей, химических производств, металлургических процессов, а также при переработке сульфидных руд. В городах с развитой промышленностью, таких как Навои, его содержание в воздухе может быть важным индикатором экологической нагрузки. Среднегодовая концентрация диоксида серы в атмосферном воздухе за рассматриваемый период была в пределах от 0,002 до 0,006 мг/м^3, а средняя многолетняя составила 0,003 мг/м^3 (рис. 3).

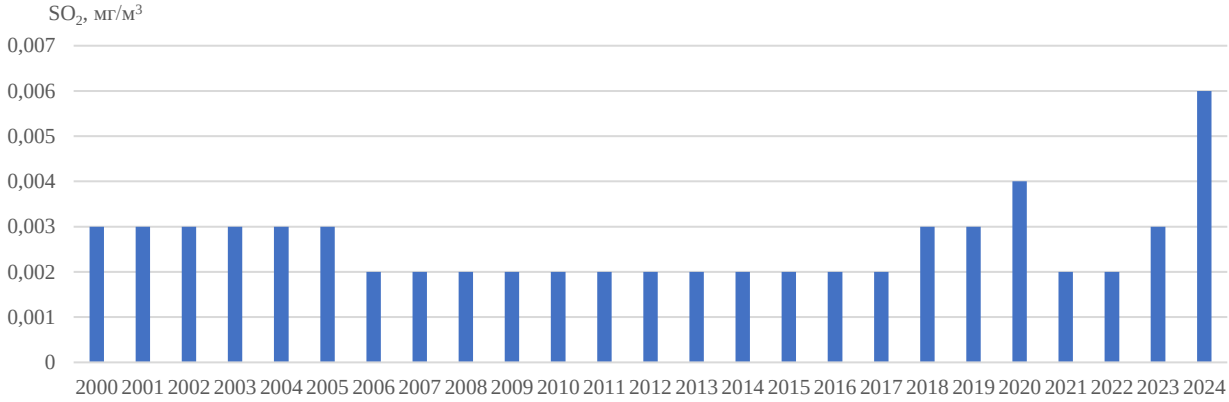


Рис. 3. Среднегодовое содержание диоксида серы в атмосферном воздухе за 2000-2024 годы

Рисунок составлен авторами по данным Узгидромета.

Загрязнение атмосферного воздуха оксидом углерода. Оксид углерода поступает в атмосферу от промышленных предприятий в результате неполного сгорания топлива. Оксид углерода в больших количествах содержится в выбросах предприятий металлургии и нефтехимии. Главным источником оксида углерода является автомобильный транспорт.

Концентрация оксида углерода в атмосферном воздухе наблюдалась в пределах от 1 до 2 мг/м^3, средняя многолетняя величина при этом составила 1,24 мг/м^3, что составляет 0,66 от ПДК. Превышение концентрации оксида углерода в атмосферном воздухе от ПДК pf рассматриваемый период не зафиксировано.

Загрязнение атмосферного воздуха твердыми взвешенными веществами. Согласно ежегодным отчётам, подготовленным на основе наблюдений, проводимых Гидрометеорологической службой Республики Узбекистан, город Навои как промышленный центр постоянно выделяется высоким уровнем концентрации пыли [7]. Результаты круглосуточных наблюдений за превышением гигиенических норм содержания пылевых частиц в атмосферном воздухе города Навои за период 2018–2022 годов по данным Узгидромета в помесячном разрезе приведены в таблице 3.

Анализ показывает, что в указанные годы увеличение количества пылевых частиц носило сезонный и межгодовой характер, что тесно связано с природно-географическими, климатическими и антропогенными факторами. Согласно изученным данным, случаи превышения нормы содержания пыли в воздухе наиболее часто фиксировались весной (март-май) и летом (июнь-август) каждого года. Например, в июле 2019 года такие превышения наблюдались 14 раз, а в августе – 16 раз, что является самым высоким уровнем загрязнения за анализируемый пятилетний период [10].

Таблица 3

Количество случаев превышения нормативного содержания пылевых частиц в атмосферном воздухе города Навои в течение месяца (по результатам круглосуточных наблюдений) за 2018–2022 годы

Месяц	2018	2019	2020	2021	2022
Январь	4	3	2	3	3
Февраль	6	5	6	6	1
Март	5	2	2	4	1
Апрель	6	3	9	10	10
Май	5	4	5	3	9
Июнь	7	4	6	6	7
Июль	11	14	5	10	10
Август	6	16	5	7	10
Сентябрь	9	12	7	5	10
Октябрь	7	11	4	5	6
Ноябрь	3	8	6	8	7
Декабрь	-	4	1	1	1

Таблица составлена авторами по данным Узгидромета.

При объяснении данных явлений следует отметить несколько факторов. Весной из-за повышения температуры воздуха, высыхания почвы и неполного формирования растительного покрова вероятность подъёма в атмосферу большого количества пыли под воздействием ветра значительно возрастает. Летом, особенно в июле и августе, резкое снижение количества осадков, высокие температуры воздуха, а также усиление промышленной и транспортной активности способствуют более длительному сохранению пылевых частиц в воздухе. Зимой (в декабре, январе и феврале) показатели загрязнения относительно стабильны. В декабре в период с 2018 по 2022 год случаи превышения нормативов практически не наблюдались, что объясняется повышенной влажностью воздуха, промерзанием почвы и снижением ветровой активности.

В годовом разрезе наибольшее количество случаев превышения содержания пылевых частиц в воздухе отмечено в 2019 году, который выделяется как год с самым высоким уровнем запылённости.

Загрязнение атмосферного воздуха озоном. Озон образуется в результате фотохимических реакций между оксидами азота (NO_x) и летучими органическими соединениями (ЛОС) под действием солнечного излучения.

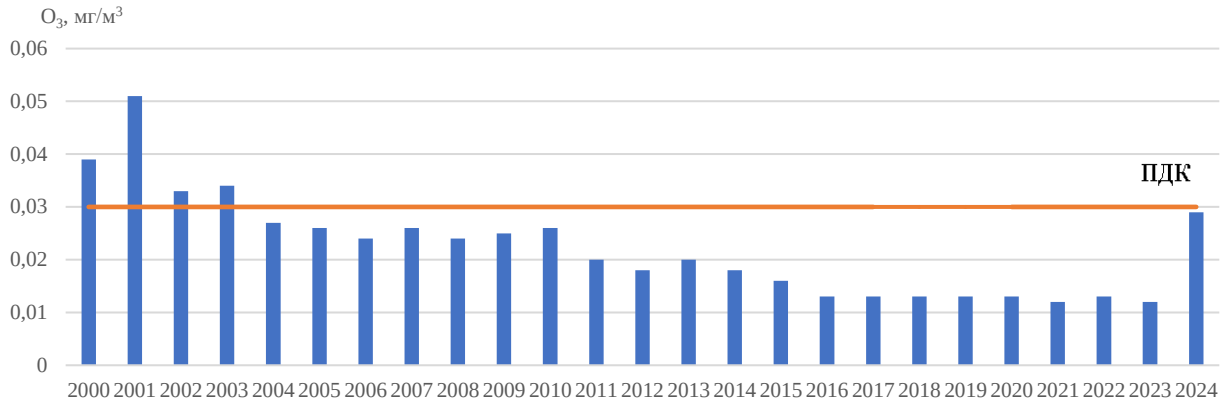


Рис. 4. Среднегодовое содержание диоксида серы в атмосферном воздухе за 2000-2024 годы

Рисунок составлен авторами по данным Узгидромета.

В отличие от стратосферного озона, который образует озоновый слой и защищает Землю от ультрафиолетового излучения, приземный озон является вредным загрязнителем. Его концентрация обычно повышается в тёплое и солнечное время года, особенно в городах с интенсивным движением транспорта.

Содержание озона в городе Навои наблюдалось в пределах от 0,012 до 0,051 мг/м^3. Однако, некоторые годы среднегодовое содержание озона в атмосферном воздухе превышало в 1,7 раза ПДК (рис. 4).

Загрязнение атмосферного воздуха аммиаком. Аммиак в атмосферу поступает, как из природных, так и из антропогенных источников. В городе Навои основным источником загрязнения атмосферного воздуха аммиаком является химическая промышленность. Среднегодовое содержание аммиака в городе Навои наблюдалось в пределах от 0,02 до 0,09 мг/м^3. В период с 2000 до 2009 годы содержание аммиака превышало ПДК от 1,25 раза (2009 г.) до 2,25 раза (2003 г.) (рис. 5).

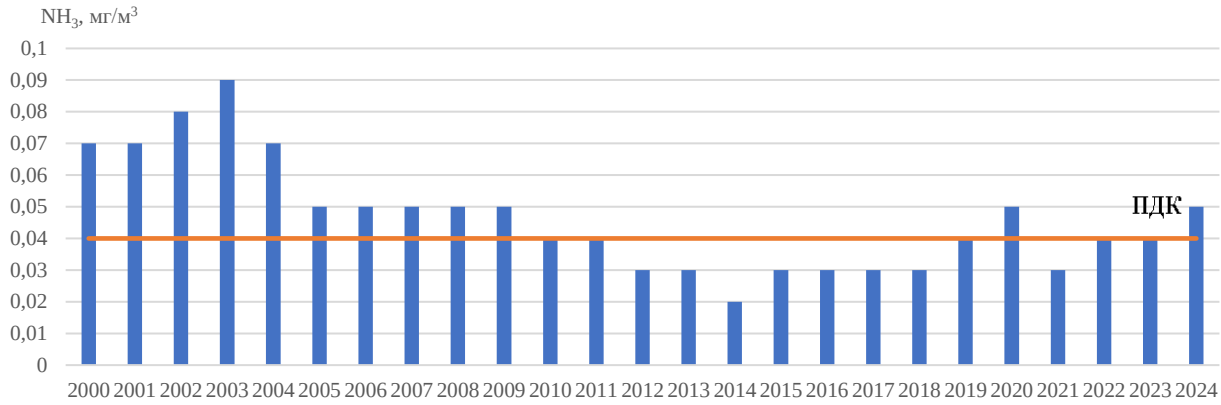


Рис. 5. Среднегодовое содержание аммиака в атмосферном воздухе за 2000-2024 годы

Рисунок составлен авторами по данным Узгидромета.

Индекс загрязнения атмосферного воздуха. Для комплексной оценки состояния атмосферного воздуха применяется индекс загрязнения атмосферного воздуха (ИЗА), который рассчитывается на основе концентраций основных загрязнителей. ИЗА расчитывается по следующей формуле:

$$ИЗА_i=\sum(q_{ср}/ПДК_{сс})^{Ci}$$

где: i – примесь; ci – константа, принимающая значения 1,7; 1,3; 1,0; 0,9 для соответственно классов опасности веществ 1,2,3,4 и учитывающая степень вредности i-ой примеси к вредности SO_2; qcp – среднее арифметическое значение среднесуточных концентраций, измеренных в течение года; ПДКсс – значение допустимой среднесуточной концентрации вредного вещества.

Уровень загрязнения воздуха считается низким – при ИЗА менее 5, повышенным – при ИЗА от 5 до 7, высоким – при ИЗА от 7 до 14, очень высоким – при ИЗА от выше 14 [8]. По данным мониторинга Узгидромета, в 2000-2024 гг. в городе Навои значение индекса загрязнения атмосферного воздуха колебалось от 3,53 до 5,88, сохранялась стабильная ситуация по загрязнению атмосферного воздуха (табл. 4). В целом, уровень загрязнения атмосферного воздуха был в пределах нормы.

Таблица 4

Значение индекса загрязнения атмосферы (ИЗА) города Навои

Год	ИЗА	Год	ИЗА
2000	5,88	2015	3,53
2005	4,37	2020	4,60
2010	3,87	2024	3,88

Таблица рассчитана авторами по данным Узгидромета.

Выводы. Результаты мониторингового анализа, проведенного за последние 25 лет, показывают следующее. Наиболее проблемными загрязнителями атмосферного воздуха города Навои, с периодическим превышением ПДК, являются диоксид азота, озон и аммиак. Другие показатели (содержание диоксида серы, оксида углерода, пыли) находятся ниже ПДК, превышения носят сезонный характер. Индекс загрязнения воздуха подтверждает, что город в целом сохраняет удовлетворительное качество воздуха, несмотря на локальные превышения отдельных загрязнителей.

Использованная литература:

1. Арипов А.А., Каримов Ф.Х. Экологические проблемы воздушного бассейна Узбекистана и пути их решения. Ташкент: Фан, 2021. 215 с.

2. Жураев Ш.Ж., Абдухаликова Д. Загрязнение атмосферного воздуха городов Узбекистана и его влияние на здоровье населения // Экология и охрана окружающей среды. 2022. № 4. С. 34-41.

3. Каримов И.А., Нишонов Б.Э., Гранкина Л.Н., Плоцен М.А. Загрязнение атмосферного воздуха в Узбекистане в 2022 году // Гидрометеорология и мониторинг окружающей среды. 2023. № 1. С. 91-97.

4. Крюкова С.В. Контроль загрязнения природной среды: анализ данных загрязнения. Лабораторный практикум. Санкт-Петербург: РГГМУ, 2015. 46 с.

5. Маматкулов Н.Т., Мухамедова Д.А. Анализ динамики загрязнения атмосферного воздуха в промышленно развитых регионах Узбекистана // Вестник ТГТУ. 2023. № 2. С. 52-60.

6. Национальный доклад о состоянии окружающей среды. Узбекистан. Ташкент, 2023. 137 с.

7. Обзор состояния загрязнения атмосферного воздуха в городах Республики Узбекистан на территории деятельности Узгидромета за 2022 г. Ташкент, 2023. 155 с.

8. СанПИН РУз №0293-11. Гигиенические нормативы перечень предельно допустимых концентраций (ПДК) загрязняющих веществ в атмосферном воздухе населенных мест на территории Республики Узбекистан. Ташкент, 2011. 21 с.

9. Убайдуллаева З.М., Нишонов Б.Э. Изучение радиоактивного загрязнения атмосферного воздуха в Республике Узбекистан // Гидрометеорология и мониторинг окружающей среды. 2023. №1. С. 74-82. (На узб. яз.)

10. Тоштурдиев Н.Н. Наблюдения за пылевыми частицами в атмосферном воздухе города Навои в 2018–2022 годах и их анализ // Вестник Хорезмской Академии Мамуна. 2025. №8/1 (129). С. 68-71. (На узб. яз.)

11. Toshturdiyev N.N. (2025), Air pollution and its analysis in Navoi city during 2020–2021, *Journal of multidisciplinary sciences and innovations*, vol. 4, issue 5, pp. 794-798.

12. Salomova F. I., Rakhimov B. B., Jalolov N. N., Sultonov E. Y., Oblakulov A. G. (2023), Atmospheric air of the city of navoi: quality assessment, *British Journal of Global Ecology and Sustainable Development*, vol. 15, pp. 121-125.

13. Meiru Chen, Jun Liu, Biwu Chu, Di Zhao and others (2025), Research on the influencing factors of PM2.5 in China at different spatial scales based on machine learning algorithm, *Environment International*, vol. 200, June, 109536

14. *World Health Organization. Ambient air pollution: Health impacts*, WHO, 2021.

15. https://monitoring/meteo/uz. Официальный веб-сайт Агенства гидрометеорологической службы Республики Узбекистан.

References:

1. Aripov A.A., Karimov F.Kh. (2021), *Environmental Problems of the Air Basin of Uzbekistan and Ways to Solve Them*, Tashkent, 215 p. (In Russ.).

2. Juraev Sh.J., Abdukhalikova D. (2022), Air Pollution in Cities of Uzbekistan and Its Impact on Public Health, *Ecology and Environmental Protection*, vol. 4, pp. 34-41. (In Russ.).

3. Karimov I.A., Nishonov B.E., Grankina L.N., Plotsen M.A. (2023), Atmospheric Air Pollution in Uzbekistan in 2022, *Hydrometeorology and Environmental Monitoring*, vol. 1, pp. 91-97. (In Russ.).

4. Kryukova S.V. (2015), *Environmental Pollution Control: Pollution Data Analysis. Laboratory Workshop*, St. Petersburg, 46 p. (In Russ.).

5. Mamatkulov N.T., Mukhamedova D.A. (2023), Analysis of Air Pollution Dynamics in Industrial Regions of Uzbekistan, *Bulletin of TSTU*, vol. 2, pp. 52-60. (In Russ.).

6. *National Environmental Report: Uzbekistan* (2023), Tashkent, 137 p. (In Russ.).

7. *Review of the State of Atmospheric Air Pollution in Cities of the Republic of Uzbekistan within the Activity Area of Uzhydromet for 2022* (2023), Tashkent, 155 p. (In Russ.).

8. *SanPiN RUz No. 0293-11. Hygienic Norms: List of Maximum Permissible Concentrations (MPC) of Pollutants in the Atmospheric Air of Settlements in the Republic of Uzbekistan* (2011), Tashkent, 21 p. (In Russ.).

9. Ubaydullaeva Z.M., Nishonov B.E.(2023), Study of Radioactive Pollution of Atmospheric Air in the Republic of Uzbekistan, *Hydrometeorology and Environment*, vol. 1, pp. 74-82. (In Uzbek).

10. Toshturdiev N.N. (2025), Observations and Analysis of Dust Particles in the Atmospheric Air of Navoi City in 2018–2022, *Bulletin of the Khorezm Ma'mun Academy*, vol. 8/1 (129), pp. 68-71. (In Uzbek).

11. Toshturdiyev N.N. (2025), Air pollution and its analysis in Navoi city during 2020–2021, *Journal of multidisciplinary sciences and innovations*, vol. 4, issue 5, pp. 794-798.

12. Salomova F. I., Rakhimov B. B., Jalolov N. N., Sultonov E. Y., Oblakulov A. G. (2023), Atmospheric air of the city of navoi: quality assessment, *British Journal of Global Ecology and Sustainable Development*, vol. 15, pp. 121-125.

13. Meiru Chen, Jun Liu, Biwu Chu, Di Zhao and others (2025), Research on the influencing factors of PM2.5 in China at different spatial scales based on machine learning algorithm, *Environment International*, vol. 200, June, 109536

14. *World Health Organization. Ambient air pollution: Health impacts*, WHO, 2021.

15. https://monitoring/meteo/uz. Official website of the Agency of Hydrometeorological Service of the Republic of Uzbekistan.

Сведения об авторах:

Аденбаев Бахтиёр Ембергенович – Национальный университет Узбекистана имени Мирзо Улугбека (Ташкент, Узбекистан), доктор географических наук, профессор. E-mail: bahtiyor.adenbayev@mail.ru

Хамзаева Жанат Темирбековна - – Национальный университет Узбекистана имени Мирзо Улугбека (Ташкент, Узбекистан), старший преподователь E-mail: xamzayeva.j@mail.ru

Тоштурдиев Нурбек Нурали ули – Национальный университет Узбекистана имени Мирзо Улугбека (Ташкент, Узбекистан), студент 4-курса бакалавриата. E-mail: nurbektoshturdiyev86@gmail.com

Information about the authors:

Bakhtiyor Adenbaev – National University of Uzbekistan named after Mirzo Ulugbek (Tashkent, Uzbekistan), Doctor of Geographical Sciences, Professor. E-mail: bahtiyor.adenbayev@mail.ru

Khamzaeva Zhanat Temirbekovna - National University of Uzbekistan named after Mirzo Ulugbek (Tashkent, Uzbekistan), senior lecturer E-mail: xamzayeva.j@mail.ru

Nurbek Toshturdiev – National University of Uzbekistan named after Mirzo Ulugbek (Tashkent, Uzbekistan), 4th-year student. E-mail: nurbektoshturdiyev86@gmail.com

Для цитирования:

Аденбаев Б.Е., Хамзаева Ж.Т., Тоштурдиев Н.Н. Оценка состояния загрязнения атмосферного воздуха в городе Навои // Центральноазиатский журнал географических исследований. 2025. № 3-4. С. 14-23.

For citation:

Adenbaev B.E**.,** Khamzaeva J.T., Toshturdiev N.N. (2025), Assessment of the atmospheric air pollution state in the city of Navoi, *Central Asian journal of the geographical researches*, No. 3-4, pp. 14-23. (In Russ.)

ЭКОНОМИЧЕСКАЯ И СОЦИАЛЬНАЯ ГЕОГРАФИЯ

ECONOMIC AND SOCIAL GEOGRAPHY

УДК: 911.3:32 https://doi.org/10.5281/zenodo.18033006

Тошпулатов А.М.[1], Жумаханов Ш.З.[2], Ан Ё.-Чж.[3]

[1] Андижанский государственный университет, Андижан, Узбекистан
[2] Наманганский государственный университет, Наманган, Узбекистан
[3] Чоннамский национальный университет, Кванджу, Республика Корея

ОПЫТ ИССЛЕДОВАНИЯ СОЦИАЛЬНО-ЭКОНОМИЧЕСКОГО РАЗВИТИЯ СОХСКОГО ЭКСКЛАВА УЗБЕКИСТАНА СОЦИОЛОГИЧЕСКИМИ МЕТОДАМИ

Аннотация. *В данной статье на примере Сохского района Ферганской области Республики Узбекистан с использованием социологического метода исследования выявлены факторы, влияющие на специфические процессы и проблемы социально-экономического развития эксклавных территорий. В ходе проведённого в эксклаве изучения общественного мнения выявлено значение естественно-ресурсных, социально-экономических и политико-географических факторов, влияющих на ситуацию в эксклаве, а также отношение местных жителей к социально-экономическим и политическим преобразованиям последних лет, направленных на изменение положения дел в Сохском районе Ферганской области. На основе полученных выводов разработаны предложения и рекомендации, направленные на обеспечение устойчивого развития Сохского эксклава, включая углубление связей с основной частью территории Узбекистана, расширение трансграничного сотрудничества с Кыргызской Республикой, стимулирование экономической активности местного населения, а также внедрение в систему государственного управления стратегического и территориального планирования.*

Ключевые слова: *эксклав, социологический опрос, респондент, инфраструктура, интеграция, трансграничное сотрудничество.*

Toshpulatov A.M.[1], Jumakhanov Sh.Z.[2], Ahn Y.-J.[3]

[1] Andijan State University, Andijan, Uzbekistan
[2] Namangan State University, Namangan, Uzbekistan
[3] Chonnam National University, Gwangju, Republic of Korea

THE EXPERIENCE OF A SOCIOLOGICAL STUDY ON THE SOCIO-ECONOMIC DEVELOPMENT OF THE SOKH EXCLAVE OF UZBEKISTAN

Abstract. *In this article, using the example of the Sokh district of the Fergana region of the Republic of Uzbekistan and the sociological research method, the factors influencing the specific processes and problems of the socio-economic development of exclave territories were identified. In the course of the public opinion study conducted in the exclave, the significance of natural resource, socio-economic and political-geographical factors influencing the situation in the exclave, as well as the attitude of local residents to the socio-economic and political transformations of recent years aimed at changing the situation in the Sokh district of the Fergana region were revealed. Based on the findings, proposals and recommendations were developed to ensure the sustainable development of the Sokh exclave, including deepening ties with the main part of the territory of Uzbekistan, expanding cross-border cooperation with the Kyrgyz Republic, stimulating the economic activity of the local population, as well as introducing strategic and territorial planning into the public administration system.*

Key words: *exclave, sociological survey, respondent, infrastructure, integration, cross-border cooperation.*

Введение и постановка проблемы. Крупнейший в мире полный эксклав – Сох – является отдельной административно-территориальной единицей (сельским районом) Ферганской области Узбекистана, полностью окружённой при этом территорией Кыргызской Республики. Сохский эксклав в силу транспортно-логистических ограничений, проблем совместного использования ресурсов и сложности процессов этнической социализации выполняет функцию индикационного района для оценки региональной геополитической стабильности. В данной статье представлен комплексный анализ факторов, влияющих на социально-экономическое развитие Сохского эксклава, его геоэкономической значимости и места в контексте приграничной дипломатии в Ферганской долине.

Сох представляет собой предгорно-горную территорию в южной части Ферганской долины (рис 1). Административно он является районом Ферганской области Узбекистана, окружённым территорией Баткенского и Кадамжайского районов Баткенской области Кыргызской Республики [11]. Соответственно, для Узбекистана Сох является эксклавом, а для Кыргызстана – анклавом [9].

Очевидно, что столь крупный эксклав, будучи отделённым от основной территории государства, требует постоянного изучения социально-экономических проблем, существующих на его территории. Анализ, представленный в статье, основан на материалах исследования, проведённого в августе 2024 года.

В данной статье на примере Сохского эксклава для оценки реального состояния развития анклавных территорий был использован метод анкетирования. Данный метод позволяет установить непосредственную связь с участниками исследуемого социально-экономического процесса [20]. По завершении исследования мнения респондентов были обработаны, обобщены, и на их основе сформулированы определённые выводы.

Как отмечается в научной литературе, социологический метод для изучения социально-экономической ситуации на определённой территории, как правило, применяется в двух основных случаях [19]. Во-первых, когда по изучаемому явлению или процессу недостаточно эмпирических данных и имеется необходимость углубить и уточнить уже имеющиеся результаты. Во-вторых, когда требуется выявить причинные факторы социальных явлений, определить этапы их развития и перспективы, исследуя взгляды, оценки и отношения определённых слоёв населения (респондентов) [7].

Изученность проблемы. Эксклавное положение Соха, его сложная социально-политическая ситуация и изоляция на протяжении долгого времени привлекают внимание многих исследователей. Каждый из них рассматривал территорию Соха в рамках собственной методологической установки и научной парадигмы, акцентируя внимание на отдельных аспектах проблемы.

Академик В.В. Бартольд, глубоко и всесторонне исследовавший историю Центральной Азии, социально-экономическую жизнь, культуру и историческое развитие народов региона, в своих трудах, посвящённых истории Туркестана, уделил внимание и географическому положению Сохской долины и расположенным вокруг неё населённым пунктам [4; С. 214, 217, 224]. Опираясь на труды арабских учёных – Истахри и Ибн Хаукаля, он приводит исторические упоминания о существовании угольных месторождений на территории Соха. Бартольд подчёркивает, что Сохская долина располагалась на древнем и стратегически важном торговом пути, соединявшем Ош и Худжанд, и уже в средние века имела существенное геоэкономическое и геостратегическое значение, что им было научно обосновано.

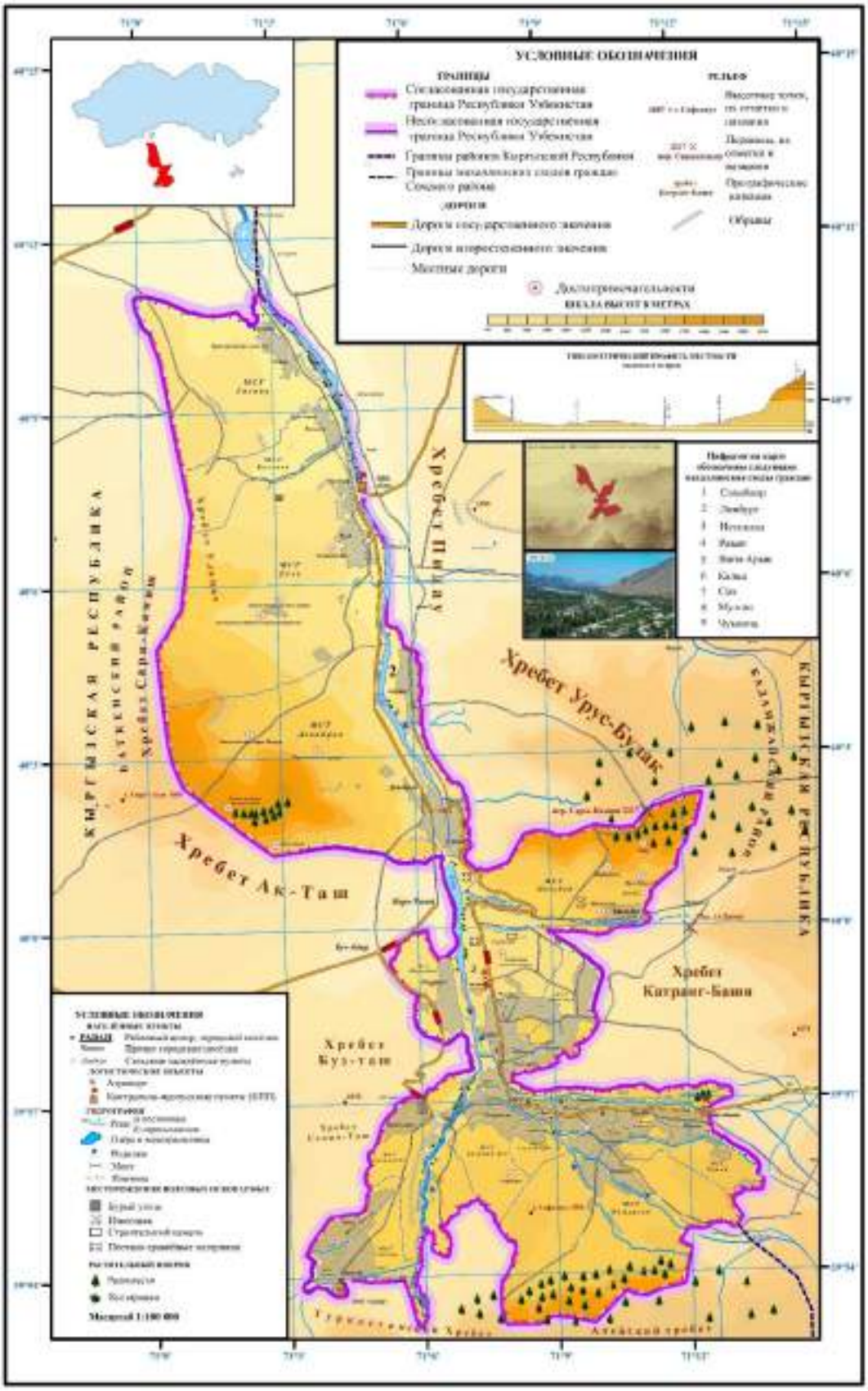


Рис. 1. Физическая карта Сохского района

Карта составлена авторами.

История Соха подробно освещена в трудах археологов. В частности, академик У.И. Исламов в результате археологических исследований, проведённых в Сохской долине, в особенности в пещере Сельунгур, подтвердил, что данная территория является одним из древнейших очагов человеческой деятельности в Центральной Азии [13]. На основании выявленных археологических слоёв установлено, что долина, начиная с палеолита, постепенно превращалась в антропогенный ландшафт, а природно-географические условия создавали благоприятную среду для постоянного проживания и ведения хозяйственной деятельности. Это позволяет рассматривать Сохскую долину не только как регион современного геополитического значения, но и как древний географический ареал, имеющий глубокие исторические корни. В исследованиях М.Х. Пардаева анализируются процессы освоения бассейна реки Сох, формирование и постепенное развитие антропогенных ландшафтов на данной территории, а также историческая динамика урбанизационных процессов [15]. На основании археологических слоёв доказано существование в Сохской долине древних поселений, становление хозяйственной деятельности и формирование устойчивых мест обитания населения.

Значительные исследования были проведены и в области экономического развития территории, где расположен Сох. В частности, М. Валиханов, изучая экономико-географическую характеристику Сохской долины, в 1963 году защитил кандидатскую диссертацию по данной теме [5]. В ней рассмотрены не только хозяйственные отрасли Сохского эксклава, но и всего бассейна реки Сох.

Российский экономист Е.Ю. Винокуров охарактеризовал Сохский эксклав как один из крупнейших полных анклавов в мире [6]. В своих исследованиях он подчёркивает, что социально-экономическое развитие этой территории, где проживает около 80 тысяч человек, полностью зависит от интеграционных связей между основной территорией и окружающим государством. Кроме того, Винокуров при анализе подобных анклавов акцентирует внимание на модели «векторных отношений», отмечая важность согласованности политических и экономических направлений в двусторонних отношениях.

История формирования анклавных территорий в Центральной Азии получила всестороннее освещение в трудах исследователей из стран региона. В частности, исследования кыргызского географа С. Аламанова посвящены анализу возникновения анклавных территорий и связанных с ними пограничных проблем [1]. В своих работах он, опираясь на исторические документы, раскрывает процесс формирования Сохского эксклава. Учёный связывает его возникновение с решениями Паритетных комиссий 1955 и 1963 годов, аргументированно объясняя правовой статус и геополитическое положение данной территории.

Сохский учёный-краевед У.М. Суфиев в своих исследованиях комплексно и системно осветил этапы историко-географического развития эксклава [16]. В частности, он изучал процессы перехода таджикского этноса в долине к оседлому образу жизни, древние миграции, а также вопросы социально-культурного наследия, связанного с зороастризмом и исламом.

Р.Ф. Габдулхаков отмечает Сохский эксклав как одну из наиболее сложных в геополитическом отношении территорий Ферганской долины. Он комплексно анализирует этнодемографический состав населения эксклава, его транспортную и коммуникационную изоляцию, экономические ограничения, а также проблемы, связанные с обеспечением пограничной безопасности.

Профессор политической географии Ньюкаслского университета Ник Мегоран трактует феномен разграничения как результат межгосударственных отношений, выдвигая концептуальный подход: *«Хорошие границы – это не технические линии на карте, а политическая воля».* В период 2002-2020 годов он проводил системные исследования анклавных территорий Центральной Азии, в частности Сохского эксклава,

анализируя приграничные конфликты и их социально-политические последствия [14]. В ходе полевых исследований, проведённых в 2018 году в приграничных районах Узбекистана и Кыргызстана, Мегоран подверг критическому анализу транзитные ограничения Сохского эксклава, его этническую и территориальную изоляцию, а также влияние приграничной политики на местные социальные реалии.

История формирования анклавных территорий Центральной Азии, их геополитическое положение, экономическое состояние и «векторные отношения» нашли отражение в исследованиях Ш.З. Жумаханова [9]. В частности, в его работах разных лет были проанализированы специфические особенности Сохского эксклава, дана оценка его экономическим возможностям и рассмотрены пути решения существующих проблем.

Настоящая статья посвящена анализу результатов социологического опроса, проведённого среди населения эксклава. На основе полученных эмпирических данных стало возможным проследить влияние природных условий, геополитических процессов и региональной политики на социально-экономическое развитие Сохского района, а также выработать предложения и рекомендации по стратегии дальнейшего развития эксклава.

Цель и задачи исследования. Основная цель исследования заключается в изучении отношения населения к социально-экономическим проблемам Сохского района с использованием социологического метода и в объективной оценке существующего положения на основе репрезентативных ответов.

Для реализации поставленной цели были определены следующие задачи:

– сформулировать вопросы анкеты для целей изучения общественного мнения населения о социально-экономическом развитии Сохского района;

– провести социологический опрос через специализированную платформу, собрать и обработать полученные ответы, а также выработать рекомендации относительно перспективного развития исследуемой эксклавной территории.

Материалы и методы. В процессе исследования использовались методы анкетного опроса и статистического анализа. Основные материалы по рассматриваемой проблематике основаны на результатах проведённого опроса.

В рамках исследования был организован социологический опрос с целью выявления природно-географических, социально-экономических и геополитических факторов, влияющих на социально-экономическую активность, уровень жизни населения и территориальное развитие Сохского эксклава. В анкету были включены 15 вопросов.

Прежде всего были выявлялись данные, характеризующие демографическое и социальное положение респондентов, в частности, определялись их *национальность* (1-ый вопрос), *возраст* (2-ой вопрос), *пол* (3-ий вопрос), *уровень образования* (4-ый вопрос), *профессия* (5-ый вопрос), а также *продолжительность проживания* в Сохском районе (6-ой вопрос). На этой основе был сформирован социальный портрет респондентов.

С целью оценки условий жизни населения и уровня удовлетворения социальным развитием района у респондентов выяснялось их мнение о *степени комфортности жизни в эксклава* (7-ой вопрос) и *об эффективности мер региональной политики, реализованных за последние 5 лет* (8-ой вопрос). Кроме того, *были собраны данные об основных источниках дохода* (9-ый вопрос) и *среднемесячном размере дохода* (10-ый вопрос).

В целях оценки взаимосвязи между природной средой и хозяйственной деятельностью участникам опроса было предложено высказать мнение о *природных факторах, негативно влияющих на трудовую деятельность и доходы местного населения* (11-ый вопрос). Одновременно были изучены ответы респондентов относительно *социально-экономических факторов, влияющих на доходы населения* (12-ый вопрос), и *путей преодоления проблемы безработицы в эксклаве* (13-ый вопрос).

Для оценки геополитической стабильности Сохского эксклава были изучены мнения респондентов относительно *позитивных сдвигов в межгосударственных отношениях между Узбекистаном и Кыргызской Республикой* (14-ый вопрос).

В заключение были собраны предложения населения по приоритетным *направлениям стратегического развития Сохского района* (15-ый вопрос).

Результаты и их обсуждение. С помощью анкетирования, нацеленного на оценку социально-экономической ситуации в Сохском эксклаве, были изучены демографические характеристики, экономическая активность и уровень жизни населения района, состояние отраслей производства и инфраструктуры, геополитическая обстановка. Исследование также позволило наметить приоритетные направления перспективного развития Сохского района.

Вопросы анкеты были сформулированы с учётом национального состава населения эксклава и представлены на *узбекском* и *таджикском языках*.

В опросе приняли участие 692 респондента. При этом численно преобладали работники социальной сферы. Наибольшую часть среди респондентов в разрезе возрастных групп составили лица в возрасте 26–40 лет (47,2 %) и в возрасте 41–60 лет (30,7 %) (рис. 2).

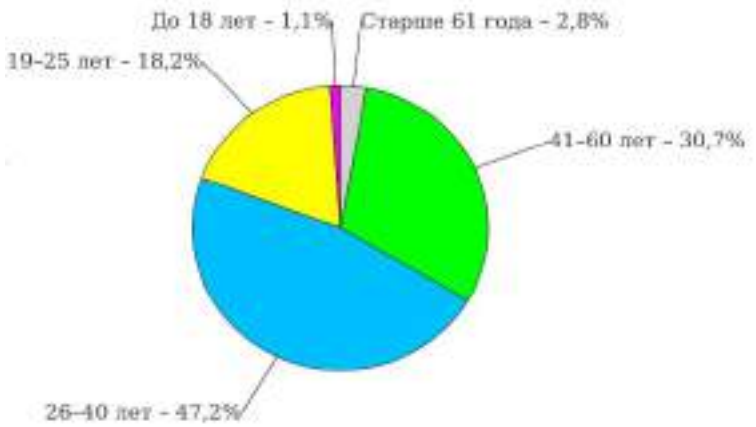


Рис. 2. Возрастная структура респондентов

Подавляющую часть респондентов составили мужчины (85,3 %). Это обусловлено тем, что опрос проводился, в основном, среди занятого населения эксклава, а женская часть местного населения под сильным влиянием традиционных религиозных и социальных норм, в основном, не работает и не участвует активно в общественной жизни [16]. С учётом этого проведение анкетирования среди женщин оказалось малосовместимым с местными обычаями, в результате чего большинство респондентов составили мужчины. Конечно, более широкое представительство женщин позволило бы получить более полные данные об особенностях, проблемах и перспективах социально-экономического развития района и результатах региональной политики.

Основную часть ***профессионального состава*** участников составили представители сферы образования (58,2%), государственных органов (13,1%) и работники здравоохранения (6,8%) (рис. 3). Мнение населения, занятого в первичном и вторичном секторах экономики, также были изучены, что способствовало повышению объективности исследования.

Сохский эксклав обладает специфическими особенностями в своей социально-экономической структуре, составе занятости и формировании источников доходов [18]. Результаты проведённого социологического опроса позволяют определить образ жизни населения данной территории и уровень его экономической активности.

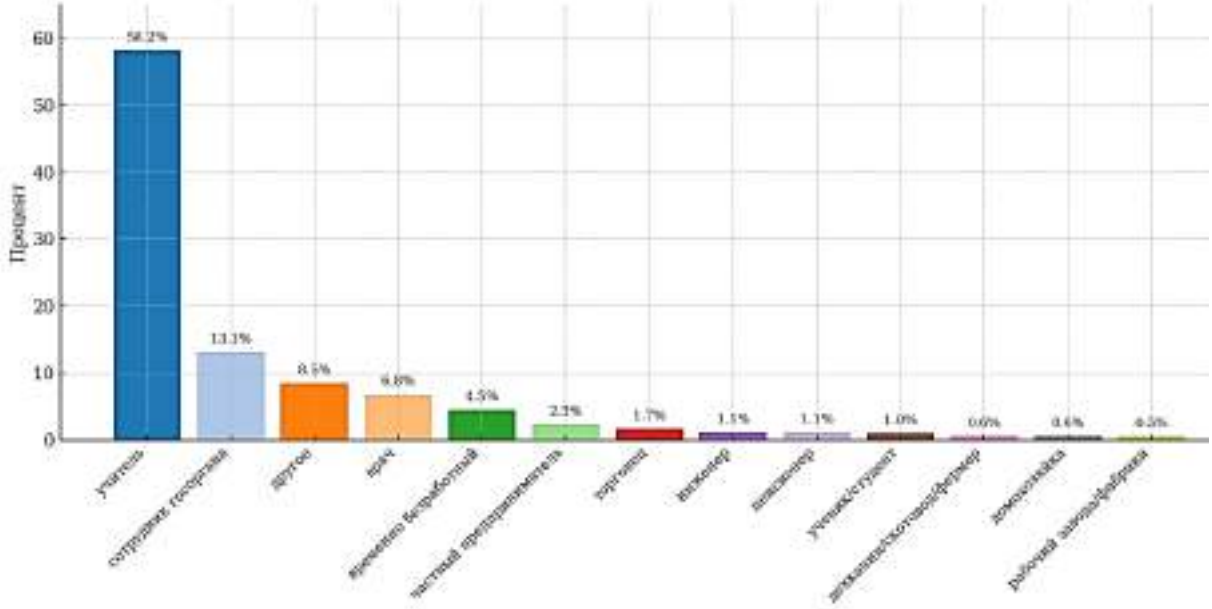


Рис. 3. Профессиональный состав респондентов

Благосостояние населения напрямую связано с его занятостью и доходами. Согласно ответам на вопрос анкеты ***«Каков Ваш источник дохода?»***, 80,8% респондентов указали заработную плату как основной источник дохода. Этот показатель, как отражено на рис. 4, напрямую связан с высокой долей населения, занятого в сферах образования и государственного управления.

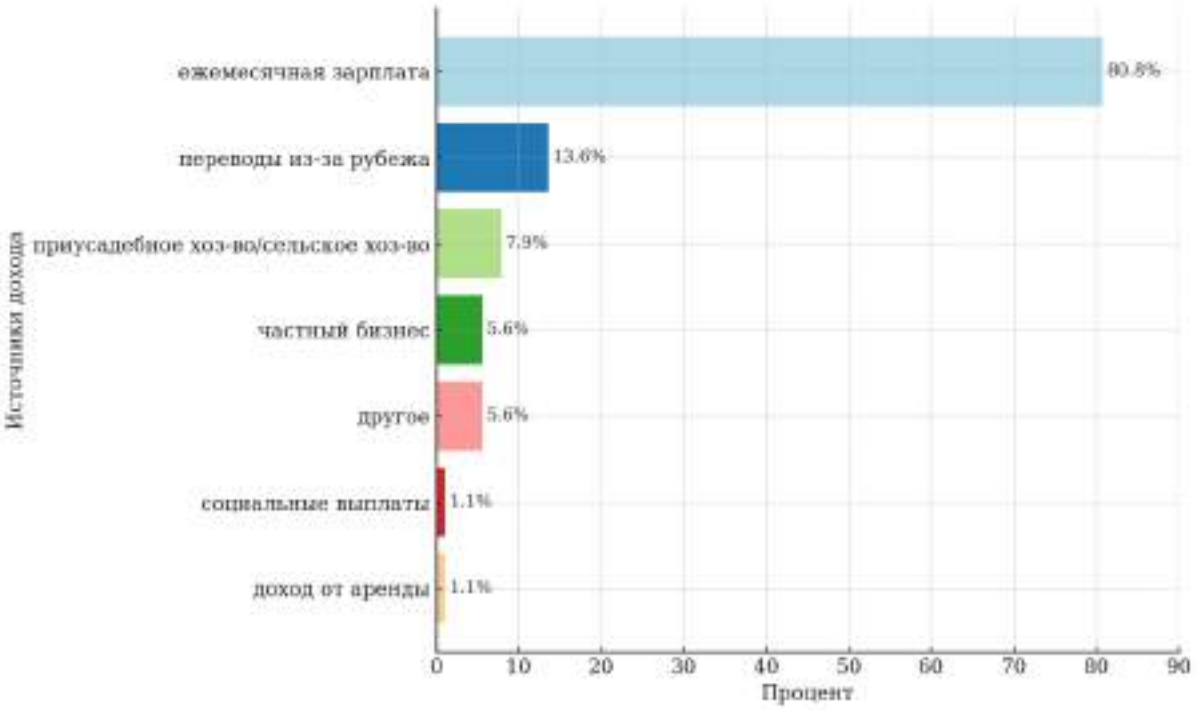


Рис. 4. Источники доходов респондентов

Данный результат свидетельствует о том, что основная часть жителей Сохского района занята в бюджетной сфере, а их доходы, в основном, обеспечиваются за счёт заработной платы, выплачиваемой государством.

Денежные переводы из-за рубежа (13,6%) выступают ещё одним важным источником доходов. Это указывает на интенсивность трудовой миграции среди

населения района. Наличие среди опрошенных временно безработных (4,5%), а также высокая доля переводов из-за рубежа в структуре доходов населения отражают ограниченность внутренних возможностей трудоустройства и зависимость от внешних факторов.

Стоит отметить, что доля указавших приусадебное хозяйство в качестве основного источника дохода очень невелико (0,6%) при том, что доля имеющих приусадебное хозяйство составляет 7,9% респондентов. Это означает, что земледелие рассматривается не как основной, а как вспомогательный источник дохода. В эксклаве ограничены ресурсы плодородных земель [2]. В Сохской долине сформировалось мелкооазисное земледелие, представленное картофелеводством, овощеводством и садоводством. В пойме реки Сох благоприятные условия для рисосеяния. Во всех природно-хозяйственных подрайонах эксклава – Газнауском, Баткенском и Раванском [18; с. 163] – развито горно-пастбищное животноводство.

Кроме того, несмотря на то, что доля получающих доход от бизнеса составляет 5,6% (рис. 4), представители соответствующего социального слоя (частные предприниматели) составляют лишь 2,3% (рис. 3). Эта ситуация свидетельствует о том, что, хотя предпринимательская активность в регионе относительно низкая, она всё же имеет определённое экономическое значение.

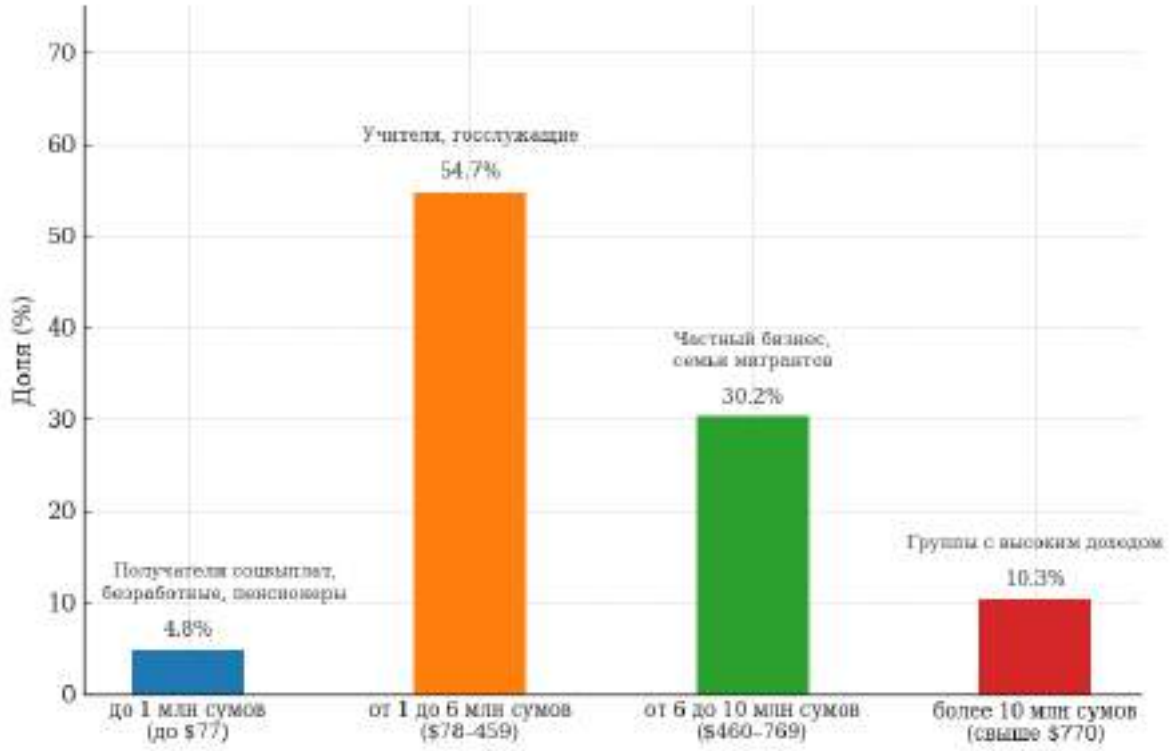


Рис. 5. Распределение респондентов по величине среднемесячного дохода

Вопрос ***«Каков Ваш средний ежемесячный доход?»*** предоставил возможность финансовой группировки респондентов. На территории анклава экономически неактивное население, живущее, в основном, за счёт социальных трансфертов, является социально уязвимым. Данная группа составила 4,8% респондентов и в основном относится к категории с наименьшим уровнем доходов – до 1 миллиона сумов. В её состав, как правило, входят получатели социальных пособий, пенсионеры, домохозяйки и временно безработные (рис. 5).

Население, получающее доход за счёт заработной платы, составляет более половины респондентов, и их ежемесячный доход в основном формируется в диапазоне

от 1 до 6 миллионов сумов. В эту группу входят учителя, врачи, сотрудники бюджетных организаций, а также другие занятые в государственном секторе. Данный показатель, с одной стороны, отражает относительную стабильность системы оплаты труда, а с другой – наглядно демонстрирует недостаточность уровня доходов по сравнению с квалификацией и объёмом выполняемой работы.

Анализ показывает, что среди участников опроса ежемесячный доход тех, кто получает средства из-за рубежа, занимается приусадебным и сельским хозяйством, а также ведёт частный бизнес, формируется в среднем в диапазоне от 6 до 10 миллионов сумов и выше. Трудовая миграция за границей является одним из важнейших факторов экономической стабильности в Сохском районе и существенно отличается от местных источников доходов.

В целом, результаты проведённого социологического опроса практически совпадают с официальными показателями доходов населения Сохского района [12]. Согласно сведениям Отдела статистики Сохского района, в 2024 году средний размер номинальной начисленной заработной платы составил 3,211 млн сумов (≈ $250). Согласно официальным статистическим данным, уровень заработной платы варьируется в зависимости от видов экономической деятельности — от 1,994 млн сумов (≈ $150, промышленность – II группа) до 15,213 млн сумов (≈ $1 170, банковская сфера; информация и связь – IV группа). Эти показатели коррелируют с диапазонами доходов, зафиксированными среди респондентов.

Данный анализ наглядно показывает необходимость диверсификации профессионального состава населения, создания новых рабочих мест и стимулирования предпринимательской активности для обеспечения устойчивого социально-экономического развития Сохского района.

Для оценки социально-экономической ситуации в эксклаве в анкете также учитывалось, как долго респонденты проживают на данной территории. В частности, было выявлено, что наибольшая часть респондентов – 94,1% – проживает в Сохе более десяти лет. Эксклавное положение и обострение геополитических отношений с окружающим государством в определённый период времени не вызвали оттока населения. Оставшиеся 5,9% участников опроса проживают в эксклаве менее десяти лет, что связано с их переселением из других регионов. В качестве примеров можно привести военнослужащих и представителей социальной сферы (прежде всего врачей и учителей), которых привлекают надбавки за работу в отдалённых районах.

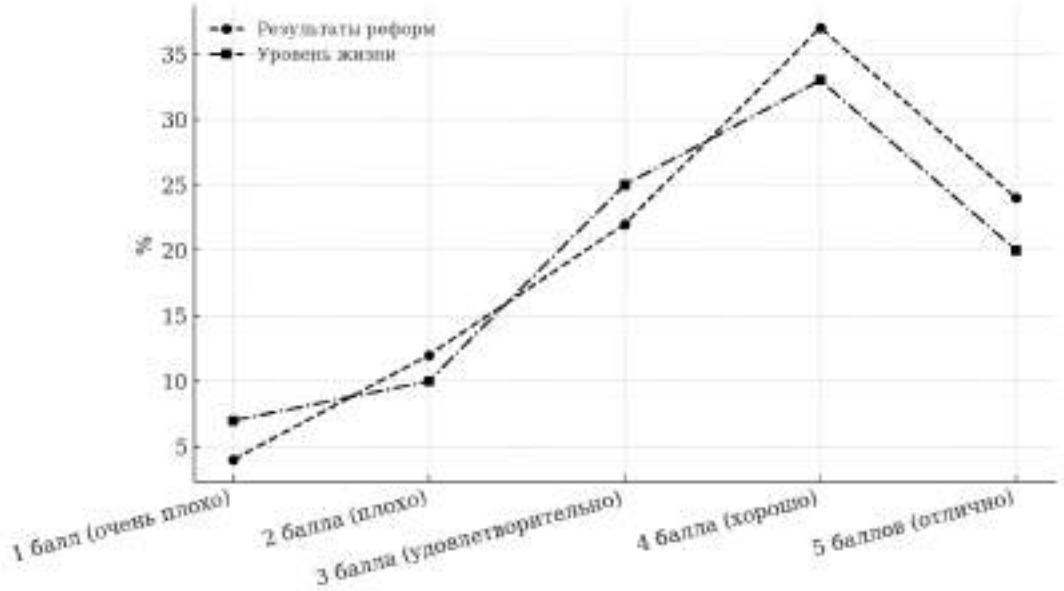


Рис. 6. Показатели отношения населения к проведённым в анклаве реформам и оценки комфортности уровня жизни

В рамках социологического опроса также было изучено отношение населения к государственной политике, направленной на улучшение жизненных условий в районе. Мнение респондентов выражалось в баллах по следующей шкале: 5 баллов (отлично), 4 балла (хорошо), 3 балла (удовлетворительно), 2 балла (плохо) и 1 балл (очень плохо). В частности, на вопрос ***«Как бы Вы оценили в баллах реформы, проведённые за последние пять лет для повышения уровня благосостояния, сокращения безработицы и увеличения занятости населения?»*** 24,4% участников поставили оценку «отлично». Большинство респондентов также отметили реформы как «хорошие» (36,9%) и «удовлетворительные» (22,2%). При этом 4% опрошенных охарактеризовали практические результаты реформ как «очень плохие» (см. рис. 6).

Следует отметить, что социально-экономические условия определённой территории формируют определённый уровень комфортности жизни населения. Уровень комфортности отражает качество инфраструктуры, доступность услуг, степень загрязнения окружающей среды, безопасность и возможности для социальной активности [10]. В социологическом опросе, проведённом среди населения эксклава, для оценки ощущения комфортности проживания была принята 5-балльная шкала. На вопрос ***«Какую оценку Вы бы поставили уровню комфортности проживания в условиях Сохского района?»*** одна пятая часть респондентов ответила «отлично», треть – «хорошо», а четверть – «удовлетворительно» (см. рис. 6). При этом существующую ситуацию как «плохую» (10,2%) и «очень плохую» (7,3%) охарактеризовало преимущественно молодое поколение.

В целом, природные условия анклава являются благоприятными для проживания. В этом отношении различия Соха с основной территорией Ферганской долины незначительны. Климат Сохской долины умеренно-континентальный, для него характерны резкие колебания температуры и атмосферного давления. Согласно данным метеостанции Сарыканда, средняя температура января составляет –6,7 °С, при этом минимальные показатели опускаются до –27 °С. Летом в Сохе наблюдается более прохладная погода по сравнению с другими районами узбекской части Ферганской долины. Однако на открытых, лишённых растительности участках в июле температура воздуха может достигать +42 °С. Эти экстремальные колебания температуры, то есть годовая амплитуда в 69 °С, оказывают заметное влияние на трудовую деятельность населения региона.

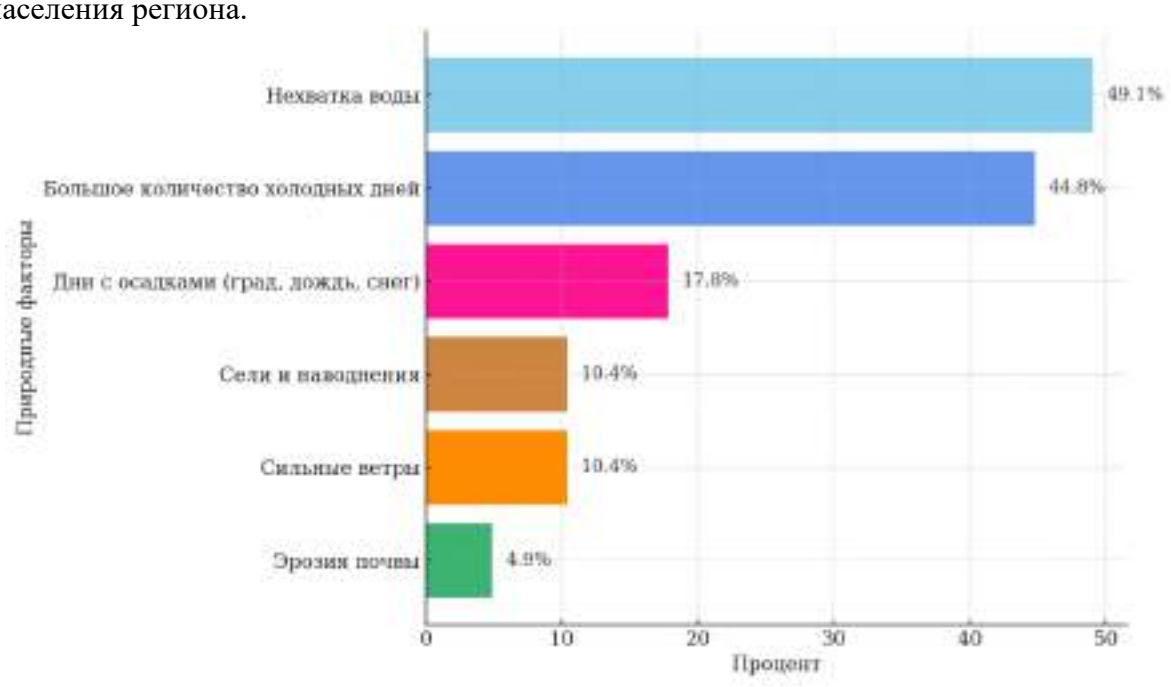


Рис. 7. Распределение ответов респондентов на вопрос об отрицательных сторонах природных условий Сохского района

При ответе на вопрос ***«Как природные условия влияют на Вашу трудовую деятельность и доходы?»*** респонденты имели возможность указать несколько вариантов ответа. Наибольшая доля ответов (49,1%) пришлась на проблему нехватки воды (см. рис. 7). Запасы подземных вод ограничены, поэтому население в основном использует поверхностные воды в сельском хозяйстве. Сезонный дефицит воды выступает основным фактором, значительно снижающим доходы. Перебои в водоснабжении негативно отражаются не только на сельском хозяйстве, но и на эффективности других видов трудовой деятельности.

Кроме того, значительное число респондентов (44,8%) в качестве негативного аспекта природных условий указала обилие холодных дней. Холодная погода в Сохе порой приводит к приостановке или существенному снижению производственной деятельности в таких отраслях, как сельское хозяйство и строительство. В результате в зимний период сокращаются рабочие места и уменьшаются доходы населения. Также 17,8% респондентов в качестве недостатков природных условий отметили интенсивные осадки (град, дождь, снег), 10,4% – сильные ветры и столько же – сели и наводнения. Количество атмосферных осадков в регионе составляет до 180 мм на равнинных территориях и до 400 мм в горах. Однако из-за резкой расчленённости рельефа и недостаточности растительного покрова значительная часть осадков быстро трансформируется в селевые потоки [3]. В таких массивах, как Девайрон, Мальбут, Демурсад, эти процессы повторяются довольно часто, что наносит материальный ущерб сельской инфраструктуре и посевным площадям.

Эрозия почв (указали 4,9% респондентов) является непосредственным следствием вышеуказанных факторов. В результате эрозионных процессов снижается плодородие земель, повреждаются мелиоративные системы. Несмотря на то, что данный показатель статистически выглядит низким, он оказывает значительное влияние на эколого-экономическую стабильность.

Более половины опрошенных (54,3%), отвечая на вопрос ***«Как Вы считаете, какие социально-экономические процессы оказывают наибольшее влияние на формирование доходов населения?»***, отметили изолированность Сохского эксклава от основной территории государства как фактор, наиболее существенно влияющий на формирование доходов. Эксклавное положение территории обусловило ограничения транспортной доступности, сложность выхода на рынок основной территории Узбекистана, что создаёт серьёзные неудобства для местного населения.

Кроме того, 39,4% респондентов указали нехватку рабочих мест и ограниченность альтернативных источников дохода в качестве одного из существенных препятствий для формирования доходов. Это особенно препятствует социальной активности молодёжи и трудоспособного населения. Из-за ограниченной производственной базы, слабого развития сферы услуг и недостаточно благоприятной предпринимательской среды экономические возможности населения сужаются. 34,3% участников опроса подчеркнули несоответствие между численностью трудоспособного населения и количеством имеющихся рабочих мест. Такая ситуация свидетельствует о наличии разрыва между спросом и предложением рабочей силы.

Среди других важных факторов, влияющих на доходы, отмечена низкая продуктивность сельского хозяйства (18,9%). Данный показатель обусловлен ограниченностью орошаемых земель в Сохе, низким плодородием почв и недостатком пастбищ. Ещё 18,3% респондентов указали на нехватку навыков в использовании современной техники и технологий как на фактор, непосредственно влияющий на формирование доходов. Наконец, 16,6% респондентов отметили другие индивидуальные факторы, среди которых семейные обстоятельства, состояние здоровья, культурные нормы или миграционная ситуация.

Отвечая на вопрос ***«Что необходимо предпринять для сокращения безработицы и повышения доходов?»***, местные жители чаще всего отмечали

необходимость создания новых рабочих мест в промышленном производстве, сфере услуг и стимулирования предпринимательской деятельности (60,8%). Такой подход, прежде всего, отражает высокую долю сторонников укрепления местной экономической базы и решения проблемы занятости населения на основе внутренних ресурсов района.

Кроме того, 39,2% респондентов отметили необходимость расширения возможностей для работы в развитых странах путём профессионального обучения, повышения качества образования и изучения иностранных языков. Такая позиция свидетельствует о том, что часть населения рассматривает выход на международный рынок труда как важный источник получения более высоких доходов. Этот подход особенно широко распространён среди молодых людей, для которых образование, профессиональные компетенции и знание языков всё чаще воспринимаются как ключевые ресурсы для формирования доходов.

31% участников опроса поддержали идею расширения занятости за счёт развития рекреации и туризма. Территория Соха богата природными и культурными ресурсами и обладает потенциалом для внутреннего и внешнего туризма. Население осознаёт эти возможности, но для их реализации недостаточно развита отраслевая инфраструктура.

27,5% респондентов обозначили расширение сотрудничества с соседними государствами в сфере трудовой миграции как основное решение. Такая позиция объясняется эксклавным положением Соха. Миграция выступает для населения Соха не только экономической, но и социальной стратегией выживания. Определённая часть жителей рассматривает миграцию как временный либо долгосрочный источник дохода и считает необходимым институциональное развитие данного направления.

В анкете ряд вопросов, как указано выше, были сформулированы в формате множественного выбора. В таких случаях каждый участник мог выбрать несколько вариантов ответа и одновременно придать приоритет более чем одному фактору. В результате сумма ответов превышает 100%. Это, разумеется, не является научной ошибкой. Однако для удобства расчётов целесообразно преобразовать данные относительные показатели в абсолютные значения. При этом предполагается, что сумма значений будет равна 100 процентам. Для этого каждый относительный процент необходимо разделить на их общую сумму и умножить на 100.

Так, среди преобразований, реализованных в результате укрепления отношений добрососедства между Узбекистаном и Кыргызстаном с целью стабилизации ситуации в Сохском районе, приоритетным оказалось открытие пограничного перехода «Риштан – Сох», что оценили 74,9% респондентов. При этом сумма процентных показателей по шести вариантам ответов составила 224,6. Следовательно:

$$П_{ап} = \frac{74{,}9\ \%}{224{,}6\ \%} \cdot 100 = 33{,}4\ \%$$

Увеличение свободы передвижения, экономических связей и возможностей социальной интеграции является одной из приоритетных потребностей населения анклава. Так, возможность пересечения границы с Кыргызстаном по внутренним документам (ID-картам) без предъявления заграничного паспорта 18,7 (42,1) % респондентов оценили как положительную меру.

Кроме того, 12,8 (28,7) % респондентов отметили обеспечение политической стабильности и безопасности в Сохском эксклаве как приоритетное направление, подчёркивая значимость укрепления безопасности в повседневной жизни населения. В непосредственной связи с этим был подписан договор об использовании воздушного пространства Кыргызской Республики, на базе которого возобновлены авиарейсы «Фергана – Сох», что отметили 12,2 (27,5) % опрошенных. Эта мера способствовала расширению региональных логистических возможностей. Следует подчеркнуть, что

население пользуется услугами местного аэропорта, построенного в 2020 году на массиве Навобод, что особенно удобно для иностранных посетителей эксклава.

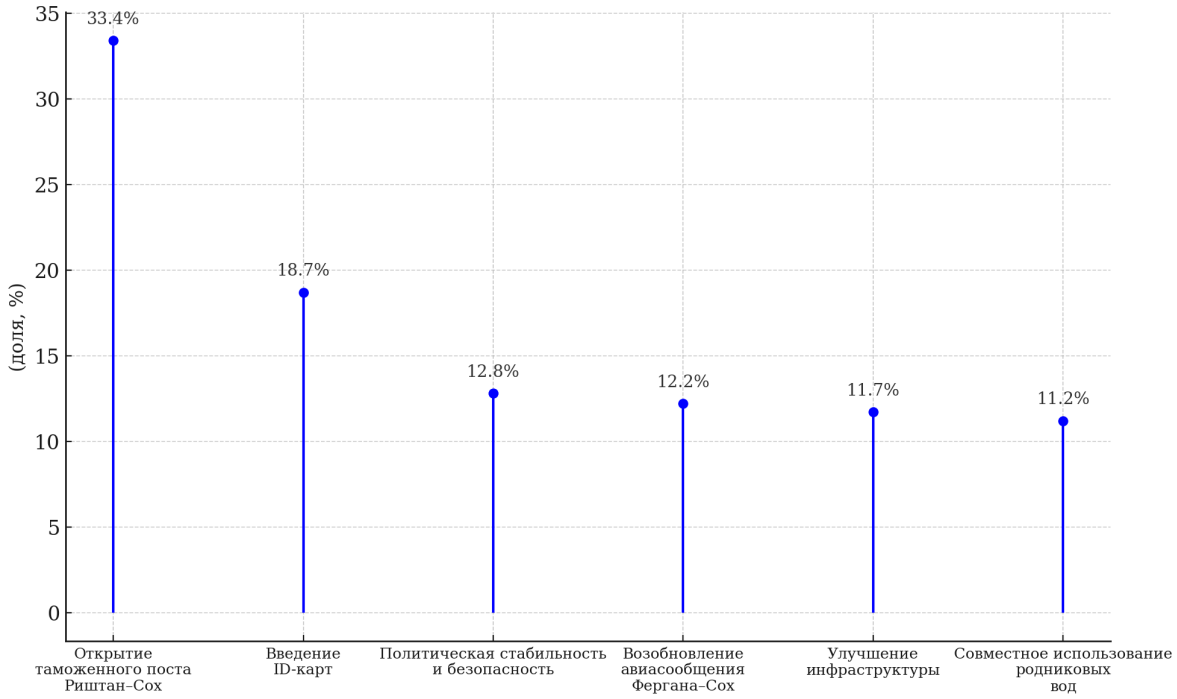


Рис. 8. Положительное отношение населения к проведённым реформам в Сохском эксклаве

Помимо воздушных линий, 11,7 (26,3) % представителей населения признали важным улучшение дорожного сообщения и сервисной инфраструктуры, связывающих эксклав с основной территорией Узбекистана. Эти меры, направленные на углубление территориальной интеграции и развитие социальной инфраструктуры, оказывают непосредственное влияние на качество жизни населения.

Так как Сох является эксклавом, совместное использование природных ресурсов с окружающим государством рассматривается как взаимовыгодное. В частности, 11,2 (25,1)% респондентов отметили налаживание совместного использования источника Чашма как положительный шаг (рис 8). Этот результат свидетельствует о позитивной оценке подхода, направленного на сохранение баланса экологических и хозяйственных интересов в приграничной зоне в вопросах водных ресурсов.

Наиболее значимыми направлениями региональной политики были признаны упрощение системы таможенного контроля на границе, обеспечение безопасности, а также улучшение транспортной инфраструктуры. Это показывает, что потребности населения в большей степени ориентированы на свободу передвижения, безопасность и региональную интеграцию.

Поскольку на вопрос ***«Как Вы считаете, какие направления можно определить в качестве приоритетных задач в стратегическом (перспективном) развитии Сохского района?»*** респондентам была предоставлена возможность выбора нескольких вариантов ответа, результаты фиксировались на основе относительных процентов. Это позволило определить степень приоритетности мнений участников. Для уточнения аналитических выводов все относительные показатели были приведены к абсолютным значениям.

В частности, 37,9 (75,7) % участников опроса подчеркнули, что в развитии Соха в первую очередь необходимо полностью устранить проблемы на границе с Кыргызской Республикой. Данный пункт анкеты отражает реальные потребности,

сформировавшиеся в результате геополитического положения региона, транзитных сложностей, изменчивого режима работы пограничных постов.

Жители Соха хорошо осознают, что совместное использование трансграничных ресурсов является залогом экологического и социального равновесия. Так, 23,7 (47,4) % респондентов сочли важным решение вопросов совместного пользования землёй, водой и пастбищами с соседней Кыргызской Республикой. Эта позиция сформировалась с учётом дефицита водных ресурсов в регионе, ограниченности сельскохозяйственных угодий и наличия разногласий по пастбищам.

Транспортная и коммуникационная интеграция является важным фактором социальной консолидации. Так, 18,5 (37) % участников подчеркнули необходимость дальнейшего расширения возможностей связи Соха с основной территорией страны. Это отражает наличие множества логистических ограничений, возникших в силу анклавного географического положения.

Кроме того, 12,7 (25,4) % респондентов сочли приоритетными экологические направления, такие как освоение неиспользуемых земель и предотвращение последствий селевых потоков. Это отражает повторяемость природных бедствий в анклаве, эрозию земель и факторы, непосредственно оказывающие негативное влияние на уровень жизни населения.

7,2 (14,5) % респондентов выбрали вариант «другое». В частности, были высказаны такие предложения, как *«освоение новых земельных массивов», «совместное использование пастбищ с соседним государством», «расширение выращивания шафрана», «улучшение Интернета», «ограничение браков между близкими родственниками», «реставрация исторических и религиозных святынь», «развитие медицинского туризма»*.

В определении стратегических направлений устойчивого развития Сохского района особое значение имеет опора на общественное мнение местного населения. Следовательно, необходимо глубоко анализировать социально-экономические и геополитические проблемы эксклава и разрабатывать меры по их решению в соответствии с потребностями жителей. Результаты социологического опроса показали, что основные ожидания населения направлены на устранение пограничных проблем, совместное использование ресурсов с соседним государством, развитие транспортных коммуникаций и инфраструктуры, а также предотвращение экологических рисков. Эти направления взаимосвязаны между собой и требуют комплексного решения.

Заключение. Изучение общественного мнения в рамках выявления социально-экономических проблем развития Сохского района, обладающего эксклавным положением, позволило сформулировать следующие выводы.

Установлено, что географические факторы играют важную роль в обеспечении устойчивого развития Сохского эксклава и благосостояния его населения. Анализ показал, что доходы жителей тесно связаны с такими природно-географическими условиями, как дефицит воды, суровый климат и частота селевых процессов. Дополнительно территориальная изоляция, слабость инфраструктуры и дисбаланс на рынке труда проявляются как ключевые факторы, ограничивающие экономическое развитие. Транспортные ограничения, нехватка рабочих мест, дефицит земельных и водных ресурсов, а также низкий уровень технологической грамотности оказывают непосредственное негативное воздействие на доходы населения. Данная ситуация обуславливает необходимость усиления территориальной интеграции Сохского эксклава и расширения местных экономических возможностей.

Сохский эксклав как территориальная единица обладает специфической внутренней социально-экономической структурой. Выявлена тесная взаимосвязь между тремя основными компонентами – профессиональной структурой, источниками доходов и уровнем среднемесячного заработка. В условиях недостаточного количества рабочих мест по отношению к численности трудовых ресурсов особое значение приобретает

внешняя трудовая миграция. В этой связи для обеспечения устойчивого экономического развития Сохского района необходимо диверсифицировать профессиональную структуру населения, создавать местные рабочие места и стимулировать предпринимательскую деятельность.

В процессе исторического становления среди местного населения, непрерывно проживающего в Сохской долине, сформировалась глубокая психологическая и культурная привязанность к своему жизненному пространству. Это свидетельствует о прочном и устойчивом формировании территориальной идентичности. Благодаря этому не наблюдается интенсивного оттока населения из эксклава.

Для населения Сохского анклава решающую роль играют реформы в сфере трансграничного сотрудничества. В частности, возобновление деятельности таможенного пункта «Риштан – Сох», разрешение на пересечение границы с Кыргызской Республикой по внутренним документам (ID-картам), укрепление безопасности, запуск авиасообщения и изменения в коммуникационной инфраструктуре отмечены как меры, непосредственно отвечающие потребностям местного населения. Приоритетное внимание жителей сосредоточено на возможностях свободного передвижения, стабильности безопасности и вопросах совместного использования ресурсов, что ещё раз подтверждает важность региональной интеграции. В связи с этим стратегическое развитие Сохского района должно обеспечиваться не только в рамках внутренней политики, но и посредством социального, экологического и экономического сотрудничества на международном уровне.

Использованная литература:

1. Аламанов С. Анклавы в Центральной Азии: История вопроса и современные проблемы // Постсоветские исследования. 2018. Т. I. №5. С. 451-459.

2. Ахмадалиев Ю.И., Кузибоев Х.С. Практическое значение использования земельных ресурсов в анклавных территориях // Журнал междисциплинарных инноваций и научных исследований в Узбекистане. 2022. №10. С. 180–186. (На узб. яз.)

3. Баратов П., Маматкулов М., Рафиков А. Физическая география Средней Азии [Учебник]. Ташкент: O‘qituvchi, 2002. 438 с. (На узб. яз.)

4. Бартольд В.В. Туркестан в эпоху монгольского нашествия. Сочинения. Том 1. Москва, 1963. 763 с.

5. Валиханов М. Экономико-географическая характеристика Кокандского оазиса: автореф. дис. … канд. геогр. наук. Ташкент, 1963. 20 с.

6. Винокуров Е. Теория анклавов. Калининград: “Терра Балтика”, 2007. 342 с.

7. Девятко И.Ф. Методы социологического исследования. Екатеринбург: Урал, 1998. 208 с.

8. Жумаханов Ш.З. География анклавных территорий Центральной Азии. Наманган: Mashrab, 2025. 224 с. (На узб. яз.)

9. Жумаханов Ш.З. Методологические основы экономико-географических и политико-географических исследований анклавных/эксклавных территорий Центральной Азии: автореф. дис. д-ра геогр. наук. Ташкент, 2023. 65 с.

10. Жумаханов Ш.З., Неъматова М.А. Концепция «индекса комфортности» и его применение в современных геоурбанистических исследованиях // Наука и образование Каракалпакстана. 2024. №3/2. С. 536–545. (На узб. яз.)

11. Жумаханов Ш.З., Тошпулатов А.М. Комплексная географическая и геополитическая картина анклава Сох // Известия Географического общества Узбекистана. 2020. Том 57. С. 88–94. (На узб. яз.)

12. Информационный бюллетень о социально-экономическом положении Сохского района. Январь–декабрь 2024 года. Фергана, 2025. 56 с. (На узб. яз.)

13. Исламов У.И., Оманжулов Т. Пещерная стоянка Сель-Унгур // История материальной культуры Узбекистана. Вып. 19. Ташкент, 1984.

14. Мегоран Н. Центральная Азия: Безопасность и опасности // Центральная Азия и Кавказ. 2011. Т. 14. № 3. С. 7-21.

15. Пардаев М.Х. Формирование антропогенного ландшафта и процессы урбанизации в Сохском бассейне: автореф. дис. … канд. ист. наук. Ташкент, 2024. 50 с.

16. Суфиев У. Сохнома. Фергана: “Farg‘ona”, 2013. 124 с. (На узб. яз.)

17. Тошпулатов А.М. Географические модели субнациональных анклавных территорий // Известия Географического общества Узбекистана. 2024. Том 66. С. 96–107. (На узб. яз.)

18. Федорко В.Н. Территориальная структура природопользования в Узбекистане: теоретико-методологические и практические аспекты исследования. Ташкент: “Zebo Print”, 2022. 288 с.

19. Haggett P. (2001), *Geography: A Global Synthesis*, London, 833 p.

20. Knox P., Marston, S. (1997), *Human Geography: Places and Regions in Global Context (Mastering Geography)*, New Jersey, 512 p.

References:

1. Alamanov S. (2018), Enclaves in Central Asia: History of the Issue and Contemporary Problems. *Post-Soviet Studies*, Vol. I, No. 5, pp. 451–459. (In Russ.)

2. Akhmadaliev Y.I., Kuziboev K.S. (2022), Practical Significance of Land Resource Use in Enclave Territories, *Journal of Interdisciplinary Innovations and Scientific Research in Uzbekistan*, No. 10, pp. 180–186. (In Uzbek)

3. Baratov P., Mamatkulov M., Rafikov A. (2002). *Physical Geography of Central Asia, Textbook*, Tashkent, 438 p. (In Uzbek)

4. Bartold V.V. (1963). *Turkestan During the Mongol Invasion*, Works, Vol. 1. Moscow. p. 763. (In Russ.)

5. Valikhanov M. (1963). *Economic and Geographical Characteristics of the Kokand Oasis: Abstract of the dissertation … Candidate of Geographical Sciences,* Tashkent, 20 p. (In Russ.)

6. Vinokurov E. (2007), *The Theory of Enclaves*, Kaliningrad, 342 p. (In Russ.)

7. Devyatko I.F. (1998). *Methods of Sociological Research*, Ekaterinburg, 208 p. (In Russ.)

8. Jumakhanov Sh.Z. (2025). *Geography of enclave territories in Central Asia*, Namangan, 224 p. (In Uzbek)

9. Jumakhanov Sh.Z. (2023), *Methodological foundations of economic-geographical and political-geographical studies of enclave/exclave areas of Central Asia: abstract of the dissertation … Doctor of Geographical Sciences*, Tashkent, 65 p. (In Uzbek and Russ.)

10. Jumakhanov Sh.Z., Ne’matova M.A. (2024), The Concept of the “Comfort Index” and is use in modern geo-urban studies, *Science and Education in Karakalpakstan*, No. 3/2, pp. 536-545. (In Uzbek)

11. Jumakhanov Sh.Z., Toshpulatov A.M. (2020). Geographical and geopolitical view of Sokh enclave, *The Annales of the Geographical Society of Uzbekistan,* Vol. 57, pp. 88-94. (In Uzbek)

12. *Sokh District Socio-Economic Status Bulletin. January–December 2024* (2025), Ferghana, 56 p. (In Uzbek)

13. Islamov U.I., Omanzhulov T. (1984), The Sel-Ungur Cave Site, *History of Material Culture of Uzbekistan*, Issue 19, Tashkent. (In Russ.)

14. Megoran N. (2011), Central Asia: Security and Insecurity, *Central Asia and the Caucasus*, Vol. 14, No. 3, pp. 7-21. (In Russ.)

15. Pardayev M.Kh. (2024). *Formation of the anthropogenic landscape and urbanization processes in the Sokh basin: abstract of the dissertation … Candidate of Historical Sciences,* Tashkent, 50 p. (In Uzbek)

16. Sufiev U. (2013), *Sokhnama*, Fergana, 124 p. (In Uzbek)

17. Toshpulatov A.M. (2024). Geographic models of subnational enclave territories, *Thq Annales of the Geographical Society of Uzbekistan*, Vol. 66, pp. 96–107. (In Uzbek)

18. Fedorko V.N. (2022), *Territorial structure of nature management in Uzbekistan: theoretical, methodological and practical aspects of the study*, Tashkent, 288 p. (In Russ.)

19. Haggett P. (2001), *Geography: A Global Synthesis*, London, 833 p.

14. Knox P., Marston, S. (1997), *Human Geography: Places and Regions in Global Context (Mastering Geography)*, New Jersey, 512 p.

Сведения об авторах:

Тошпулатов Абдукодир Махаммаджон угли – Андижанский государственный университет (Андижан, Узбекистан), базовый (PhD) докторант. E-mail: abduqodir.dsc@gmail.com

Жумаханов Шавкатжон Заиржанович – Наманганский государственный университет (Наманган, Узбекистан), доктор географических наук (DSc), доцент. E-mail: jumaxanovshavkatjon@gmail.com

Ан Янг Джин – Чоннамский национальный университет (Кванджу, Республика Корея), профессор. E-mail: yjahn@chonnam.ac.kr

Information about authors:

Abdukodir Toshpulatov – Andijan State University (Andijan, Uzbekistan), basic (PhD) doctoral student. E-mail: abduqodir.dsc@gmail.com

Shavkatjon Jumakhanov – Namangan State University (Namangan, Uzbekistan), Doctor of Geographical Sciences (DSc). E-mail: jumaxanovshavkatjon@gmail.com

Young-Jin Ahn – Chonnam National University (Gwangju, Republic of Korea), Professor. E-mail: yjahn@chonnam.ac.kr

Для цитирования:

Тошпулатов А.М., Жумаханов Ш.З., Ан Я.-Чж. Опыт исследования социально-экономического развития Сохского эксклава Узбекистана социологическими методами // Центральноазиатский журнал географических исследований. 2025. № 3-4. С. 24-40.

For citation:

Toshpulatov A.M., Jumakhanov Sh.Z., An Y.-J. (2025), The experience of a sociological study on the socio-economic development of the Sokh exclave of Uzbekistan, *Central Asian Journal of Geographical Researches,* No. 3-4, pp. 24-40. (In Russ.).

UDC 338:91:63(021) https://doi.org/10.5281/zenodo.18032644

Namozov J.A.[1], Ibragimov L.Z.[2]

[1]Chirchik State Pedagogical University, Chirchik, Uzbekistan
[2]Samarkand State University, Samarkand, Uzbekistan

TERRITORIAL EFFICIENCY OF USE OF IRRIGATED LANDS IN BUKHARA REGION

Abstract. *This article is devoted to irrigated land, an important component of the natural resource potential of rural areas in the Bukhara region, and to an assessment of the efficiency of its use. General characteristics of the land fund and irrigated agricultural land in the region are examined, including their dynamics over time. Indicators of the availability of irrigated land in the districts are analyzed. The efficiency of irrigated land use by rural district is calculated using indices representing the ratio of the district's share in the gross agricultural output of the region to its share in the irrigated land fund of the region. The economic efficiency of irrigated agricultural land use in the districts of the Bukhara region is also calculated using the value of gross agricultural output at current prices per hectare of irrigated land. The article concludes with proposals and recommendations for improving the efficiency of irrigated agricultural land use in the region.*

Key words: *Bukhara region, rural districts, irrigated lands, territorial efficiency, index, intensive use, extensive use.*

Намозов Ж.А.[1], Ибрагимов Л.З.[2]

[1]Чирчикский государственный педагогический университет, Чирчик, Узбекистан
[2]Самаркандский государственный университет, Самарканд, Узбекистан

ТЕРРИТОРИАЛЬНАЯ ЭФФЕКТИВНОСТЬ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ОРОШАЕМЫХ ЗЕМЕЛЬ В БУХАРСКОЙ ОБЛАСТИ

Аннотация. *Статья посвящена важному компоненту природно-ресурсного потенциала сельских районов Бухарской области – орошаемым землям, а также оценке эффективности их использования. Рассмотрены общие характеристики земельного фонда и орошаемых сельскохозяйственных угодий области, в том числе, в динамике. Проанализированы показатели обеспеченности районов орошаемыми землями. Эффективность использования орошаемых земель в разрезе сельских районов рассчитана в виде индексов, представляющих собой отношение доли района в валовой сельскохозяйственной продукции области к его доле в фонде орошаемых земель области. Также экономическая эффективность использования орошаемых сельскохозяйственных угодий районов Бухарской области рассчитана через величину валовой сельскохозяйственной продукции в текущих ценах, приходящуюся на 1 гектар орошаемых земель. В заключении статьи приведены предложения и рекомендации по повышению эффективности использования орошаемых сельскохозяйственных земель региона.*

Ключевые слова: *Бухарская область, сельские районы, орошаемые земли, территориальная эффективность, индекс, интенсивное использование, экстенсивное использование.*

Introduction and problem statement. The quality of irrigated land is directly related to the global distribution of the world's population and is characterized by future trends in the use of these resources in agriculture. The sustainable use of land for food production is under threat due to inefficient use of irrigated land, loss of fertile land due to urbanization and industrialization, as well as future changes in population lifestyles, climate change, and the reduction of fresh water supplies worldwide. According to the Food and Agriculture

Organization of the United Nations (FAO)[1], irrigated farming systems consume 70 percent of the world's freshwater and account for 20 percent of the world's arable land. By 2050, agricultural production will need to increase by 60 percent worldwide, and by almost 100 percent in developing countries, just to meet the demand for food. This requires the rational use of irrigated lands in agriculture, the study of ways to restore and increase soil fertility.

In order to significantly improve the use of irrigated lands in agriculture, special attention is paid to meeting the projected needs for food and agricultural products, and to identifying the growing need for land resources and territorial variability in their use. Priority is given to developing the most effective options for an integrated approach to the study of all types of irrigated land use, linking socio-economic development with environmental protection and improvement, coordinating the distribution, planning and management of activities related to various aspects of land resource use, and improving the territorial organization of land resource use and its structure.

The issue of rational use of natural resources, including irrigated land resources, has been widely discussed in recent years. This process is especially important in countries specializing in the agricultural sector, in particular in Uzbekistan. The organization of rational use of land resources mainly pursues two goals, namely the effective use of land resources and their protection. In determining the efficiency of the use of irrigated land, as in other production processes, economic factors are of great importance. High productivity per unit of their yield, the usefulness of the amount per capita, etc. If efficiency is expressed in the example of a territory (region, province, district), it can be recognized as territorial efficiency.

Study of the problem. Irrigated lands are mainly an important object of research in agriculture, economics and geography. Much work has been done in this regard within the framework of the disciplines of geography, and these studies focus on the sectoral (agriculture, in particular, farming) and territorial (economic region, region and district) characteristics of irrigated lands. To this end, these lands are being studied by a number of researchers in many regions of our country within the framework of the above-mentioned goals. In particular, the irrigated lands of the Zarafshan economic region have been studied for agricultural and other purposes in different years (J.H. Thunen [22, 23], A.N. Rakitnikov [20], Z.M. Akramov [3], A.S. Saidov [21], F.M. Rahimboyev [18], D.Sh. Yavmutov [25], A.R.Rakhmatullayev [19], Sh.B.Kurbonov [8], V.N.Fedorko [5] J.A. Namozov [12, 13, 14]). However, the quantitative and qualitative indicators of these lands have not been considered separately, they have not been specifically studied within the territory. In this work, it is precisely these aspects that are given greater importance, and irrigated lands for agricultural purposes are analyzed separately by land type.

Aim and objectives of research. To calculate the efficiency of the use of irrigated land by districts using their agricultural production. Within the framework of this goal, the territorial efficiency of using irrigated land resources, the efficiency of using irrigated land resources, and the differences in the use of irrigated land in the studied districts were calculated.

Materials and methods. The territorial efficiency of agricultural production was first used by the German scientist Johann Heinrich von Thunen (1783-1850). On this basis, work on the location and development of this sector was carried out on economic geography [22, 23].

This work used statistical analysis, interregional comparisons, and mathematical methods. To clearly show absolute indicators, they were expressed in a certain ratio (percentage). Efficiency was calculated in indices relative to the average indicator of the region. Here, the indices were determined by the ratio of relative indicators (percentages). The efficiency of irrigated land use was shown in coefficients. They, in turn, were expressed in relative indicators.

[1] UNEP, 2011, Towards a Green Economy: Pathways to Sustainable Development and Poverty Eradication (http://www.unep.org/greenekonomy).

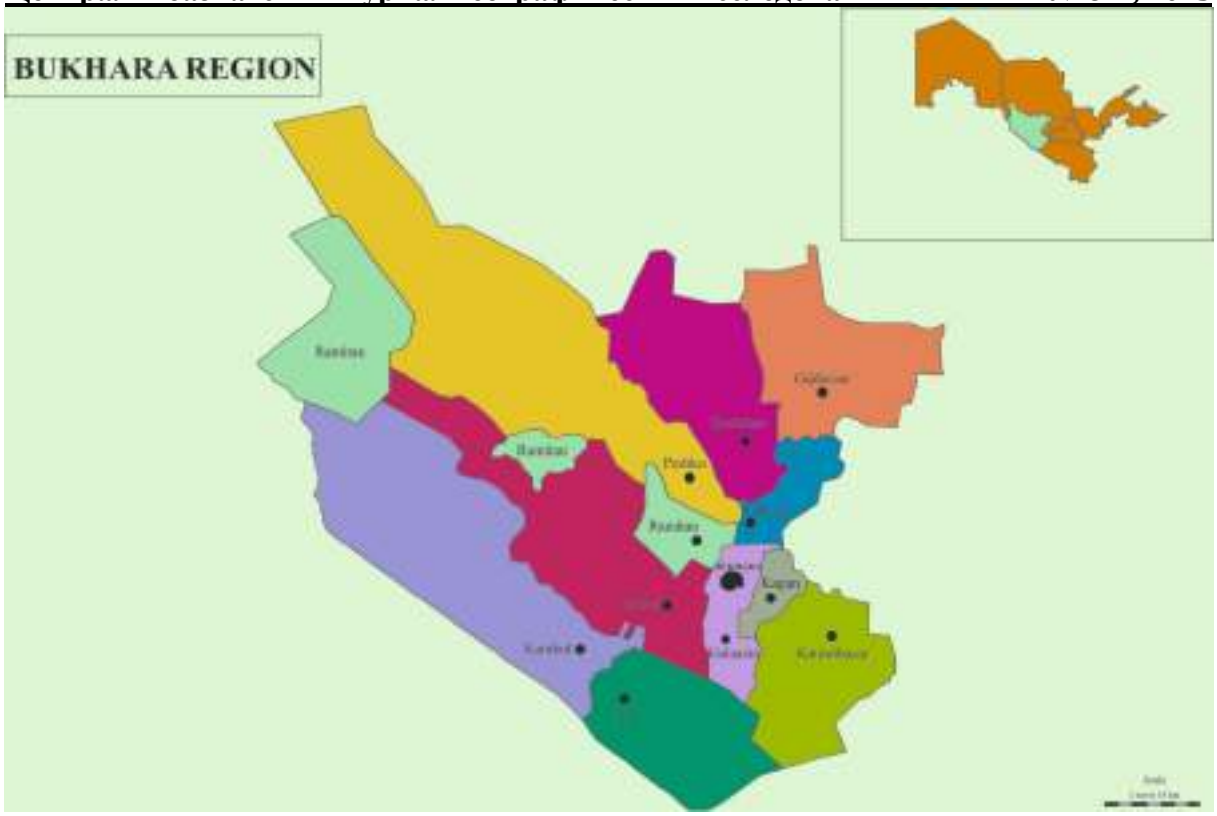


Figure 1. The map scheme of Bukhara region

Results and discussion. In terms of irrigated land provision, Bukhara region has an average indicator. It should be noted that almost all land types here are open-field, and there is no shifting cultivation. The total area of irrigated land (280.3 thousand hectares) is slightly more than a third of the Zarafshan economic region (35.7%), 6.5% of the republic. These land resources have increased by almost 7,000 hectares over the past quarter century (273.7 thousand hectares in 2000). There are a number of differences in the provision of irrigated land in the region, and the factors that cause this can be attributed to the geographical location of the districts, water supply, etc. In general, Jandar, Shafirkan and Bukhara have more of these lands, while Kagan and Karaulbazar have the opposite. Jandar district is also the leader in terms of irrigated arable land (24.8 thousand hectares), while Karaulbazar is in last place (7%). The difference in agricultural production is not so great [8, 9].

The production of agricultural products in the region also has its own characteristics, and as mentioned above, all of it belongs to arable land. According to data from 2025, agricultural products worth 41,039.4 billion soums were produced in the region. 47.9 percent of it belongs to agriculture, and the share of livestock farming is 21,384.4 billion soums. Over the past 15 years, the share of agriculture (1,364.9 billion soums in 2010) has decreased by 8.4 percent, while livestock farming has naturally increased by the same amount. The emergence of this situation can be directly attributed to issues related to water resources. At the district level, Jandar and Gijduvan districts dominate. Excluding urban areas, Karaulbazar has the lowest figure, providing 2.7 percent of the region's agricultural supply (Information from the Bukhara Region Statistics Department, 2024) [7].

Table 1

The share of districts in the production of agricultural products by the provision of irrigated land

№	Districts	Availability of irrigated land (in hectares) R_{il}	Share in agricultural production (in soums) R_a	Agricultural products per hectare of irrigated land (in billion soums) and index
1	Bukhara	28048	4416,6	157,5
		10,0	10,8	1,080
2	Jandar	33453	5238,4	156,6
		11,9	12,8	1,076
3	Kagan	19152	2837,0	148,1
		6,8	6,9	1,015
4	Alat	21967	2704,6	123,1
		7,8	6,6	0,846
5	Peshku	22890	3907,0	170,7
		8,2	9,5	1,159
6	Karakul	27059	3778,3	139,6
		9,7	9,2	0,948
7	Karaulbazar	16423	1111,5	67,7
		5,9	2,7	0,458
8	Ramitan	27657	4351,4	157,3
		9,9	10,6	1,071
9	Vabkent	25182	3651,6	145,0
		9,0	8,9	0,989
10	Gijduvan	27437	4741,7	172,8
		9,8	11,6	1,184
11	Shafirkan	28376	3636,7	128,2
		10,1	8,9	0,881
By region		280247	41039,4	146,4
		100	100	1,000

The table was compiled by the authors based on data from the Cadastral Agency under the Ministry of Economy and Finance of the Republic of Uzbekistan and the Bukhara Regional Statistics Department for 2024.

Note: *The table is presented in fractional form, with absolute values in the numerator and relative values in the denominator. In particular, the share of irrigated land in the region and their ratio index are presented.*

The latest (2024) data was taken as the index of the share of regions in agriculture. The index of effective use of irrigated land is calculated relative to the total indicator of the region for districts (see Table 1).

$$\mathbf{I_{euil} = R_a / R_{il}}\text{; in this:}$$

$\mathbf{I_{eul}}$ (effective use of irrigated lands) **–** Index of irrigated land efficiency,

$\mathbf{R_a}$ **(**ratio of agricultural production) **–** Ratio in agricultural production

$\mathbf{R_{il}}$ (ratio of irrigated lands) – The ratio (share) of districts with irrigated land [15].

When calculated using this formula, the state of use of irrigated land resources of the regions is obtained. Gijduvan district, which is well-endowed with agro-climatic natural resources, stands out in terms of the level of use of land resources, that is, it records a level almost 1.2 times higher than the regional average. Along with Gijduvan, Peshku district also stands out in the use of arable land. The area that is very lagging behind in the production of agricultural products from irrigated land is Karaulbazar district. It is this district that is considered the most passive in the agricultural sector of the region. This is directly related to the unfavorable natural conditions.

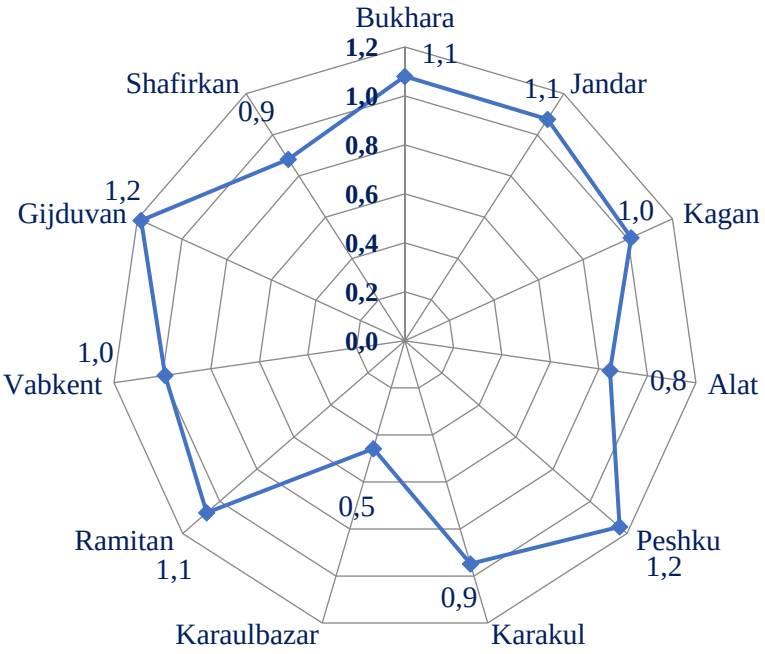


Fig 2. Territorial efficiency of irrigated land use

The figure was compiled by the authors.

The territorial efficiency of agricultural production from irrigated land does not differ significantly across the regions. In particular, Gijduvan and Peshku districts are 15 billion soums higher than the regional average (146.4 billion soums) (see Table 2). The efficiency of irrigated land use in these districts is due, firstly, to favorable natural conditions, and secondly, to the previously traditional development of fertile agriculture (intensive farming and animal husbandry). In addition, these regions are considered to be the main growth areas in terms of population density and the regional economy. Their main problem is that the rational use of land and water resources is not as expected. These include the transfer of land useful for agriculture to other sectors, problems with water distribution, and some shortcomings in the free conduct of activities.

Table 2

Indicators of effective use of irrigated land in regional districts (billion soums per hectare)

№	Compared to the regional average	Range of values	Districts	Average
1	Very high	Above 165	Gijduvan, Peshku	171,7
2	High	150 - 165	Bukhara, Ramitan, Jandar	157,1
3	Average	135 - 150	Kagan, Vabkent, Karakul	144,2
4	Low	120 - 135	Shafirkan, Alat	125,6
5	Very low	Less than 120	Karaulbazar	67,7

Source: Data from Table 1.

The second group includes districts with different conditions and levels of development, the average efficiency of using irrigated land is more than 10 billion compared to the regional indicator. Both intensive and extensive agricultural sectors are well organized in these regions.

The third group can show the real state of land and water use efficiency in the region. Because these are the main support areas of the agricultural sector of the region and are better provided with irrigated land resources than others. However, the efficiency of using these resources is far behind their potential, although these districts have sufficient opportunities for developing the regional economy.

The current situation of the districts of the fourth group is lower than the regional indicator, and there is a high possibility of its further decline in the future. In general, the negative process applies to almost all districts of the region.

In terms of regional agro-economic production and the efficiency of using arable land, the Karaulbazar district lags far behind the regional average. This is due, firstly, to the unfavorable conditions of the region, and, secondly, to the inadequate conditions and opportunities for the development of intensive agriculture.

Conclusion. There is a decrease in irrigated land resources per capita. If this process continues further, in 2030 each person will have 8 hectares of irrigated land, and by 2050 - 5 hectares. However, in our (agrarian-industrial) conditions, a person needs at least 6 hectares of irrigated land per year to live a normal life. From the above figures, it can be seen that by 2050 the region will begin to experience a shortage of irrigated land resources. However, given that these resources are not evenly distributed throughout its territory, it is not difficult to notice that some regions with unfavorable conditions will experience a shortage of irrigated land resources. To prevent this problem, it is necessary to do the following:

When planning the regional agro-economy, it is important to take into account the availability of land resources, in particular, irrigated land, soil fertility (the difference between the Gijduvan and Karaulbazar districts is 20 points), the share of irrigated land in the total area (Vobkent 63.8 percent, Karaulbazar 2.2 percent) and other agricultural indicators. Planning agricultural production without taking these aspects into account will not lead to good results.

Work on the use and protection of irrigated land resources (scientific research, regional decision-making, implementation and results) should be carried out in a comprehensive manner. Monitoring (seasonal and annual) and control within the government play an important role in this.

References:

1. Abduazizovich, N.J., Umirkulovic, S.A., Turakulovich, R.F. (2021), Pasture livestock effects on agricultural land in Samarkand region, *Annales of the Romanian Society for Cell Biology*, 25(2), pp. 447-451 (https://www.scopus.com/results/)

2. Abdurakhmonov, S., Bekanov, K., Embergenov, N., Eshnazarov, D. (2023), Hydrological modeling of agricultural lands on the basis of GIS technologies (On the example of the Chimbay district of the Republic of Karakalpakstan), *E3S Web of Conferences*, 386, art. no. 02004. www.e3s-conferences.org/ doi: 10.1051/e3sconf/202338602004

3. Akramov Z.M. and others (1961), *Samarkand and Bukhara regions. Part 1*, Tashkent, 342 p. (In Russ).

4. Faizullo R. Khamidov, Shavkat J. Imomov, Otabek S. Abdisamatov, Maqsud M. Sarimsakov. Gulnora Kh. Ibragimova, Khurshida I. Kurbonova. (2020), Optimization of agricultural lands in land equipment projects, *Journal of Critical Reviews*, DOI: http://dx.doi.org/10.31838/jcr.07.11.184.

5. Fedorko V.N. (2022), *Territorial structure of nature management in Uzbekistan: theoretical, methodogical and practical aspects of the study*, Tashkent, 288 p. (In Russ.).

6. Hikmatov F.H., Khaidarov S.A., Yarashev K.S. and others (2016), *Hydrometeorological conditions and water resources of the Zarafshan River basin*, Tashkent, 276 p. (In Uzbek)

7. *Information from the Bukhara Region Statistics Department* (2024), Bukhara. (In Uzbek)

8. Kurbanov Sh.B. (2019), *Socio-economic geography of rural districts of Uzbekistan*, Tashkent, 226 b. (In Uzbek).

9. Kurbonov Sh.B., Fedorko V.N. (2024), *Geography of Uzbekistan (Part II. Economic and social geography of Uzbekistan)*, Tashkent, 382 p. (In Uzbek).

10. *Land Fund of the Republic of Uzbekistan* (2024), Tashkent, 200 p. (In Uzbek).

11. Namozov J.A. (2015) Territorial structure of land resources of Samarkand region, *SamSU scientific bulletin*, No. 3(91), pp. 144-147. (In Uzbek).

12. Namozov J.A., Sangirova U.R, Yunusov I.O., Ahmedov U.Q., Dustmurodov G.G., Hakimov R. (2020), Features of GIS application in agriculture, *Journal of Xi'an University of Architecture & Technology*, vol. XII, issue IV, pp. 305-308.

13. Namozov D. A., & Kasimov D. N. (2020), The status of land resources in Zarafshan region and its protection, *Science and world*, 1(4), pp. 49-52.

14. Namozov J. A. (2022), *Geography of land and water resources use (based on materials from Samarkand region)*, Tashkent, 136 p. (In Uzbek).

15. Namozov J. A., Khamroeva F. A., & Dovulov N. L. (2021). Specific and integral efficiency use of land and water resources, *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, vol. 839, No. 2, p. 022025. IOP Publishing.

16. Namozov J., Arabov N., Aduramanov X., Nasimov D., Makhmudova M., & Ibragimov L. (2024), Dynamics of transformation and economic resilience in agricultural lands: An anthropogenic perspective, *E3S Web of Conferences*, vol. 541, p. 03003. EDP Sciences.

17. Namozov J.A., Dzhurayeva L.V., Dovulov N.L. (2022), Samarkand region land resources and the status of their use in the economy, *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, vol. 1112, No. 1, p. 012113. IOP Publishing.

18. Rahimboev F.M. and others (1994), *Irrigation melioration in agriculture*, Tashkent, 328 p. (In Uzbek).

19. Rakhmatullaev O. (2018), *Geographical optimization of the ecological situation in the geosystems of the Middle and Lower Zarafshan oasis: diss. … DSc in Geographical Sciences*, Tashkent, 200 p. (In Uzbek).

20. Rakitnikov A.N. (1970), *Geography of the agricultural economy*, Moscow, 342 p. (In Russ).

21. Saidov A.S. (1972), *Landscapes of the right bank of the Middle Zarafshan*, Tashkent, 132 p. (In Russ).

22. Thünen J.H. (1863), *The natural history of work and the development of food and land*, Rostock, second part of the second volume and the third volume, text online.

23. Thünen J.H. (1850), *The natural history of work and the development of the economy from the sun and from the land. First Absence*, Rostock, first part of the second volume, text online.

24. *UNEP, Towards a Green Economy: Pathways to Sustainable Development and Poverty Eradication* (2022), URL: http://www.unep.org/greeneconomy.

25. Yavmutov D.Sh. (2012), *Territorial aspects of rational use of irrigated lands (in the case of Bukhara region): Diss. … PhD in Geographical Sciences*, Bukhara, 146 p. (In Uzbek).

Information about the authors:

Jurabek Namozov – Chirchik State Pedagogical University (Tashkent, Uzbekistan), Doctor of Philosophy (PhD) in Geographical Sciences, Associated Professor. E-mail: jurabek.n.a@gmail.com

Lutfullo Ibragimov – Samarkand State University (Samarkand, Uzbekistan), Doctor of Geographical Sciences (DSc), Professor. E-mail: ibragimovlutfullo@gmail.com

Сведения об авторах:

Намозов Журабек Абдуазизович – Чирчикский государственный педагогический университет (Ташкент, Узбекистан), доктор философии (PhD) по географическим наукам, доцент. E-mail: jurabek.n.a@gmail.com

Ибрагимов Лутфулло Зиядуллаевич – Самаркандский государственный университет (Самарканд, Узбекистан), доктор географических наук (DSc), профессор. E-mail: ibragimovlutfullo@gmail.com

For citation:

Namozov J.A., Ibragimov L.Z. (2025), Territorial efficiency of use of irrigated lands in Bukhara region, *Central Asian Journal of Geographical Researches*, No. 3-4, pp. 41-47

Для цитирования:

Намозов Ж.А., Ибрагимов Л.З. Территориальная эффективность использования орошаемых земель в Бухарской области // Центральноазиатский журнал географических исследований. 2025. № 3-4. С. 41-47. (На англ. яз.).

ГИДРОЛОГИЯ И КЛИМАТОЛОГИЯ

HYDROLOGY AND CLIMATOLOGY

УДК 556.5 + 57.087 https://doi.org/10.5281/zenodo.18029266

Мягков С.В., Махмудов Б. Б., Дергачева И.В.

Научно-исследовательский гидрометеорологический институт,
Ташкент, Узбекистан

АНАЛИЗ ГИДРОЛОГИЧЕСКОГО РЕЖИМА РЕКИ ШАХИМАРДАН ГРАФИЧЕСКИМ И РЕГРЕССИОННЫМ МЕТОДАМИ

Аннотация. *Реки, формирующиеся на склонах Алайского хребта, имеют важное значение для ведения водного хозяйства Узбекистана. Основным потребителем воды реки Шахимардан является орошаемое земледелие. Любые изменения, влияющие на водные ресурсы, имеют высокий эффект воздействия на различные социально-экономические сектора развития стран региона. Целью данного исследования является определение доли составляющих речного стока в бассейне горной реки для дальнейших расчетов объемов и прогнозирования стока. Представлены основные концепции и теории, положенные в основу исследования. На основе математической модели формирования стока горных рек проведен анализ многофакторной зависимости и определен объем ледникового стока при различных климатических параметрах. Методология исследования включает построение общей математической модели формирования стока горных рек, зависящего от накопления снега в зимний период и таяния ледников в летний период. Полученные результаты показали, что в зависимости от климатических параметров текущего года доля ледникового стока реки Шахимардан колеблется от 10% до 40%. Изменение климата изменяет речной сток и оказывает значительное влияние на жизнеобеспечение и окружающую среду. Нехватка пресноводных ресурсов увеличивает риски для чистой воды и санитарии. Формула расчета может быть использована для прогнозирования доли ледникового стока в зависимости от изменения климата при известных климатических сценариях.*

Ключевые слова: *речной сток, компоненты стока, изменение климата, множественная регрессия, гидрологические расчеты, ледниковый сток, осадки, гидрология.*

Myagkov S.V., Makhmudov B.B., Dergacheva I.V.

Scientific Research Hydrometeorological Institute, Tashkent, Uzbekistan

ANALYSIS OF THE HYDROLOGICAL REGIME OF THE SHAKHIMARDAN RIVER BY GRAPHIC AND REGRESSION METHODS

Abstract. *The rivers that form on the slopes of the Alai Range are of great importance for water management in Uzbekistan. The main consumer of the Shakhimardan River water is irrigated agriculture. Any changes that affect water resources have a high impact on various socio-economic sectors of development in the countries of the region. The purpose of this study is to determine the share of river runoff components in the mountain river basin for further calculations of volumes and runoff forecasting. The main concepts and theories that underlie the study are presented. Based on the mathematical model of mountain river runoff formation, an analysis of the multifactorial dependence is carried out and the volume of glacial runoff is determined under various climatic parameters. The research methodology includes the construction of a general mathematical model of mountain river runoff formation, which depends on snow accumulation in winter and glacier melting in summer. The results show that, depending on the climatic parameters of the current year, the share of glacial runoff*

of the Shakhimardan River ranges from 10% to 40%. Climate change alters river flows and has significant impacts on livelihoods and the environment. Scarcity of freshwater resources increases risks for clean water and sanitation. The calculation formula can be used to predict the share of glacier runoff depending on climate change under known climate scenarios.

Keywords: *river runoff, runoff components, climate change, multiple regression, hydrological calculations, glacier runoff, precipitation, hydrology.*

Введение и постановка проблемы. Сток реки Шахмардан определяется таянием ледников Алайского хребта в зависимости от температуры воздуха. Осадки влияют на толщину снежного покрова в бассейне реки и пополняют объем ледникового покрова. Изменение климата оценивается по изменению температуры приземного слоя воздуха на метеорологических станциях и выпадению осадков на поверхность.

В высокогорных районах бассейна Аральского моря много малых рек с ледниковым питанием. Глобальное изменение климата усилило интенсивность таяния высокогорных ледников. Динамика осадков в высокогорных районах изменяет толщину оледенения и запасы ледниковой массы. В бассейне реки Шахимардан происходят изменения элементов гидрологического цикла, связанные с изменением климата [6]. Многие исследования указывают на сокращение площади высокогорного оледенения Памиро-Алайской горной системы за период с 1960 по 2015 год с 20% до 40%.

По источникам питания реки Памиро-Алая относятся к рекам ледниково-снегового типа питания. Продвижение нулевой изотермы по высотным поясам во многом определяет интенсивность таяния ледников. Количество талой воды определяется количеством выпавших на водосборной площади осадков в зимний период. Ледники являются многолетними аккумуляторами осадков. Количество воды, накопленной в ледниках, и таяние льда определяется многими гидрометеорологическими параметрами - температурой приземного слоя воздуха, поступлением солнечной радиации на поверхность ледника, покрытостью ледника обломочными скальными материалами и другими.

Питание реки Шахимардан снего-ледниковое с пиком половодья в июне. С востока подпитывается водами реки Исфайрамсай по каналам Янгиарик, Ловон, с запада — водами реки Сох по Сох-Шахимарданскому каналу. Площадь водосбора 1300 км². Речные воды на территории Ферганской области смешиваются с водами Сохской оросительной системы, системы Большого Ферганского канала и Южного Ферганского канала, что естественно сказывается на её качественном составе.

В Центральной Азии в настоящее время наблюдается активная деградация горного оледенения. Это приводит к нарушению устойчивости моренно-ледниковых комплексов и является одним из ведущих факторов, обусловливающих формирование здесь селевых потоков гляциального генезиса. Трансграничность многих селевых бассейнов центральноазиатского региона и их хозяйственное освоение обусловливают необходимость выявления конкретных факторов, определяющих высокую степень их селевой опасности, а также оценки возможных последствий схода селей.

Бассейн реки Шахимардан является ярким примером рек Алайского хребта и характеризуется высокой степенью селевой опасности. Трансграничность реки и активное хозяйственное освоение приводит к тому, что селевые потоки становятся катастрофическими. В настоящее время наибольшую опасность представляют собой гляциальные сели и сели, образующиеся при прорывах ледниковых озёр.

В бассейне реки Шахимардан имеется множество моренных озер, вода в которых удерживается дамбами, сложенными обломочным материалом. В долине реки много каменных осыпей, которые доходят до водного потока и при прохождении прорывного паводка обломочный материал вовлекается в водный поток, увеличивая его объем, массу и скорость, что приводит к катастрофическим последствиям.

Изученность проблемы. Для моделирования ледникового стока используется подход, зависящий от температуры воздуха. В настоящее время многие исследования [1, 2] речного стока в горах отражают изучение тенденций режима изменения температуры воздуха и режимов осадков в речных бассейнах с последующим использованием полученных данных в математических моделях формирования стока и, соответственно, тенденций динамики стока, которые строятся в зависимости от сценариев изменения климата [19].

Научной основой полагают оценку трендов изменения стока горных рек непосредственно на основе динамики стока за различные климатические периоды с использованием линейных и полиномиальных статистических зависимостей.

По данным многочисленных исследований горной территории водосборного бассейна Памиро-Алая отмечается, что за период 1980-2010 гг. площадь оледенения существенно сократилась, что, в свою очередь, может привести к сокращению объема ледникового стока [15].

В работе [10] указывается, что современное глобальное потепление приведет к повышению уровня эвапотранспирации и к сокращению пополнения запасов подземных вод. В таких условиях любые простые, но эффективные средства увеличения запасов воды, такие как искусственное пополнение запасов подземных вод, становятся жизненно важными для устойчивости водоснабжения и выживания в экосистемах.

Рост плотности населения, экономическая активность, изменение режимов водопользования создают проблемы для ограниченных водных ресурсов, доступных людям. В исследовании [10] приводятся данные о том, что в Северном полушарии наблюдается некоторое увеличение расхода воды в реках, вызванное таянием ледников и общими процессами дегляциации, связанными с глобальным потеплением.

Исследования [2, 8, 21] показывают, что процессы деградации ледникового покрова в Азии продолжаются, однако таяние ледникового покрова не связано с гидрологическими показателями речного стока ниже по течению и не учитывает количество сезонного снежного покрова в речных бассейнах, что напрямую влияет на характеристики и объем речного стока.

В работах [9, 21] излагается концепция многовековой и внутривековой циклической изменчивости климата континентов Северного полушария, которая имеет место на протяжении последних 12 тыс. лет и происходит во временных интервалах 7-11, 32-45 и 70-80 лет. Изменчивость климата оценивается как составная часть единых природных циклов (гидроклиматических, геофизических, биологических). Это положение доказывается на материале по изменению гидрологических изменений аридных территорий.

В работах [7, 14] указывается, что малые реки, к которым относится река Шахимардан, особенно чувствительны к антропогенному воздействию и служат интегральным индикатором сложных природно-антропогенных процессов, происходящих на их водосборах.

В современных исследованиях территориальные структуры бассейнов рассматриваются как иерархические общности пространственных отношений, определяемых водным стоком. Международные научные организации [8, 21] отмечают, что изменение климата проявляется, в частности, в изменении гидрологического режима рек и режима оледенения водоемов.

Климат и водный цикл Земли тесно и сложно взаимосвязаны [18], поэтому динамика изменения климата повлияет на водные ресурсы. Например, дефицит осадков приведет к снижению влажности почвы, речного стока и пополнения запасов грунтовых вод, но величина этого эффекта перелива будет зависеть от местных условий, таких как свойства почвы, геология, растительность и использование воды.

Из-за различных временных масштабов вовлеченных процессов воздействие на подземные воды может длиться гораздо дольше, чем первоначальная метеорологическая засуха, вызвавшая его, тем самым инициируя «эффект памяти».

С другой стороны, наводнения могут повлиять на доступность воды, санитарию и другие аспекты жизнедеятельности людей, нанося ущерб ключевой инфраструктуре и услугам.

В то же время сам гидрологический цикл является важным компонентом климатической системы, контролирующим взаимодействие атмосферы и земной поверхности и обеспечивающим механизмы обратной связи в транспортировке, хранении и обмене массой и энергией.

На связь между климатом и водными ресурсами влияют многие антропогенные факторы – землепользование и изменение растительного покрова, регулирование водных ресурсов и системы забора воды, а также загрязнение воды. Изменение климата влияет на водный цикл через множество различных процессов [11].

Обратная связь и взаимодействие между этими процессами, которые не все полностью поняты или измеримы в соответствующих масштабах, делают количественную оценку и прогнозирование воздействий очень сложными.

Хотя гидрологические данные, собранные в прошлом, предоставляют ценную информацию о процессах и событиях, они не обязательно указывают на будущие гидрологические режимы. Более того, даже когда обнаруживаются гидрологические изменения, атрибуция причин, включая изменение климата, часто остается неопределенной [20].

В исследовании [16] утверждается, что оценка влияния изменения климата на водные ресурсы бассейна позволит учитывать возможные изменения гидрологических характеристик при планировании развития сельского хозяйства и других отраслей экономики, а также при разработке мер адаптации.

В горных районах Гималаев таяние ледников объясняется повышением температуры приземного воздуха на обширных территориях [12]. За длительный период наблюдений установлено, что произошло существенное изменение массы ледников [13]. Как указано, существенные потери массы ледников произошли в период 1948-2006 гг. В США также произошли существенные потери массы ледников [16].

По данным исследований [3], наблюдаются изменения стока, связанные с таянием ледников и многолетних снежников. В горных системах, расположенных в верховьях реки Янцзы, также наблюдается сокращение высокогорного оледенения [17].

Бассейн реки Шахимардан расположен на северных склонах Алайского хребта. Река Шахимардан является трансграничным речным бассейном, расположенным на территории Узбекистана и Кыргызстана. Ледниковая зона расположена на территории Кыргызстана, основная часть стока реки Шахимардан используется на орошение в Узбекистане и водоснабжения Ферганы и окрестностей. На реке имеется гидрологический пост и гидрометеорологическая станция.

Средний многолетний расход воды 11,6 м³/с, норма расхода 9,66 м³/с, среднегодовой сток 304 млн м³ (на створе «Павулган»), в средний по водообеспеченности год — 275 млн м³, что составляет 1,5 % стока Ферганской долины. В паводки расход достигает 64 м³/с. Средняя минерализация воды в вегетационный период 0,24 г/л, в невегетационный период — 0,18 г/л.

Цель и задачи работы. Цель исследований – выявить гидрологические особенности стока реки Шахимардан и определить основные параметры гидрологического режима реки для прогнозирования различными методами. Задачи исследований: определить гидрологические особенности формирования стока реки Шахимардан и показать различия внутригодового распределения стока и за многолетний период.

Объект исследований – гидрологический режим реки Шахимардан и возможности его математического моделирования. Предмет исследований – математическое моделирование гидрологического режима стока реки Шахимардан с разбивкой на талую снеговую и ледниковую составляющие.

Материалы и методы. Для выявления особенностей гидрологического режима реки Шахимардан использовались материалы гидрологических наблюдений на посту «выше реки Дуговая» и гидрометеорологических наблюдений на метеостанции «Шахимардан». Для определения гидрологических характеристик использовалось математическое моделирование процесса формирования стока в период вегетации и многофакторный статистический метод, используемый для описания изменчивости среди наблюдаемых, коррелированных переменных с точки зрения потенциально меньшего числа ненаблюдаемых переменных, называемых факторами, которые изложены ниже.

Математическая модель. Формирование стока горной реки происходит в результате таяния выпавшего зимой снежного покрова, таяния ледников летом, притока грунтовых вод и дождей.

Для построения математической модели формирования стока необходимо рассмотреть режим хода гидрометеорологических параметров, формирующих сток реки. Основным фактором, определяющим сток реки, являются осадки.

Рассмотрим графическое представление режима осадков в бассейне реки Шахимардан. На рис. 1 представлен график осадков по месяцам, по которому затруднительно выделить режим выпадения осадков в течение года. На рис. 2 представлен режим осадков на станции Шахимардан в виде суммы осадков за период наблюдений для каждого месяца отдельно. Становится сразу заметно, что в весенний период идет нарастание количества осадков до мая и затем идет спад вплоть до сентября. Иногда в сентябре осадки вообще не наблюдаются. Затем в октябре вновь начинают идти осадки. На этом рисунке наглядно представлен режим осадков в течение года. И хотя река относится к ледниково-снеговому типу питания, осадки за май-июль составляют значительный вклад в сток реки.

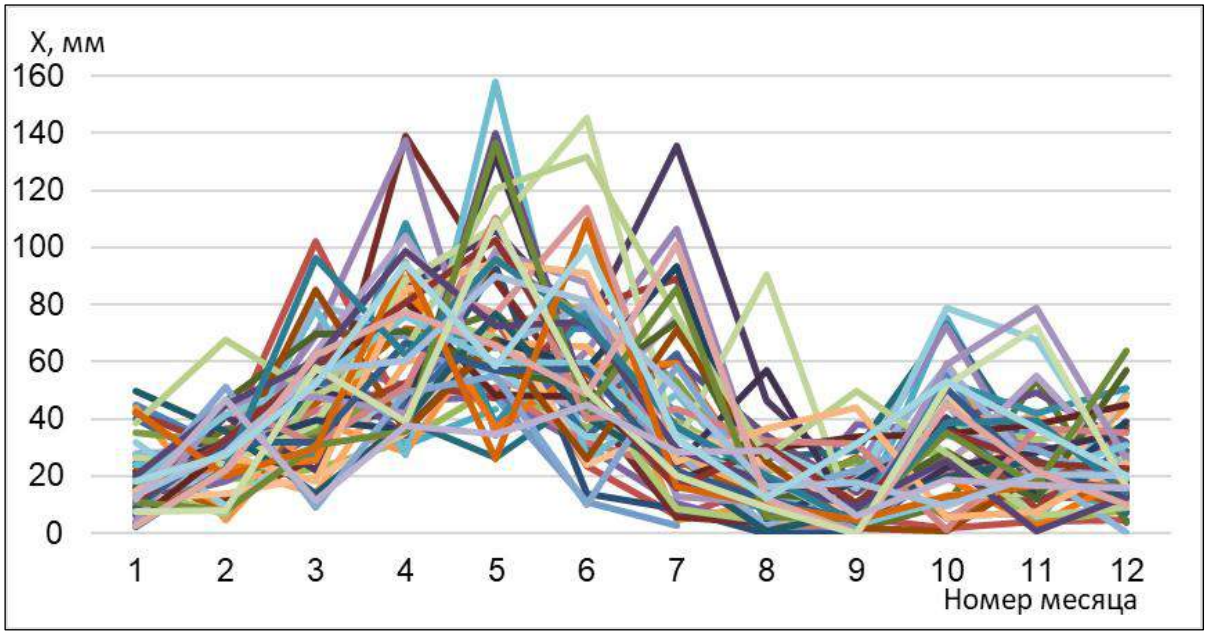


Рис. 1. Внутригодовое распределение осадков по одной станции Шахимардан по месяцам в среднем за период 1972-2024 годы

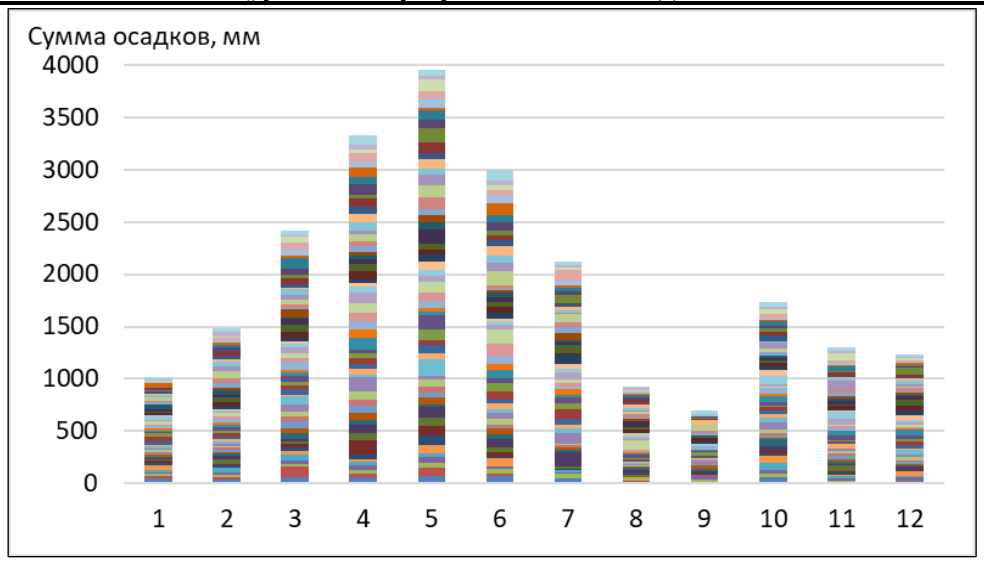


Рис. 2. Накопление сумм осадков по месяцам по метеостанции Шахимардан в среднем за период 1972 по 2024 годы

На рис. 3 представлен совмещенный график нормированных величин стока за период вегетации и суммы зимних осадков и стока реки Шахимардан, приведены полиномиальные тренды.

Вклад талой снеговой составляющей в сток реки Шахимардан имеет большое значение, так идет накопление снегового слоя за несколько зимних месяцев в период октябрь – март на горной территории бассейна при отрицательных температурах.

Если сток формируется пропорционально зимним осадкам, выпадающим на территории водосбора, таянию сезонных снегов и ледников, то в общем виде уравнение водного баланса на определенный период можно записать в виде:

$$Q = \alpha * P + \beta * T + \gamma \,, \qquad (1)$$

где: Q — приток воды в русло реки, P – осадки на водосборной площади, T - температура воздуха на метеостанции, α, β — коэффициенты пропорциональности, γ — некоторый постоянный коэффициент, характеризующий приток грунтовых вод и таяние снежников в оврагах.

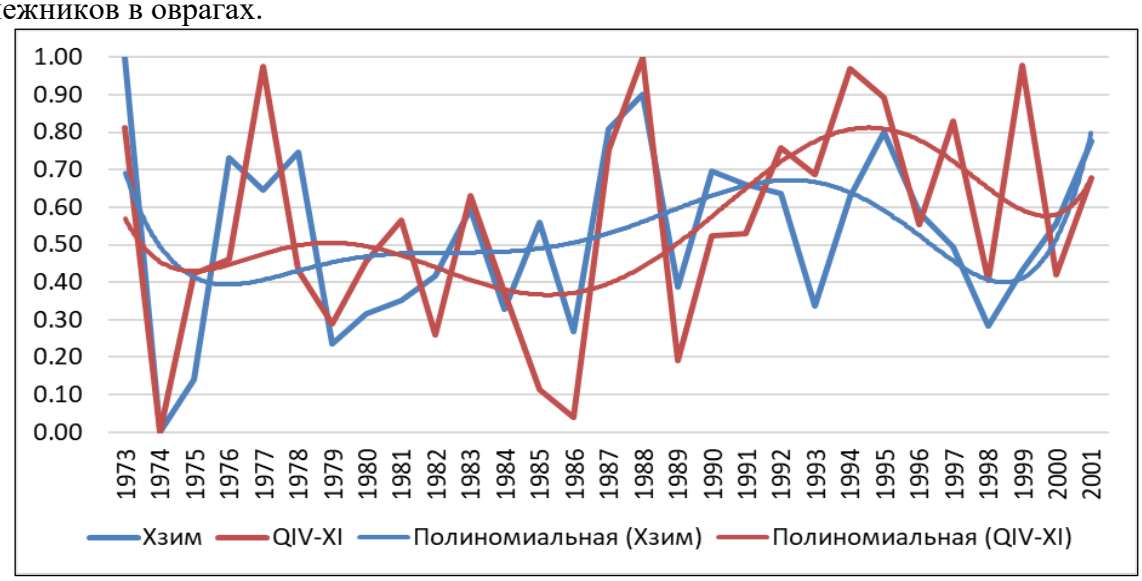


Рис. 3. Совмещенный график нормированных величин стока за период вегетации и суммы зимних осадков и стока реки Шахимардан. Приведены полиномиальные тренды

Для вегетационного периода использовано уравнение пропорциональности количества воды от количества осадков за зимний период (октябрь-март) количеству талых вод ледникового стока за летний период (июль-август):

$$Q_{IV-IX} = \alpha * P_{Winter} + \beta * T_{Summer} + \gamma, \quad (2)$$

где: Q_{IV-IX} - объем стока за вегетационный период (апрель-сентябрь), P_{Winter} - сумма осадков за период с ноября по март, T_{Summer} - сумма температур воздуха за летний период.

На рис. 4 приведен график измеренных и рассчитанных расходов воды по уравнению (2) и полиномиальные тренды за многолетний период. Заметна хорошая сходимость трендов, однако в некоторые периоды наблюдается расхождение расчетных и измеренных расходов воды.

Значения коэффициентов множественной регрессии были получены в нормализованном виде (стандартизированная форма уравнения регрессии): $t_y = 0{,}609x_1 + 0{,}0118x_2$; коэффициент детерминации: $R^2 = 0{,}611^2 = 0{,}3733$.

Коэффициент регрессии в данном случае заметно мал. Это обстоятельство объясняется значительным превышением количества осадков в период апрель-июнь над количеством осадков в зимний период.

В работе [5] предложен способ представления обыкновенного дифференциального уравнения в виде разностной схемы на основе явной схемы Эйлера, а для расчетов предлагается использовать неявную схему. Для прогнозирования неявная схема не подходит, так как прогнозирование осадков и температуры на длительный период практически невозможно. В исследовании [4] это доказано на практическом материале и показано, что использование усредненных значений в качестве входных параметров также усредняет конечные результаты.

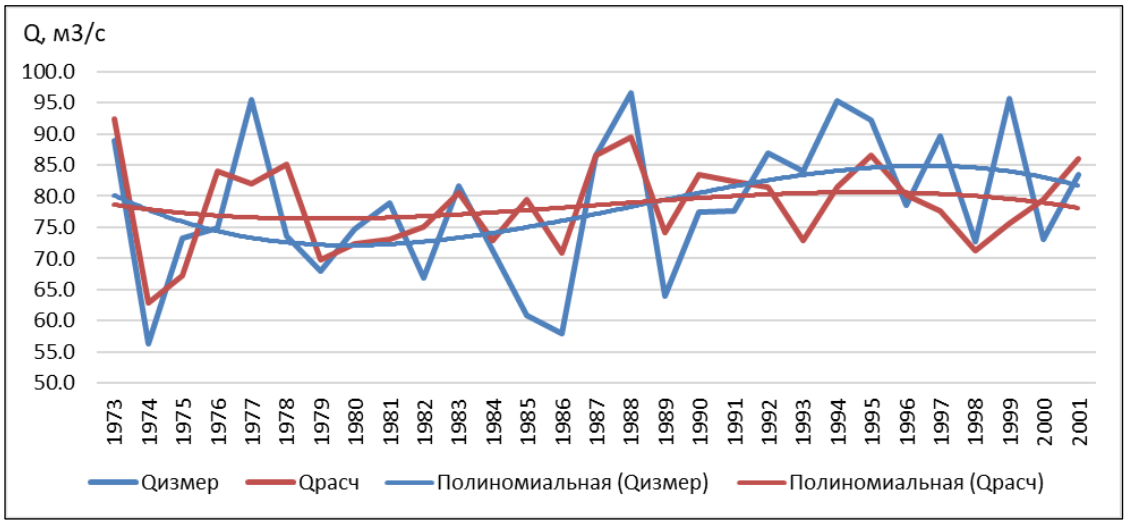


Рис. 4. Совмещенный гидрограф расходов воды за период вегетации и полиномиальные тренды для реки Шахимардан

Для моделирования речного стока использовалось уравнение водного баланса речного бассейна, которое было представлено явной схемой Эйлера для обыкновенных дифференциальных уравнений и в результате преобразований в упрощенном виде выглядит следующим образом:

$$Q^{t+1} = \alpha * Q^{t} + \tau * \beta * (\Sigma P - \Sigma R)^{t} \quad (3)$$

В уравнении: Q – расход воды в замыкающем створе на временном шаге «t» и «t+1», «ΣP» и «ΣR» – сумма приходных и расходных элементов водного баланса, зависящих от гидрометеорологических параметров, τ – временной шаг, «α» и «β» – коэффициенты, определяемые методом множественной регрессии.

Отметим, что в расчетной схеме отсутствует свободный член уравнения регрессии, поскольку его наличие при выполнении прогностических расчетов на период, приводит к накоплению значительной погрешности расчетов. Для нахождения коэффициентов уравнения регрессии использовались материалы наблюдений метеорологических станций в бассейне реки Шахимардан и гидрологического поста в замыкающем створе.

Факторный анализ. Факторный анализ — это статистический метод, используемый для описания изменчивости среди наблюдаемых, коррелированных переменных с точки зрения потенциально меньшего числа ненаблюдаемых переменных, называемых факторами. Например, возможно, что вариации в шести наблюдаемых переменных в основном отражают вариации в двух ненаблюдаемых (базовых) переменных.

Как указано в [3, 5], сток воды формируется под воздействием различных факторов; запишем это обстоятельство в виде модели:

$$Q_{river}^{t+1} = \alpha * Q_{river}^{t} + \beta * \sum_i P_i^t + \lambda * P^t + \gamma * T_{glacial}^t \quad (4)$$

где Q_{river}^{t+1} - расход воды на участке реки в момент времени t +1, Q_{river}^{t}- расход воды на участке реки за предыдущий момент времени, $\sum_i P$ - количество осадков за зимний период, P^t - осадки за предыдущее время, T^t - температура воздуха за предыдущий период времени. По построенному уравнению (4) определены коэффициенты множественной регрессии (α, β, λ, γ) для участка реки Шахимардан для различных месяцев периода вегетации (Таблица 1). Предложенный подход позволил разложить гидрограф сезонного половодья на две составляющие – снеговую и ледниковую.

Таблица 1

Стандартизированные уравнения и коэффициент регрессии
для стока реки Шахимардан по месяцам за период 1973-2024 годы

	Стандартизированная форма уравнения регрессии	Коэффициент детерминации
Апрель	$t_y = 0.875x_1 + 0.169x_2 + 0.104x_3$	$R^2 = 0.9057^2 = 0.8202$
Май	$t_y = 0.400x_1 + 0.333x_2 + 0.209x_3 + 0.370x_4$	$R^2 = 0.7458^2 = 0.5563$
Июнь	$t_y = 0.311x_1 + 0.164x_2 + 0.426x_3 + 0.443x_4$	$R^2 = 0.6545^2 = 0.4283$
Июль	$t_y = 0.420x_1 + 0.222x_2 + 0.602x_3 + 0.279x_4$	$R^2 = 0.7258^2 = 0.5268$
Август	$t_y = 0.721x_1 + 0.014x_2 + 0.230x_3 + 0.363x_4$	$R^2 = 0.8057^2 = 0.6492$
Сентябрь	$t_y = 0.856x_1 - 0.007x_2 - 0.036x_3 + 0.382x_4$	$R^2 = 0.8665^2 = 0.7509$

Примечание: t_y – расход воды, x_1- сток за предыдущий месяц, x_2- сумма осадков за зиму, x_3 - осадки, x_4- температура воздуха

Анализ коэффициентов стандартизированных уравнений регрессии показывает, что зависимость стока снижается к июню и затем повышается к сентябрю от расходов воды за предыдущий месяц (x_1). Зависимость от суммы зимних осадков (x_2) снижается от начала периода вегетации к его концу. Зависимость от осадков месяца (x_3) повышается до июля и снижается к сентябрю, причем в сентябре снижается значительно. Зависимость от температуры воздуха в бассейне (x_4) практически одинакова, с максимальным значением в июне.

Результаты и их обсуждение. Динамика коэффициентов регрессии ледникового стока объясняется уменьшением запасов водной составляющей ледников. Увеличение высоты нулевой изотермы в высокогорной зоне приводит не только к сокращению стока, но и позволяет предположить, что речной сток в большей степени будет определяться

режимом сезонных снегозапасов и в меньшей степени температурным режимом в летний период.

Определение вклада ледниковой составляющей позволяет выявить зависимость ледникового стока от температурного режима в бассейне реки Шахимардан. В различных бассейнах высокогорных рек вклад ледниковой составляющей колеблется от 10% до 30%.

Динамические изменения температурного режима воздуха приводят к изменению процессов абляции и таяния. При резком повышении температуры воздуха происходят процессы, повышающие снеговую линию и, следовательно, последующее резкое повышение температуры воздуха не приводит к увеличению ледниковой составляющей.

В бассейне реки Шахимардан наблюдаются различные значения ледникового стока в зависимости от сезонных климатических параметров. Увеличение зимних осадков и летних температур воздуха приводит к увеличению ледникового стока. Изменение осадков в сторону понижения и более низкие летние температуры воздуха приводят к уменьшению ледникового стока.

В связи с тем, что на таяние ледников, помимо температуры воздуха, влияет и количество солнечной радиации, достигающей поверхности ледника, снежный покров и ледники на северных склонах гор тают медленнее, чем на южных.

Выводы. В результате многофакторного анализа получены материалы, позволяющие сделать выводы о применимости метода нахождения объемов ледникового стока для бассейнов горных рек. Разделение на составляющие стока часто имеет комбинированный характер. В период, когда на склонах еще лежит снег, а температура воздуха уже положительная, происходит одновременное таяние как снега, так и льда на ледниках. В этот период снеговой и ледниковый стоки имеют комбинированное происхождение.

Динамика линии тренда ледникового стока (рис. 4) объясняется уменьшением запасов водной составляющей ледников. Увеличение высоты нулевой изотермы в высокогорной зоне приводит не только к сокращению стока, но и позволяет предположить, что речной сток в большей степени будет определяться режимом сезонных снегозапасов и в меньшей степени температурным режимом в летний период.

Динамические изменения температурного режима воздуха приводят к изменению процессов абляции и таяния. При резком повышении температуры воздуха происходят процессы, повышающие границу снеговой линии и последующее резкое повышение температуры воздуха не приводит к увеличению ледниковой составляющей.

Основная сложность распространения данной методики на другие территории заключается в том, что на северных склонах Алайского хребта с высокогорным оледенением отсутствуют метеорологические станции наблюдений. Во-первых, эти территории находятся на территории Кыргызстана, а сток рек используется в основном в Узбекистане. Это одна из основных проблем гидрологических прогнозов на трансграничных реках. Вторая проблема – это труднодоступность высокогорных метеорологических станций и высокая стоимость наблюдений.

Использованная литература:

1. Айзен В., Айзен Э., Кузьмичонок В. Ледники и гидрологические изменения в Тянь-Шане: моделирование и прогнозирование. 2007. Environmental Research Letters 2(4)045019. doi:10.1088/1748-9326/2/4/045019

2. Вода и изменение климата (2020). ISBN 978-92-3-100371-4. ЮНЕСКО, 236 стр. www.unesco.org/water/wwap

3. Гавриленко Н.Н., Мягков С.В., Мягков С.С., Гофуров Т.К. Оценка ледникового стока в бассейне реки Сох графо-статистическим методом // Известия Географического общества Узбекистана. 2020. Т. 58. С. 225-231.

4. Кузьменко Я.В., Лисецкий Ф.Н., Пичура В.И. Оценка и прогнозирование стока малых рек в условиях антропогенного воздействия и изменения климата // Современные проблемы науки и образования. 2012. № 6. Электронный доступ: https://science-education.ru/ru/article/view?id=7640 .

5. Меркулова Н. Н., Михайлов М.Д. Разностные схемы для обыкновенных дифференциальных уравнений. Томск, 2014. 122 с.

6. Мягков С.В., Мягков С.С., Хабибуллаев Ш.Х. Сток горных рек как индикатор изменения климата // Центральноазиатский журнал географических исследований. 2022. № 3-4. С. 73-81.

7. Сагдеев Н.З., Акрамов И. Отдельные результаты мониторинга гидрологических постов Ферганской долины // Центральноазиатский журнал географических исследований. 2024. № 1-2. С. 94-106.

8. Arnell N. (1999), *Climate change and global water resources. Global Environmental Change*, Washington, pp. 31-49.

9. Bliss, A, Hock, R and Radić, V (2014), Global response to glacier runoff to twenty-first century climate change, *J. Geophys. Res*., 119(4), pp. 717–730 (doi: 10.1002/2013jf002931)

10. Fillon RH, Williams DF (1984), Dynamics of meltwater discharge from Northern Hemisphere ice sheets during the last deglaciation, *Nature*, No.310. pp. 674–677.

11. Fujita, K (2008), Effect of precipitation seasonality on climatic sensitivity of glacier mass balance, *Earth Planet. Sci. Lett.*, 276, pp. 14–19 (doi: 10.1016/j.epsl.2008.08.028)

12. Fujita, K and Nuimura, (2011), Spatially heterogeneous waste of Himalayan glaciers. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA (PNAS)*, 108 (34), pp. 14011–14014 (doi: 10.1073/pnas.1106242108)

13. Hirabayashi, Y, Döll, P and Kanae, S (2010) Global-scale modeling of glacier mass balances for water resource assessments: glacier mass changes between 1948 and 2006. *J. Hydrol.*, 390, pp. 245-256 (doi: 10.1016/j.jhydrol.2010.07.001)

14. IPCC, 2007: Climate Change 2007: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, M. L. Parry, OF Canziani, J. P. Palutikof, P. J. van der Linden and C. E. Hanson, Eds., Cambridge University Press, Cambridge, UK, 976 p.

15. Kaser, G, Großhauser, M and Marzeion, B (2010), Contribution of potential of glaciers to water availability in different climate regimes, *Proc. Natl Acad. Sci. USA (PNAS)*, 107 (47), pp. 20 223 – 20 227 (doi: 10.1073/pnas.1008162107)

16. Lins, H. F. (2012), USGS Hydro-Climatic Data Network 2009 (HCDN–2009): US Geological Survey Fact Sheet 2012–3047, 4 p., available only at https://pubs.usgs.gov/fs/2012/ 3047/.

17. Liu, S, Zhang, Y, Zhang, Y and Ding, Y (2009), Estimation of glacier runoff and future trends in the Yangtze River source region, China, *J. Glaciol.*, 55 (190), pp. 353-362 (doi: 10.3189/002214309788608778)

18. Mallakpour, I., Villarini G. (2015), The changing nature of flooding across the central United States, *Nature Climate Change*, No.5, pp. 250-254.

19. Rodriguez-Iturbe I. and Eagleson P.S. (1987), Mathematical Models of Rainstorm Events in Space and Time, *Water Resources Research*, No. 23, pp. 181-190.

20. Sorg, A., Bolch, T., Stoffel, M., Solomina, O., & Beniston, M. (2012). Climate change impacts on glaciers and runoff in Tien Shan (Central Asia), *Nature Climate Change*, 2(10), pp. 725-731.

21. Teller J. (2017), Volume and Routing of Late-Glacial Runoff from the Southern Laurentide Ice Sheet, Published online by Cambridge University Press.

References:

1. Aizen V., Aizen E. and Kuzmichonok V. (2007), Glaciers and hydrological changes in the Tien Shan: modeling and forecasting, *Environmental Research Letters 2 (4)*, 045019. doi: 10.1088 / 1748-9326 / 2/4/045019 (In Russ.).

2. *Water and Climate Change* (2020). ISBN 978-92-3-100371-4. UNESCO, 236 p. www.unesco.org/water/wwap (In Russ.).

3. Gavrilenko N. N., Myagkov S. V., Myagkov S. S., Gofurov T. K. (2020), Assessment of glacier runoff in the Sokh River basin using a graph-statistical method, *The Annales of the Geographical Society of Uzbekistan*, Vol. 58, pp. 225-231. (In Russ.).

4. Kuzmenko Ya.V., Lisetskiy F.N., Pichura V.I. (2012), Assessment and forecasting of small river runoff under anthropogenic impact and climate change, *Modern problems of science and education*, No. 6. Electronic access: https://science-education.ru/ru/article/view?id=7640. (In Russ.).

5. Merkulova N.N., Mikhailov M.D. (2014), *Difference schemes for ordinary differential equations*, Tomsk, 122 p. (In Russ.).

6. Myagkov S.V., Myagkov S.S., Khabibullaev Sh.Kh. (2022), Runoff of mountain rivers as an indicator of climate change, *Central Asian journal of geographical research*, No. 3-4, pp. 73-81. (In Russ.).

7. Sagdeev N.Z., Akramov I. (2024), Selected results of monitoring hydrological posts in the Fergana Valley, *Central Asian Journal of Geographical Research*, No. 1-2, pp. 94-106. (In Russ.).

8. Arnell N. (1999), *Climate change and global water resources. Global Environmental Change*, Washington, pp. 31-49.

9. Bliss, A, Hock, R and Radić, V (2014), Global response to glacier runoff to twenty-first century climate change, *J. Geophys. Res*., 119(4), pp. 717–730 (doi: 10.1002/2013jf002931)

10. Fillon RH, Williams DF (1984), Dynamics of meltwater discharge from Northern Hemisphere ice sheets during the last deglaciation, *Nature*, No.310. pp. 674–677.

11. Fujita, K (2008), Effect of precipitation seasonality on climatic sensitivity of glacier mass balance, *Earth Planet. Sci. Lett.*, 276, pp. 14–19 (doi: 10.1016/j.epsl.2008.08.028)

12. Fujita, K and Nuimura, (2011), Spatially heterogeneous waste of Himalayan glaciers. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA (PNAS)*, 108 (34), pp. 14011–14014 (doi: 10.1073/pnas.1106242108)

13. Hirabayashi, Y, Döll, P and Kanae, S (2010) Global-scale modeling of glacier mass balances for water resource assessments: glacier mass changes between 1948 and 2006. *J. Hydrol.*, 390, pp. 245-256 (doi: 10.1016/j.jhydrol.2010.07.001)

14. IPCC, 2007: Climate Change 2007: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, M. L. Parry, OF Canziani, J. P. Palutikof, P. J. van der Linden and C. E. Hanson, Eds., Cambridge University Press, Cambridge, UK, 976 p.

15. Kaser, G, Großhauser, M and Marzeion, B (2010), Contribution of potential of glaciers to water availability in different climate regimes, *Proc. Natl Acad. Sci. USA (PNAS)*, 107 (47), pp. 20 223 – 20 227 (doi: 10.1073/pnas.1008162107)

16. Lins, H. F. (2012), USGS Hydro-Climatic Data Network 2009 (HCDN–2009): US Geological Survey Fact Sheet 2012–3047, 4 p., available only at https://pubs.usgs.gov/fs/2012/ 3047/.

17. Liu, S, Zhang, Y, Zhang, Y and Ding, Y (2009), Estimation of glacier runoff and future trends in the Yangtze River source region, China, *J. Glaciol.*, 55 (190), pp. 353-362 (doi: 10.3189/002214309788608778)

18. Mallakpour, I., Villarini G. (2015), The changing nature of flooding across the central United States, *Nature Climate Change*, No.5, pp. 250-254.

19. Rodriguez-Iturbe I. and Eagleson P.S. (1987), Mathematical Models of Rainstorm Events in Space and Time, *Water Resources Research*, No. 23, pp. 181-190.

20. Sorg, A., Bolch, T., Stoffel, M., Solomina, O., & Beniston, M. (2012). Climate change impacts on glaciers and runoff in Tien Shan (Central Asia), *Nature Climate Change*, 2(10), pp. 725-731.

21.Teller J. (2017), Volume and Routing of Late-Glacial Runoff from the Southern Laurentide Ice Sheet, Published online by Cambridge University Press.

Сведения об авторах:

Мягков Сергей Владимирович – Научно-исследовательский гидрометеорологический институт (Ташкент, Узбекистан), доктор технических наук, профессор. E-mail: sergik1961@yahoo.com

Махмудов Бехруз Ботиржон угли – Научно-исследовательский гидрометеорологический институт (Ташкент, Узбекистан), базовый (PhD) докторант

Дергачева Ирина Викторовна – Научно-исследовательский гидрометеорологический институт (Ташкент, Узбекистан), доктор философии (PhD) по географическим наукам

Information about the authors:

Sergey Myagkov – Research Hydrometeorological Institute (Tashkent, Uzbekistan), Doctor of Technical Sciences, Professor. E-mail: sergik1961@yahoo.com

Bekhruz Makhmudov – Research Hydrometeorological Institute (Tashkent, Uzbekistan), basic (PhD) doctoral student

Irina Dergacheva – Research Hydrometeorological Institute (Tashkent, Uzbekistan), PhD in Geography

Для цитирования:

Мягков С.В., Махмудов Б.Б., Дергачёва И.В. Анализ гидрологического режима реки Шахимардан графическим и регрессионным методами // Центральноазиатский журнал географических исследований. 2025. № 3-4. С. 48-59.

For citation:

Myagkov S.V., Makhmudov B.B., Dergachyova I.V. (2025), Analysis of the hydrological regime of the Shakhimardan river by graphic and regression methods, *Central Asian Journal of Geographical Researches*, No. 3-4, pp. 48-59.

УДК 631.587(575.1) https://doi.org/10.5281/zenodo.18033599

Чембарисов Э.И.[1], Баллиев А.И.[2], Реймова Г.Б.[1]

[1]Научно-исследовательский институт ирригации и водных проблем, Ташкент, Узбекистан
[2]Международный центр стратегических разработки исследований в области продовольствия и сельского хозяйства (I-SCAD) при Министерстве сельского хозяйства Республики Узбекистан, Ташкент, Узбекистан

ПРОГНОЗИРОВАНИЕ СОДЕРЖАНИЯ ГЛАВНЫХ ИОНОВ В ВОДЕ ПРИ ИЗВЕСТНОЙ ВЕЛИЧИНЕ МИНЕРАЛИЗАЦИИ

Аннотация. *В исследовании проанализированы данные химического анализа воды нижнего течения реки Амударьи, магистральных коллекторов и малых локальных озер в Республике Каракалпакстан за 2022-2023 гг. Цель исследования заключалась в анализе химического состава поверхностных вод Республики Каракалпакстан и выводе эмпирических зависимостей содержания главных ионов (HCO_3^-, Cl^-, SO_4^{2-}, Ca^{2+}, Mg^{2+}, Na^+) от величины минерализации. Анализ химического состава речной воды показал, что при движении речной воды от верховий к низовьям преобладающий химический состав изменяется с гидрокарбонатно-сульфатного–кальциево-натриевого (ГС-КН) на хлоридно-сульфатный–магниево-кальциево-натриевый (ХС-МКН). Полученные уравнения имеют тесную связь с исходными данными (коэффициенты детерминации R^2 = 0,80…0,94). В воде рассмотренных коллекторов КС-1, КС-3, КС-4 и ККС среди анионов преобладает сульфатный ион, на втором месте – хлоридный ион, на третьем – гидрокарбонатный ион. При этом преобладающий химический состав хлоридно-сульфатный-магниево-кальциево-натриевый (ХС-МКН). Такой же химический состав наблюдается в воде озер Судочье, Междуречье, Каратерень, Жилтырбас.*

Ключевые слова: *Амударья, магистральные коллектора, малые локальные озера, главные ионы, минерализация, Аральское море, Центральная Азия, экология.*

Chembarisov E.I.[1], Balliyev A.I.[2], Reymova G.B.[1]

[1]Research Institute of Irrigation and Water Problems, Tashkent, Uzbekistan
[2]International Centre for Food and Agriculture Strategic Development and Research (I-SCAD) under the Ministry of Agriculture of the Republic of Uzbekistan, Tashkent, Uzbekistan

PREDICTING THE CONTENT OF MAJOR IONS IN WATER GIVEN A KNOWN MINERALIZATION VALUE

Abstract. *The study utilized data from chemical analyses of water from the lower reaches of the Amu Darya River, main collectors, and small local lakes in the Republic of Karakalpakstan for 2022-2023. The aim of the research was to analyze the chemical composition of surface waters in the Republic of Karakalpakstan and derive empirical relationships for assessing the content of major ions (HCO_3^-, Cl^-, SO_4^{2-}, Ca^{2+}, Mg^{2+}, Na^+) based on the level of mineralization. Analysis of the river water's chemical composition revealed that as the water flows from the upper to the lower reaches, the predominant chemical composition changes from hydrocarbonate-sulfate-calcium-sodium (HS-CN) to chloride-sulfate-magnesium-calcium-sodium (CS-MCN). The derived equations show a strong correlation with the initial data (determination coefficients R^2 = 0.80...0.94). In the water of the examined collectors KS-1, KS-3, KS-4, and KKS, the sulfate ion dominates among anions, followed by the chloride ion, and then the hydrocarbonate ion. The predominant chemical composition is chloride-sulfate-magnesium-calcium-sodium (CS-MCN), which is also observed in the waters of the small local lakes Sudochye, Mezhdurechye, Karateren, and Zhyltyrbas.*

Key words: *Amu-Darya, main canals, small local lakes, main ions, mineralization, Aral Sea, Central Asia, ecology.*

Введение и постановка проблемы. Аральское море, расположенное в Центральной Азии, претерпело значительные изменения площади поверхности из-за совокупного воздействия изменения климата и деятельности человека. Это сокращение привело к региональному экологическому кризису и серьезным последствиям [25]. Высыхание Аральского моря в настоящее время вызывает комплекс негативных процессов в этом регионе: изменение экосистемы самого моря, усиление континентальности климата, опустынивание и деградацию пастбищ и орошаемых земель, загрязнение и истощение имеющихся водных ресурсов. Аральское море стало масштабной техногенной экологической и гуманитарной катастрофой. Его современная регрессия была вызвана в первую очередь нерациональным использованием водных ресурсов для орошения. Однако, некоторые ученые полагают, что подобное могло происходить в прошлом из-за изменчивости стоков Амударьи и Сырдарьи [22]. В то же время высыхание Аральского моря усугубляется изменением климата и увеличением фактической эвапотранспирации [23].

Анализ существующих материалов показал, что при этом изменились магистральные коллектора и лимнические экосистемы (озера и различные водоемы) из-за непоступления в них речного стока в отдельные годы. В некоторых водоемах изменился источник питания. Часто вместо поступления речного стока р. Амударьи, в них стали попадать коллекторно-дренажные стоки с орошаемых территорий. В связи с этим возникла необходимость изучения не только гидрологических, но и гидрохимических характеристик магистральных коллекторов и различных водоемов отмеченного региона [4–20].

Научно-практическая значимость результатов представляемой работы заключается в том, что полученные эмпирические зависимости позволяют оценить содержание главных ионов по известной величине минерализации. Это может быть полезным при отсутствии у исследователя возможности оценить концентрации анионов и катионов. При наличии цифрового тестера TDS-метра для оценки общего количества растворенных в воде солей.

Изученность вопроса. Различные гидрологические и гидрохимические характеристики коллекторно-дренажных вод Республики Каракалпакстан в прошедшие годы изучались многими учёными, в частности, А.У. Усмановым [15], Э.И. Чембарисовым [4,14,18,19], Б.А. Бахритдиновым [18], Ч.А. Абдировым [1], М.А. Якубовым [20], Б.Е. Аденбаевым [2,3], Ф.Х. Хикматовым [2]. Среди исследований гидрологических и гидрохимических характеристик озер дельты Амударья следует отметить работы Ч.А. Абдирова [1], Д. Ешимбаева [6], Б.Е. Аденбаева [2,3], А.Р. Курбанова [8], С.Б. Калабаева [3,7], Д.Н. Жангабаева [7].

В монографии Н.Н. Ходжибаева и В.Г. Сомойленко [16] приведена систематизация методов оценки гидрогеологических параметров (гидрохимические и фильтрационные) на базе гидрорежимной информации. Параметры оцениваются в свете дальнейшего использования их для обоснования прогнозов, поэтому особое внимание уделено принципам выбора расчетных значений параметров с учетом вероятной изменчивости под влиянием орошения земель и за счет естественной неоднородности геолого-гидрогеологических полей.

В монографии О.Д. Мурадова, Г.Ю. Валукониса, Ш.О. Мурадова [9] освещены вопросы эффективного и рационального использования орошаемых земель и оросительной воды, пути совершенствования коллекторно-дренажной сети. Авторами впервые изучены некоторые закономерности метаморфизации химического состава грунтовых вод в связи с орошением, предпринят прогноз вторичного засоления почв.

Н.Н. Ходжибаев, Л.З. Шерфединов [17], изучая вопросы гидрогеологического прогнозирования в аридных областях, приводят новую логико-математическую модель гидрогеологического процесса орошаемых массивов и на ее основе оценивают изменение гидрохимической обстановки в ряде районов аридной зоны.

Л.Н. Горев, В.И. Пелешенко [5] при описании предлагаемого математического моделирования влияния орошения на гидрохимический режим речного бассейна отмечают, что методы прогнозирования основаны на математическом моделировании процессов перемещения солей в толще активного водообмена, на сравнении величин стока ионов в створах, расположенных выше и ниже оросительной системы (бассейновый метод) и на вероятностно-статистическом анализе данных о химическом составе речных вод за длительный промежуток времени в створах, расположенных ниже орошаемых земель. При этом количественная оценка влияния оросительных мелиораций на ионный состав речных вод выполняется с помощью комплекса предельных величин, значения которых находятся экспериментально и путем математического моделирования процессов перемещения солей в толще активного водосолеобмена с учетом солеотдачи пород под влиянием инфильтрации природных и оросительных вод.

В диссертации А.И. Сергеева [13] создана математическая модель системы «Река-орошаемая территория», описывающая взаимодействие ирригационной системы и рек. Адекватность модели, принятые гипотезы и эвристические соображения при её построении проверены на примере речных бассейнов Сырдарьи (Ферганская долина, Чирчик-Ахангаранский ирригационный район (ЧАКИР)) и Мургаба (Мургабский оазис).

В упомянутых публикациях различных авторов, в основном, приведены гидрологические и гидрохимические данные по коллекторным водам Южного Приаралья за прошедшие годы, перед авторами же стояла задача выполнить анализ гидрохимической ситуации за период 2022–2023 гг., а также описать способ прогнозирования содержания главных ионов при известной величине минерализации.

Цель и задачи работы. Цель исследования заключалась в анализе химического состава поверхностных вод Республики Каракалпакстан и выводе эмпирических зависимостей для оценки содержания главных ионов.

В основные задачи исследований входило:

- определение прогнозных зависимостей содержания главных ионов при известной величине минерализации для следующих гидропостов р.Амударьи: Туямуюн, Кипчак, Саманбай, Кызылджар;
- определение прогнозных зависимостей содержания главных ионов при известной величине минерализации для магистральных коллекторов КС-1, КС-3, КС-4, ККС;
- определение прогнозных зависимостей содержания главных ионов при известной величине минерализации для малых локальных озер (Судочье, Междуречье, Каратерень (восточный), Жилтырбас).

Материалы и методы исследования. В настоящем исследовании была использована база данных Научно-исследовательского института ирригации и водных проблем по изменению водного и гидрохимического режима речных и коллекторно-дренажных вод бассейна Аральского моря, данные гидрохимического анализа вод нижнего течения реки Амударьи, магистральных коллекторов КС-1, КС-3, КС-4, ККС и малых локальных озер (Судочье, Междуречье, Каратерень (восточный), Жилтырбас) за 2022–2023 гг. Путем статистической обработки этих данных получены уравнения зависимости содержания главных ионов (HCO_3^-, Cl^-, SO_4^{2-}, Ca^{2+}, Mg^{2+}, Na^+) от величины минерализации М. Обработка данных и графическое оформление результатов исследования выполнены в электронных таблицах Microsoft Office Excel (ver. 16.10 Build 180124 (2018)).

При оценке перспективных изменений качества речных вод различными исследователями применяется гидрологический подход, при котором взаимоотношения в объекте «речная система – орошаемая территория» рассматриваются через результирующие показатели изменчивости стока в основной реке. Наиболее детально этот подход освещен в работах Ф.Э. Рубиновой [10,11,12].

Одним из существующих методов прогнозирования качества речных вод является бассейновый ландшафтно-галогеохимический метод (разработан И.Н. Степановым и Э.И. Чембарисовым) [14, 18].

При этом для расчета перспективной интегральной среднегодовой величины минерализации в замыкающих створах рек применяется следующая рабочая формула:

$$M_{ор}=M_{нач}+aF_{эф},$$

где $M_{ор}$ и $M_{нач}$ – минерализация речной воды ниже и выше орошаемой площади в бассейне или ирригационном районе,

$F_{эф}$ – эффективная, т. Ее дренируемая рекой часть орошаемой площади (в условиях Средней Азии это, в первую очередь, площади, занятые хлопчатником, рисом и т.д.),

А – коэффициент, учитывающий в интегральной форме солеотдачу в различной степени засоленных орошаемых почв (с присущими им грунтовыми водами), модуль коллекторного стока и расходы воды в реке.

Этот метод расчета, основанный на взаимосвязи минерализации речной воды с величиной орошаемой площади различного засоления при одновременном учете минерализации грунтовых вод (формирование минерализации речных вод в орошаемой зоне рассматривается площадным способом за пределами русла), и вошел в практику под названием бассейнового ландшафтно-галогеохимического метода.

Результаты и их обсуждение. *Анализ химического состава речной воды.* Проведен анализ изменения качества воды в низовьях р. Амударьи, сток которой используется для орошения сельскохозяйственных культур. В низовьях реки у гидропоста г. Нукус (кишл. Саманбай) среди анионов преобладает сульфат-ион SO_4^{2-}, на втором месте – хлорид-ион Cl^-, на третьем – гидрокарбонат-ион HCO_3^-. В пробах воды у гидропоста кишл. Кызылджар среди анионов преобладает сульфат-ион SO_4^{2-}, на втором месте – хлорид-ион Cl^-, содержание гидрокарбонат-иона HCO_3^- было незначительным. Можно установить, что при движении речной воды от верховий к низовьям преобладающий химический состав изменяется с гидрокарбонатно-сульфатного–кальциево-натриевого (ГС–КН) на хлоридно-сульфатный–магниево-кальциево-натриевый (ХС–МКН). В результате математической обработки данных получены математические зависимости содержания главных ионов от величины минерализации воды (табл. 1, рис. 1). По приведенным уравнениям можно определить содержание отдельных ионов (Ca^{2+}, Mg^{2+}, Na^+, HCO_3^-, Cl^-, SO_4^{2-}, в мг/л) при известной величине минерализации (М, в мг/л) воды.

Таблица 1

Уравнения зависимостей содержания главных ионов от величины минерализации (в мг/л) воды в гидропостах низовьев р. Амударья

Наименование гидропостов	Анионы	R^2	Катионы	R^2
Туямуюн	SO_4^{2-} = 0,2457M+84,718	0,86	Na^+ = 0,0315M+92,871	0,49
	Cl^- = 0,0992M+44,756	0,94	Ca^{2+} = 0,0654M+41,652	0,62
	HCO_3^- = 0,1005M+83,139	0,94	Mg^{2+} = 0,0363M+1,0871	0,96
Кипчак	SO_4^{2-} = 0,4924M-99,94	0,99	Na^+ = 0,1431M+22,071	0,73
	Cl^- = 0,1753M-14,738	0,99	Ca^{2+} = 0,0829M+0,7	0,92
	HCO_3^- = 0,036M+112,02	0,30	Mg^{2+} = 0,0693M+19,771	0,75
Саманбай	SO_4^{2-} = 0,458M-73,151	0,98	Na^+ = 0,1848M-21,512	0,83
	Cl^- = 0,1909M-27,851	0,98	Ca^{2+} = 0,0689M+20,033	0,71
	HCO_3^- = 0,0428M+109,81	0,42	Mg^{2+} = 0,0546M-7,3279	0,77
Кызылджар	SO_4^{2-} = 0,3827M - 25,763	0,82	Na^+ = 0,2021M - 38,744	0,97
	Cl^- = 0,2177M - 50,377	0,98	Ca^{2+} = 0,0599M+26,631	0,86
	HCO_3^- = 0,0176M + 132,76	0,57	Mg^{2+} = 0,0529M-3,8975	0,97

Таблица составлена авторами по результатам собственных расчётов.

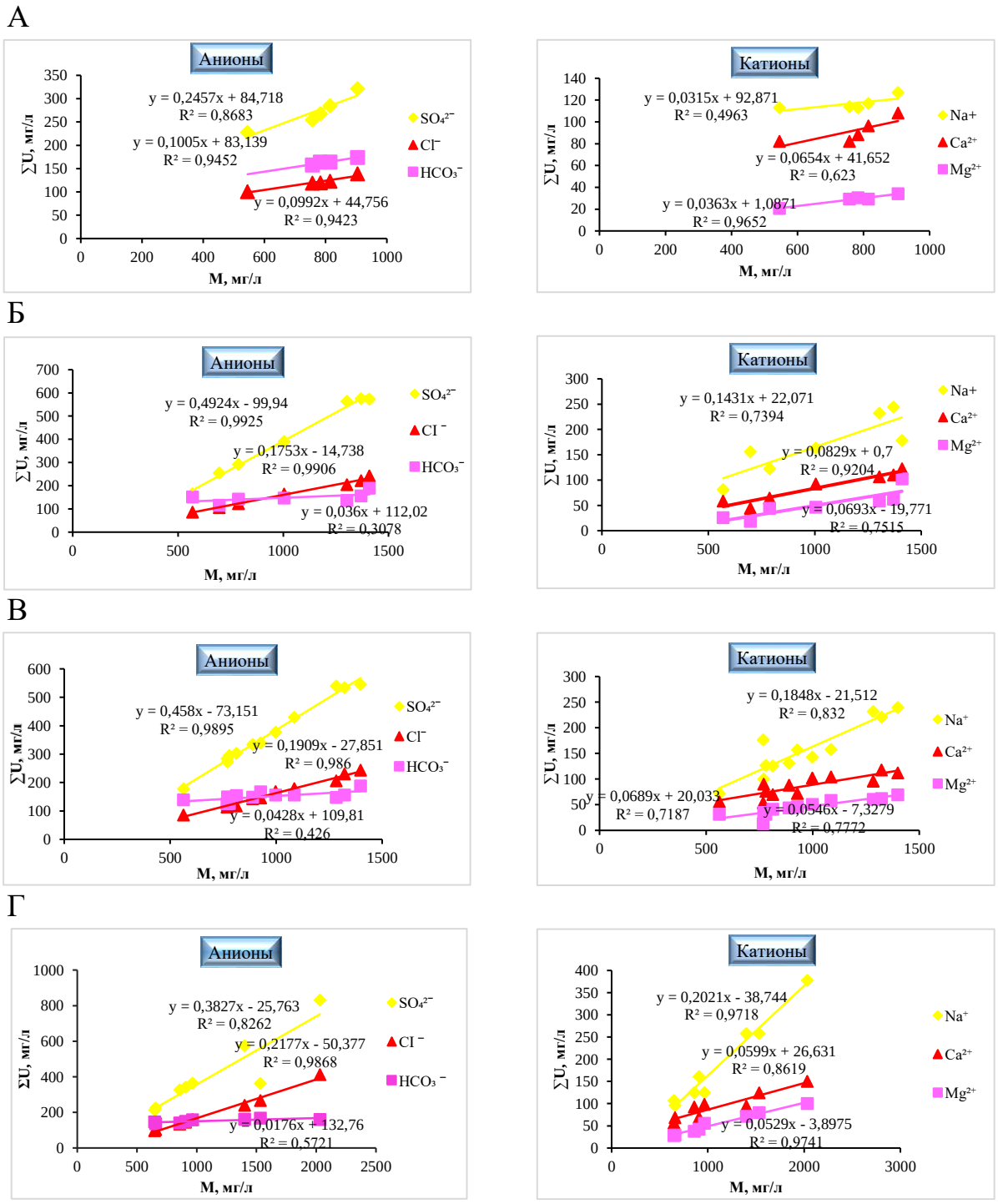


Рис. 1. Графики зависимости содержания главных ионов (Ca^{2+}, Mg^{2+}, Na^{+}, HCO_3^{-}, Cl^{-}, SO_4^{2-}) от величины минерализации на различных гидропостах р. Амударья за 2022 г: А) Туямуюн, Б) Кипчак, В) Саманбай, Г) Кызылджар

Рисунок составлен авторами по результатам собственных расчётов.

Проведенные расчеты показали, что при ожидаемой величине минерализации (М, мг/л) речной воды Амударьи, равной 2000 мг/л, на гидропосту Туямуюн следует ожидать следующие величины содержания главных ионов (в мг/л): HCO_3^{-} =283; SO_4^{2-} =565; Cl^{-} =243; Ca^{2+} =172; Mg^{2+} =73; Na^{+} =155; на посту Кипчак: HCO_3^{-} =184; SO_4^{2-} =880; Cl^{-} =325; Ca^{2+} =165; Mg^{2+} =158; Na^{+} =302; на посту Саманбай: HCO_3^{-} =195; SO_4^{2-} =827; Cl^{-} =352; Ca^{2+} =158; Mg^{2+} =102; Na^{+} =348. на посту Кызылджар: HCO_3^{-} =168; SO_4^{2-} =740; Cl^{-} =385; Ca^{2+} =146; Mg^{2+} =102; Na^{+} =365.

Анализ проб воды, показал, что величину минерализации в основном определяют анионы, так как их концентрация выше, чем катионов. Поэтому связь анионов с величиной минерализации более тесная (коэффициент детерминации R^2 у анионов больше, чем у катионов). Коэффициенты детерминации у анионов находятся в диапазоне 0,30…0,99 с медианным значением $R_1^2 = 0{,}94$. У катионов же они находятся в диапазоне 0,49…0,97 с медианным значением $R_2^2 = 0{,}80$. Таким образом, $R_1^2 > R_2^2$.

Анализ зависимости химического состава коллекторной воды. Авторами были проанализированы математические зависимости содержания главных ионов (HCO_3^-, Cl^-, SO_4^{2-}, Ca^{2+}, Mg^{2+}, Na^+) от величины минерализации (М) и получены уравнения их связи для воды магистральных коллекторов КС-1, КС-3, КС-4, ККС (рис. 2 и табл. 2).

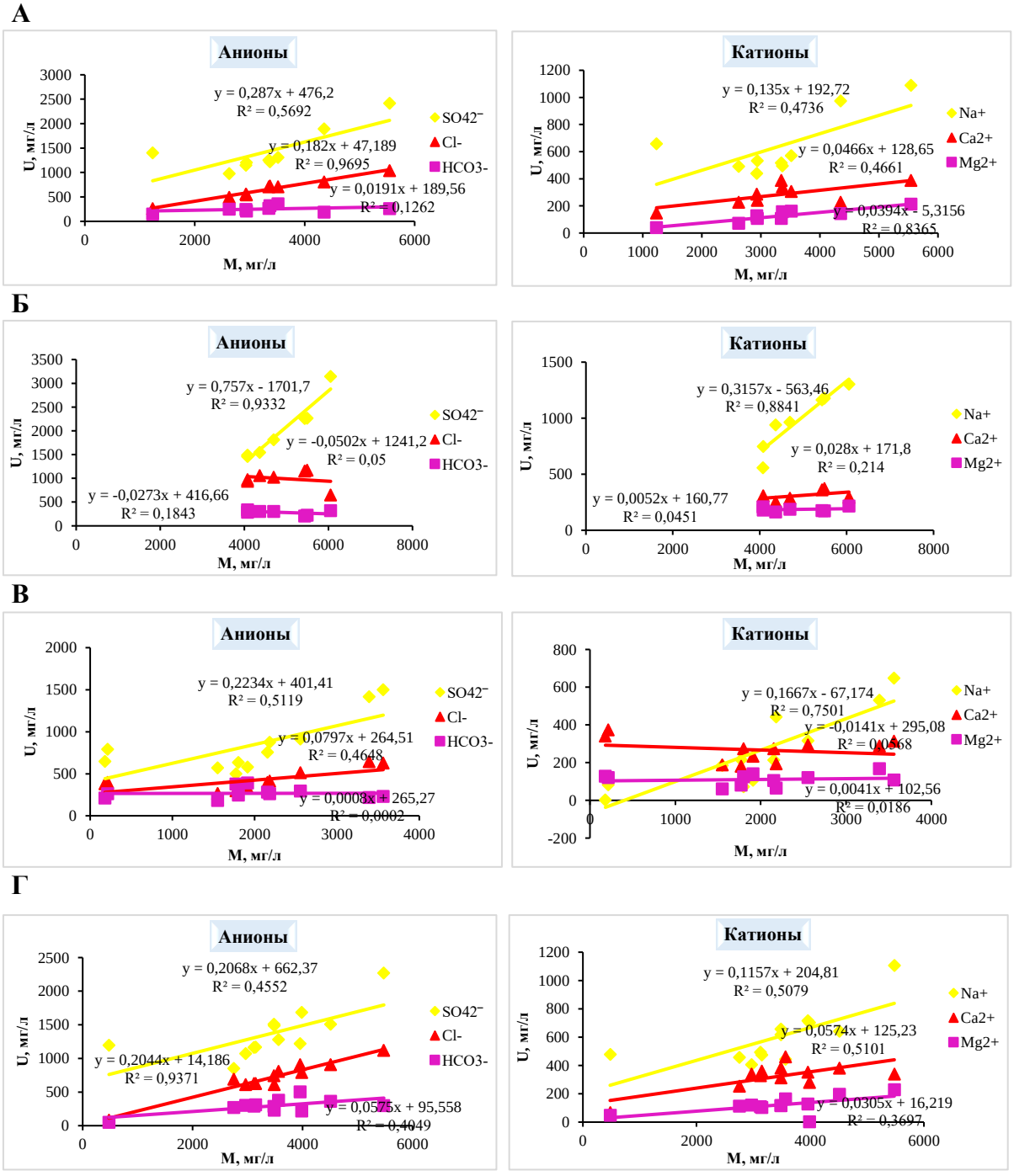


Рис. 2. Графики зависимости содержания главных ионов (Ca^{2+}, Mg^{2+}, Na^+, HCO_3^-, Cl^-, SO_4^{2-}) от величины минерализации (М) магистральных коллекторов за 2023 год: А) КС-1, Б) КС-3, В) КС-4 и Г) ККС

Рисунок составлен авторами по результатам собственных расчётов.

Таблица 2

Уравнения зависимостей содержания главных ионов от величины минерализации (в мг/л) воды в магистральных коллекторах

Наименование коллекторов	Анионы	R^2	Катионы	R^2
КС-1	SO_4^{2-} = 0,287M+476,2	0,56	Na^+ = 0,135M+192,72	0,47
	Cl^- = 0,182M+47,189	0,96	Ca^{2+} = 0,0466M+128,65	0,46
	HCO_3^- = 0,0191M + 189,56	0,12	Mg^{2+} = 0,0394M-5,3156	0,83
КС-3	SO_4^{2-} = 0,757M-1701,7	0,93	Na^+ = 0,3157M-563,46	0,88
	Cl^- = 0,0502M^2 +1241	0,05	Ca^{2+} = 0,028M + 171,8	0,21
	HCO_3^- = -0,0273M+416,66	0,18	Mg^{2+} = 0,0052M + 160,77	0,04
КС-4	SO_4^{2-} = 0,2234M + 401,41	0,51	Na^+ = 0,1667M-67,174	0,75
	Cl^- = 0,0797M+264,51	0,46	Ca^{2+} = 0,0141M + 295	0,05
	HCO_3^- = 0,0008M + 265	0,0002	Mg^{2+} = 0,0041M + 103	0,001
ККС	SO_4^{2-} =0,2068M+662,37	0,45	Na^+ =0,1157M+204,81	0,50
	Cl^- =0,2044M+14,186	0,93	Ca^{2+} =0,0574M+125,23	0,51
	HCO_3^- =0,0575M+95,558	0,40	Mg^{2+} =0,0305M+16,219	0,36

Таблица составлена авторами по результатам собственных расчётов.

В воде коллекторов КС-1, КС-3, КС-4 и ККС среди анионов преобладает сульфатный ион, на втором месте – хлоридный ион, на третьем месте – гидрокарбонатный ион. При этом преобладающий химический состав – хлоридно-сульфатный – магниево-кальциево-натриевый (ХС-МКН).

По приведенным уравнениям можно определить содержание отдельных ионов (Ca^{2+}, Mg^{2+}, Na^+, HCO_3^-, Cl^-, SO_4^{2-} в мг/л), при известной величине минерализация воды (М, мг/л) в коллекторах. В качестве примера, проведен расчет ожидаемого изменения содержания главных ионов на примере коллектора ККС. Если считать, что величина минерализации (М, мг/л) воды коллектора будет равна 4000 мг/л, то, по расчетам по предложенным уравнениям, получены следующие величины содержания главных ионов (в мг/л): HCO_3^- =325,6; SO_4^{2-} =1489,6; Cl^- =831,8; Ca^{2+} =354,8; Mg^{2+}=138,2; Na^+ =667,6.

Анализ проб воды и полученных зависимостей показывает, что связь данных средняя. Коэффициенты детерминации у анионов находятся в диапазоне 0,18…0,96 с медианным значением $R_1^2 = 0{,}485$. Коэффициенты детерминации у катионов находятся в диапазоне 0,22…0,88 с медианным значением $R_2^2 = 0{,}485$. Таким образом, $R_1^2 \approx R_2^2$.

Наибольшая нестабильность связи у гидрокарбонат-иона HCO_3^- (коэффициент детерминации в диапазоне 0,18…0,40), а наиболее выраженная связь у хлорид-иона Cl^- (0,46…0,96). Из катионов наиболее выраженная связь у натрий-иона Na^+ (0,47…0,88), наименее – у магний-иона Mg^{2+} (0,27…0,47). Это выражается в названии вод. Такую лабильность можно объяснить тем, что на коллекторный сток существенное влияние оказывает мелиорация. На полях, кроме орошения, также применяется капитальная промывка. В некоторых районах капитальная промывка засоленных почв требуется два раза в год.

Анализ зависимости химического состава озерной воды. Были проанализированы математические зависимости содержания главных ионов (HCO_3^-, Cl^-, SO_4^{2-}, Ca^{2+}, Mg^{2+}, Na^+) от величины минерализации (М) и получены уравнения их связей для малых локальных водоемов Судочье, Междуречье, Каратерень, Жилтырбас (рис. 3 и табл. 3).

В воде рассмотренных локальных водоемов среди анионов преобладает сульфатный ион (SO_4^{2-}), на втором месте – хлоридный ион (Cl^-), на третьем – гидрокарбонатный ион (HCO_3^-). При этом преобладающий химический состав хлоридно-сульфатный – магниево- кальциево-натриевый (ХС-МКН).

По приведенным уравнениям можно определить содержание отдельных ионов (Ca^{2+}, Mg^{2+}, Na^+, HCO_3^-, Cl^-, SO_4^{2-} в мг/л), при известной величине минерализации воды

(М, мг/л) в малых локальных водоемов. В качестве примере, проведен расчета ожидаемого изменения содержания главных ионов на примере озере Судочье, если в перспективе. Если считать, что величина минерализации (М, мг/л) в воде озере будут равна 3000 мг/л, то по приведенным расчетам по предложенным уравнениям получим следующие величины содержания главных ионов (в мг/л): HCO_3^- =339; SO_4^{2-} =1076,1; Cl^- =618; Ca^{2+} =296; Mg^{2+}=114; Na^+ =480.

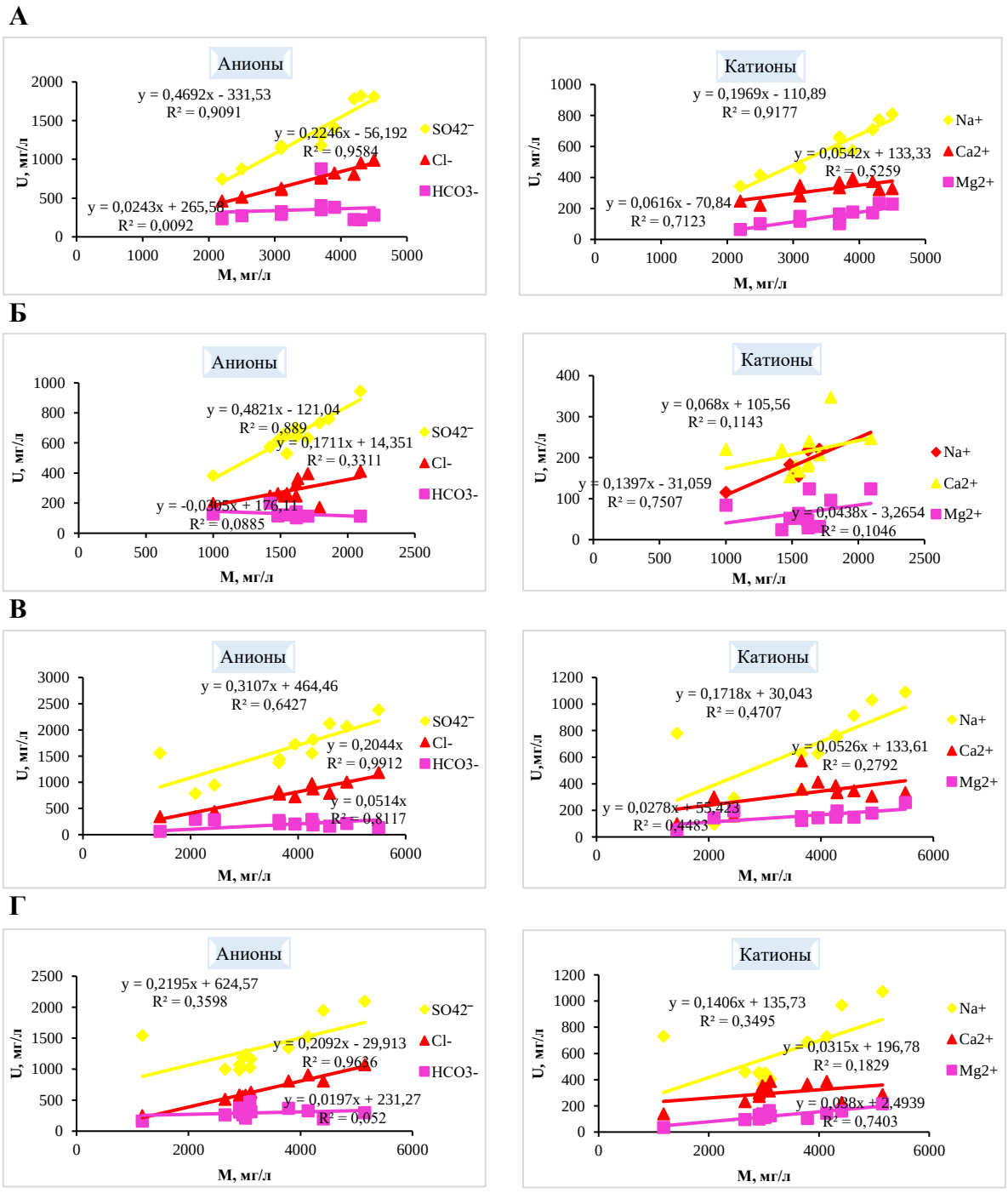


Рис. 3. Графики зависимости содержания главных ионов (Ca^{2+}, Mg^{2+}, Na^+, HCO_3^-, Cl^-, SO_4^{2-}) от величины минерализации (М) малых локальных водоемов за 2023 г: А) Судочье, Б) Междуречье, В) Каратерень, Г) Жилтырбас

Рисунок составлен авторами по результатам собственных расчётов.

Таблица 3

Уравнения зависимостей содержания главных ионов от величины минерализации (в мг/л) воды в малых локальных водоемов

Наименование водоемов	Анионы	R^2	Катионы	R^2
Судочье	SO_4^{2-} = 0,4292M – 331,53	0,90	Na^+ = 0,1969M – 110,89	0,92
	Cl^- = 0,2246M – 56,192	0,95	Ca^{2+} = 0,0542M + 133,33	0,53
	HCO_3^- = 0,0243M + 265,58	0,0092	Mg^{2+} = 0,0616M – 70,84	0,71
Междуречье	SO_4^{2-} = 0,4821M + 121,04	0,89	Na^+ = 0,068M + 105,56	0,11
	Cl^- = 0,1711M + 14,351	0,33	Ca^{2+} = 0,1397M + 31,059	0,75
	HCO_3^- = 0,0305M + 176,11	0,09	Mg^{2+} = 0,0438M – 3,2654	0,10
Каратерень	SO_4^{2-} = 0,3107M + 464,46	0,64	Na^+ = 0,1718M + 30,043	0,47
	Cl^- = 0,2044M	0,99	Ca^{2+} = 0,0526M + 133,61	0,28
	HCO_3^- = 0,0514M	0,81	Mg^{2+} = 0,0278M + 55,423	0,45
Жилтырбас	SO_4^{2-} = 0,2195M + 624,57	0,36	Na^+ = 0,1406M + 135,73	0,35
	Cl^- = 0,2092M – 29,913	0,96	Ca^{2+} = 0,0315M + 196,78	0,18
	HCO_3^- = 0,0197M + 231,27	0,052	Mg^{2+} = 0,038M + 2,4939	0,74

Таблица составлена авторами по результатам собственных расчётов.

Анализ проб воды и полученных зависимостей показывает, что связь величин средняя. Коэффициенты детерминации у анионов находятся в диапазоне 0,10…0,96 с медианным значением $R_1^2 = 0,53$. Коэффициенты детерминации у катионов находятся в диапазоне 0,10…0,91 с медианным значением $R_2^2 = 0,545$. Таким образом, $R_1^2 \approx R_2^2$. Наибольшая нестабильность связи у гидро-карбонат-иона HCO_3^- (коэффициент детерминации в диапазоне 0,10…0,42), а наиболее выраженная связь – у сульфат-иона SO_4^{2-} (0,35…0,90). Из катионов наиболее выраженная связь у магний-иона Mg^{2+} (0,44…0,75), наименее выраженная – у кальций-иона Ca^{2+} (0,10…0,57). Такую лабильность можно объяснить тем, что локальные озера имеют сток с ограниченных водосборов, существенное влияние на который оказывают местные условия.

Выводы. Анализ химического состава речной воды показал, что при движении речной воды от верховий к низовьям преобладающий химический состав изменяется с гидрокарбонатно-сульфатного – кальциево-натриевого (ГС–КН) на хлоридно-сульфатный – магниево-кальциево-натриевый (ХС–МКН), полученные уравнения имеют тесную связь с исходными данными (коэффициенты детерминации $R^2 = 0,80…0,94$).

Анализ химического состава воды из магистральных коллекторов показал, что связь данных содержания главных ионов с минерализацией средняя ($R^2 \approx 0,5$), преобладающий тип химического состава вод – хлоридно-сульфатный – магниево-кальциево-натриевый (ХС–МКН). Лабильность концентраций некоторых ионов, например, HCO_3– и Mg^{2+} можно объяснить тем, что на коллекторный сток существенное влияние оказывает мелиорация.

Анализ химического состава озерных вод показал, что связь данных средняя ($R^2 \approx 0,5$), преобладающий тип химического состава – хлоридно-сульфатный–магниево-кальциево-натриевый (ХС–МКН). Лабильность концентраций некоторых ионов, например, HCO_3– и Ca^{2+}, можно объяснить тем, что локальные озера имеют сток с ограниченных водосборов, существенное влияние на который оказывают местные условия.

Использованная литература:

1. Абдиров Ч.А., Сагидуллаев Н.С., Константинова Л.Г. Микробиологическая и гидрохимическая характеристика важнейших водоемов Каракалпакии. Ташкент: Фан, 1970. 23 с.

2. Аденбаев Б.Е., Хикматов Ф.Х. Оценка современного состояния гидрологического режима водообеспеченности низовьев реки Амударья. Ташкент: Info Capital Books, 2021. 176 с.

3. Аденбаев Б.Е., Калабаев С.Б., Гидрография, морфометрия и мониторинг современного состояния озера Джылтырбас // Гидрометеорология и мониторинг окружающей среды. 2022. № 3. С. 52–61.

4. Баллиев А.И., Чембарисов Э.И. Оценка гидрологического и гидрохимического состояния водных объектов Южного Приаралья в условиях изменения климата // Изменение климата и его влияние на окружающую среду: проблемы и их решение. Материалы международной научно-практической конференции. Ташкент: НУУ, 2024. С. 160–162.

5. Горев Л.Н., Пелешенко В.И. Методика гидрохимических исследований. Киев: Вища школа, 1985. 212 с.

6. Ешимбаев Д. Гидрохимическое состояние водоемов Каракалпакии в условиях водохозяйственных мероприятий в бассейне Амударья. Ташкент: Фан, 1975, 87 с.

7. Калабаев С.Б., Жангабаев Д.М. Гидрография и морфометрия малых озёр Каракалпакстана, питающихся коллекторно-дренажными водами // Гидрологические и гидроэкологические проблемы Южного Приаралья: настоящее и будущее. Материалы республиканской научно-практической конференции. Нукус, 2023. С. 30–33. (На узб. яз.).

8. Курбанов А.Р., Ким С.И., Мустафаева З.А., Титова Н.О. Комплексное изучение современного экологического состояния естественных водоемов Республики Каракалпакстан // Научные труды Дальрыбвтуза, 2020. Т. 54, № 4. С. 28–42.

9. Мурадов О.Д., Валуконис Г.Ю., Мурадов Ш.О. Орошение и прогноз водно-солевого режима (на примере Каршинской степи). Ташкент: Узбекистан, 1982. 67 с.

10. Рубинова Ф.Э. Влияние водных мелиораций на сток и гидрохимический режим рек бассейна Аральского моря. Москва: Гидрометеоиздат, 1987. 131 с.

11. Рубинова Ф.Э. Изменение стока р. Амударьи под воздействием морских мелиораций в ее бассейне // Труды САНИИ Госкомгидромета. 1985. Вып. 106 (187). 116 с.

12. Рубинова Ф.Э. Изменение стока р. Сырдарьи под влиянием водохозяйственного строительства в ее бассейне. Москва: Гидрометеоиздат, 1979. 139 с.

13. Сергеев А.И. Математическое моделирование влияния орошаемого земледелия на гидрологический и гидрохимический режим рек: автореф. дисс. … докт. геогр. наук. Ташкент, 2001. 50 с.

14. Степанов И.Н., Чембарисов Э.И. Влияния орошения на минерализацию речных вод. Москва: Наука, 1978, 119 с.

15. Усманов А.У. К вопросу методологии оценки качества дренажных вод в целях использования их на орошение // Труды САНИИРИ. 1978. Вып. 156. С. 55–63.

16. Ходжибаев Н.Н., Сомойленко В.Г. Гидрогеолого-мелиоративные прогнозы и их обоснование. Ташкент: Фан, 1978. 144 с.

17. Ходжибаев Н.Н., Шерфединов Л.З. Вопросы гидрогеологического прогнозирования в аридных областях. Ташкент: Фан, 1982. 177 с.

18. Чембарисов Э.И, Бахритдинов Б.А Гидрохимия речных и дренажных вод средней Азии. Ташкент: Укитувчи, 1989. 231 с.

19. Чембарисов Э.И., Баллиев А.И. Гидрологическое и гидрохимическое состояние водных объектов Южного Приаралья // Экология и строительство. 2024. № 3. С. 4–11. DOI: 10.35688/2413-8452-2024-03-001.

20. Якубов М.А., Якубов Х.Э., Якубов Ш.Х. Коллекторно-дренажный сток Центральной Азии и оценка его использования на орошение. Ташкент: Узбекистан, 2011. 189 с.

21. Ablekim A., Ge Y., Wang Y., Hu R. (2019), The past, present and feature of the Aral Sea, *Arid Zone Res*., vol. 36, pp. 7–18. DOI: 10.13866/j.azr.2019.01.02.

22. He J., Yu Y., Sun L. (2024), Spatiotemporal variations of ecosystem services in the Aral Sea basin under different CMIP6 projections, *Sci Rep*., vol. 14, 12237. DOI:10.1038/s41598-024-62802-9.

23. Huang S. (2022), Impacts of climate change and evapotranspiration on shrinkage of Aral Sea, *Sci. Total Environ*, vol. 845, 157203. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2022.157203.

24. Lioubimtseva E. (2023), The Aral Sea disaster: revisiting the past to plan a better future, *Book chapter: Biological and Environmental Hazards, Risks, and Disasters*, pp. 435–447. DOI: 10.1016/b978-0-12-820509-9.00008-3.

25. Yang G., Zhang M., Luo G., Liu T. (2024), Fluctuations of discharge and hydropower potential in the upper Amu Darya under the background of climate change, *Journal of Hydrology: Regional Studies*, vol. 51, 101615. DOI: 10.1016/j.ejrh.2023.101615.

References:

1. Abdirov Ch.A., Sagidullayev N.S., Konstantinova. L.G. (1970), *Microbiological and hydrochemical characteristics of the most important water bodies of Karakalpakstan*. Tashkent, 23 p. (In Russ.).

2. Adenbaev B.E., Hikmatov F.Kh. (2021), *Assessment of the current state of the hydrological regime of water supply in the lower reaches of the Amu Darya River,* Tashkent, 176 p. (In Russ.).

3. Adenbaev B.E., Kalabaev S.B., (2022), Hydrography, Morphometry and Monitoring of the Current State of Lake Zhyltyrbas, *Hydrometeorology and Environmental Monitoring*, No. 3, pp. 52-61. (In Russ.).

4. Balliev A.I., Chembarisov E.I. (2024), Assessment of the hydrological and hydrochemical state of water bodies of the South Aral Sea region in the context of climate change, *Climate Change and its impact on the environment: problems and their solutions. Proceedings of the international scientific-practical conference*. Tashkent, pp. 160-162. (In Russ.).

5. Gorev L.N., Peleshenko V.I. (1985) *Methods of Hydrochemical Research,* Kyiv, 212 p. (In Russ.).

6. Eshimbaev D. (1975), *Hydrochemical state of water bodies of Karakalpakstan under water management measures in the Amu Darya basin,* Tashkent, 87 p. (In Russ.).

7. Kalabaev S.B., Zhangabaev D.M. (2023), Hydrography and Morphometry of Small Lakes Saturated by Collector-Dams in Karakalpakstan, *Hydrological and Hydroecological Problems of the Southern Aral Sea Region: Present and Future. Proceedings of the scientific-practical conference. Nukus*, pp. 30-33. (In Uzbek).

8. Kurbanov A.R., Kim S.I., Mustafayeva Z.A., Titova N.O. (2020), Comprehensive study of the current ecological state of natural water bodies of the Republic of Karakalpakstan, *Scientific works of Dalrybvtuz*, vol. 54, No. 4, pp. 28-42. (In Russ.).

9. Muradov O.D., Valukonis G.Yu., Muradov Sh.O. (1982), *Irrigation and forecasting of water-salt regime (on the example of the Karshi steppe),* Tashkent, 67 p. (In Russ.).

10. Rubinova F.E. (1987), *Influence of water melioration on the flow and hydrochemical regime of the rivers of the Aral Sea basin,* Moscow, 131 p. (In Russ.).

11. Rubinova F.E. (1985)*,* Change in the flow of the Amu Darya River under the influence of marine melioration in its basin*, Works of the Sanitary and Epidemiological Institute of the State Hydrometeorological Committee*, issue 106 (187), 116 p. (In Russ.).

12. Rubinova F.E. (1979), *Change in the flow of the Syr Darya River under the influence of water management construction in its basin,* Moscow, 139 p. (In Russ.).

13. Sergeev A.I. (2001), *Mathematical modeling of the influence of irrigated agriculture on the hydrological and hydrochemical regime of rivers: abstract of the dissertation of Doctor of Geographical Sciences,* Tashkent, 50 p. (In Russ.).

14. Stepanov I.N., Chembarisov E.I. (1978), *Influence of irrigation on river water mineralization,* Moscow, 119 p. (In Russ.).

15. Usmanov A.U. (1978), On the issue of the methodology for assessing the quality of drainage waters in order to use them for irrigation*, Proceedings of SANIIRI*, Issue 156, pp. 55-63. (In Russ.).

16. Khojibayev N.N., Somoylenko V.G. (1978), *Hydrogeological and Meliorative Forecasts and Their Justification,* Tashkent, 144 p. (In Russ.).

17. Khojibayev N.N., Sherfedinov L.Z. (1982), *Issues of hydrogeological forecasting in arid regions,* Tashkent, 177 p. (In Russ.).

18. Chembarisov E.I, Bakhritdinov B.A. (1989), *Hydrochemistry of river and drainage waters of Central Asia*, Tashkent, 231 p. (In Russ.).

19. Chembarisov E.I., Balliev A.I. (2024), Hydrological and hydrochemical state of water bodies of the southern Aral Sea region, *Ecology and Construction*, No. 3, pp. 4-11. DOI: 10.35688/2413-8452-2024-03-001. (In Russ.).

20. Yakubov M.A., Yakubov Kh.E., Yakubov Sh.Kh. (2011), *Collector-drainage runoff of Central Asia and assessment of its use for irrigation,* Tashkent, 189 p. (In Russ.).

21. Ablekim A., Ge Y., Wang Y., Hu R. (2019), The past, present and feature of the Aral Sea, *Arid Zone Res*., vol. 36, pp. 7–18. DOI: 10.13866/j.azr.2019.01.02.

22. He J., Yu Y., Sun L. (2024), Spatiotemporal variations of ecosystem services in the Aral Sea basin under different CMIP6 projections, *Sci Rep*., vol. 14, 12237. DOI:10.1038/s41598-024-62802-9.

23. Huang S. (2022), Impacts of climate change and evapotranspiration on shrinkage of Aral Sea, *Sci. Total Environ*, vol. 845, 157203. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2022.157203.

24. Lioubimtseva E. (2023), The Aral Sea disaster: revisiting the past to plan a better future, *Book chapter: Biological and Environmental Hazards, Risks, and Disasters*, pp. 435–447. DOI: 10.1016/b978-0-12-820509-9.00008-3.

25. Yang G., Zhang M., Luo G., Liu T. (2024), Fluctuations of discharge and hydropower potential in the upper Amu Darya under the background of climate change, *Journal of Hydrology: Regional Studies*, vol. 51, 101615. DOI: 10.1016/j.ejrh.2023.101615.

Сведения об авторах:

Чембарисов Эльмир Исмаилович – Научно-исследовательский институт ирригации и водных проблем (Ташкент, Узбекистан), главный научный сотрудник, доктор географических наук, профессор. E-mail: chembar@mail.ru

Баллиев Ажинияз Ибрагимович – Международный центр стратегических разработки исследований в области продовольствия и сельского хозяйства (I-SCAD) при Министерстве сельского хозяйства Республики Узбекистан (Ташкент, Узбекистан), старший научный сотрудник доктор философии (PhD) по географическим наукам. E-mail: ajok90@mail.ru

Реймова Гулжамал Батырбаевна – Научно-исследовательский институт ирригации и водных проблем (Ташкент, Узбекистан), базовый докторант (PhD). E-mail: guljamalreymova25@gmail.com

Information about the authors:

Elmir Chembarisov – Research Institute of Irrigation and Water Problems (Tashkent, Uzbekistan), Chief Researcher, Doctor of Geographical Sciences, Professor. E-mail: chembar@mail.ru

Azhiniyaz Balliev – International Centre for Food and Agriculture Strategic Development and Research (I-SCAD) under the Ministry of Agriculture of the Republic of Uzbekistan, Senior Researcher, Doctor of Philosophy (PhD) in Geographical Sciences. E-mail: ajok90@mail.ru

Gulzhamal Reimova – Irrigation and Water Problems Research Institute (Tashkent, Uzbekistan), Basic Doctoral student (PhD). E-mail: guljamalreymova25@gmail.com

Для цитирования:

Чембарисов Э.И., Баллиев А.И., Реймова Г.Б. Прогнозирование содержания главных ионов в воде при известной величине минерализации // Центральноазиатский журнал географических исследований. 2025. № 3-4. С. 60-71.

For citation:

Chembarisov E.I., Balliev A.I., Reimova G.B. (2025), Predicting the content of major ions in water given a known mineralization value, *Central Asian Journal of Geographical Researches*, No. 3-4, pp. 60-71.

УДК 551.4 (575.172) https://doi.org/10.5281/zenodo.18028802

Арушанов М.Л.[1], Тлеумуратова Б.С.[2]

[1]Научно-исследовательский гидрометеорологический институт,
Ташкент, Узбекистан
[2]Каракалпакский научно-исследовательский институт естественных наук,
Нукус, Узбекистан

МЕТОДОЛОГИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ РАЗРАБОТКИ АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ ДИАГНОЗА И ПРОГНОЗА ПЫЛЬНОЙ БУРИ С ИСТОЧНИКОМ НА ОБСОХШЕМ ДНЕ АРАЛЬСКОГО МОРЯ

Аннотация. *Усыхание Аральского моря вызвано антропогенным фактором забора воды из питающих его рек Амударьи и Сырдарьи, а также интенсивным испарением в связи с глобальным положительным трендом температуры воздуха. В результате на месте обсохшей части Аральского моря образовалась самая молодая пустыня Аралкум – дополнительный источник пыльных бурь в аридном регионе. В статье рассмотрены методологические аспекты разработки автоматизированной системы диагноза и прогноза возникновения и распространения пылевых бурь с заданным географическим положением источника. В основе разработки указанной системы лежат уравнения математической физики, описывающие интенсивность и перенос пыльной бури, диффузии и турбулентности с заданными краевыми условиями с учётом рельефа исследуемой территории. В качестве входных данных используются данные с метеорологических станций, данные спутниковой информации в виде изображений пыльных бурь и цифровой информации о количестве аэрозольного загрязнителя атмосферы.*

Ключевые слова: *пыльная буря, обсохшее дно Аральского моря, уравнения математической физики, цифровая модель рельефа, спутниковые данные.*

Arushanov M.L.[1], Tleumuratova B.S.[2]

[1]Hydrometeorological Research Institute, Tashkent, Uzbekistan
[2]Karakalpakstan Research Institute of Natural Sciences, Nukus, Uzbekistan

METHODOLOGICAL ASPECTS OF DEVELOPING AN AUTOMATED SYSTEM FOR DIAGNOSIS AND FORECASTING A DUST STORM WITH A SOURCE ON THE DRY BED OF THE ARAL SEA

Abstract. *The drying up of the Aral Sea is caused by anthropogenic water abstraction from the Amu Darya and Syr Darya rivers that feed it, as well as intense evaporation due to the global positive air temperature trend. As a result, the youngest desert, Aralkum, has formed in the place of the dried-up part of the Aral Sea, an additional source of dust storms in the arid region. This article examines the methodological aspects of developing an automated system for diagnosing and forecasting the occurrence and propagation of dust storms, given the geographic location of the source. The development of this system is based on equations of mathematical physics describing the intensity and transport of dust storms, diffusion, and turbulence with specified boundary conditions, taking into account the topography of the study area. The input data includes data from meteorological stations, satellite images of dust storms, and digital information on the amount of aerosol pollutants in the atmosphere.*

Key words: *dust storm, dried Aral Seabed, equations of mathematical physics, digital elevation model, satellite data.*

Введение и постановка проблемы. Пыльно-песчаная буря – одно из атмосферных явлений, относящихся к разряду опасных явлений. Проявляется в виде переноса ветром с земной поверхности на различные расстояния большого количества пыли (частиц почвы, песчинок, аэрозоля), вплоть до десятков тысяч километров. В связи с усыханием Аральского моря и образованием на его высохшем дне самой молодой пустыни Аралкум в Среднеазиатском регионе появился новый источник пыльно-соле-песчаных бурь. В результате интенсивность естественного загрязнения атмосферы аэрозолем в этом регионе возросла в разы. Например, г. Ташкент с его многочисленной растительностью стал одним из наиболее загрязнённых городов мира, где к естественным факторам загрязнения добавляются антропогенные, из которых 63 % приходится на транспортные средства [7].

Негативные последствия пыльных бурь, прежде всего, связаны со здоровьем человека, вызывая респираторные и сердечно-сосудистые заболевания. Кроме того, пыльные бури могут переносить различные загрязнители, включая бактерии, вирусы, грибки, пестициды и тяжелые металлы, что усугубляет их вредное воздействие на человека.

Пыльные бури, воздействуя на промышленные объекты, наносят им значительный ущерб, вызывая абразивный износ оборудования, выводят из строя чувствительные приборы, системы вентиляции, из-за загрязнения и снижения видимости значительно понижают эффективность работы. В целом создают дополнительные экологические риски.

Своевременное предупреждение о возможности прохождения пыльной бури в значительной степени позволит сгладить её негативные последствия.

Таким образом, разработка автоматизированной системы диагноза и прогноза пыльной бури в связи с социально-экономическими последствиями её воздействия представляется весьма актуальной. Эта актуальность в значительной мере возрастает для территорий с аридным климатом, каковой является территория Средней Азии, в частности, территория Узбекистана с образовавшимся дополнительным источником пыльных бурь на обсохшем дне Аральского моря.

Изученность вопроса. Исследованию динамики и распространению пыльных бурь посвящено множество работ, касаемо различных географических регионов планеты. Рассмотрим некоторые из этих работ, по нашему мнению, наиболее актуальных с точки зрения методов их решения.

В работе [19] анализируется перенос и причины выбросов песчано-солевых частиц в оперативной модели прогноза пыли, разработанной Китайским метеорологическим управлением. Данные за 18 лет, используемые в прогностической модели пылевых выбросов в рамках программы «Окружающая среда – пыль», позволили сделать выводы о процессах опустынивания в районах Узбекистана, Туркменистана и Южного Казахстана, где расположены пустыни Кызылкум, Каракум и Аралкум, а также в китайских пустынях Онцин-Дага, Му-Ус и Гурбантунгут. Выполненные в работе [19] количественные оценки концентрации пылевой массы, распределения размеров пыльной бури, показали достаточно высокую точность работы модели.

Авторами работы [15] рассмотрены вопросы оценки переноса пыльных бурь с территории пустыни Аралкум. В работе использована численная модель переноса пыли, выполнена оценка переносимой массы тяжёлых частиц, что позволило, в свою очередь, получить количественные оценки вклада песчано-солевых бурь в осаждение пылевого аэрозоля по мере удаления от источника.

В диссертационной работе [3] А.В. Волкова выполнен расчёт дальности переноса пыли и характерных величин запыленности воздуха. Вынос пыли I [мг/м^{2}с], как функция разности наблюдаемой и критической скоростей воздушного потока, интенсивность выноса пыли с элемента поверхности определялась по формуле:

$$I = a \times exp[b \times (V - V_{кр})],$$

где a и b – эмпирические коэффициенты, зависящие от диаметра частиц выносимой пыли d_a, мм; $V_{кр} = (0{,}0082 \times d \times d_a + 0{,}055 \times (d_a)^{-2})^{0,5}$ – критическая скорость воздушного потока, м/с; V – текущая скорость ветра, м/с; d – плотность частиц, г/см^3.

Для оценки дальности распространения пыли от её источника удельной мощностью I в работе [4] использовалась зависимость:

$$q = (I \times h) / (V \times L),$$

где q – запыленность воздуха в зоне влияния источника, мг/м^3; I – мощность источника, h – характерная высота источника, м; V – скорость ветра, м/с; L – расстояние, м.

Группой учёных из Казахстана разработана методика оценки переноса массы песчано-солевых частиц с осушенного дна Аральского моря с использованием данных спутниковой информации [8,9]. Сопутствующие переносу пыльной бури метеорологические параметры (давление, скорость ветра, динамическая скорость) вычислялись по мезомасштабной гидродинамической модели *WRF* (*Weather Research and Forecasting Model).* Распределение частиц по размерам задавалось априори логарифмической нормальной функцией с заданными средними размерами. На примере пыльных бурь 7 мая 2007 г. и 28-29 апреля 2008 г. рассчитаны вертикальные профили твердого расхода в приземном слое атмосферы до высоты 170 м, общий расход массы в этом слое и в пограничном слое атмосферы.

В работе [8] последовательно рассматривается динамика Аральского кризиса, его причины и официальная констатация Аральской катастрофы мировым сообществом. Вместе с вопросами динамики природной среды, эколого-географических прогнозов, мониторинга, вклада антропогенной составляющей в процессы усыхания Аральского моря, рассматривались практические меры по сдерживанию процессов опустынивания на территории высохшего дна Аральского моря.

Работа [9], являющаяся продолжением исследований, начатых в работе [8], посвящена решению конкретных задач по изменению климатических параметров на территории Приаралья и оценка их современного состояния. Констатируется, что динамика температуры воздуха по данным наблюдений метеостанций, расположенных на бывшем побережье Аральского моря и островах, приблизилась к значениям на пустынных станциях. Делается вывод, что период изменения климата в Приаралье, обусловленный усыханием Аральского моря, подошёл к завершению. С этим выводом трудно согласиться, а точнее говоря, он просто неправильный. Выравнивание температуры воздуха на территории молодой пустыни Аралкум и приближение её к значениям на других пустынных станциях вовсе не означает, что климатические изменения, вызванные усыханием Аральского моря, прекратились. Указанный факт (выравнивание температуры) показывает, что локальная климатическая система перешла в новое, более экстремальное состояние. Последствия усыхания Арала, такие как опустынивание, засоление почв, повышение скорости ветра, а вместе с тем, усиление интенсивности и частоты пыльных бурь, развиваются с новой силой. Исчезновение огромной массы акватории Аральского моря изменило содержание влаги в регионе, которая до высыхания моря регулировала (сглаживала) воздействие на колебания температуры. Значительное уменьшение влаги привело к увеличению суточных и сезонных температурных амплитуд, что характерно для пустынных районов. Это естественный результат и, как следствие, образование самой молодой пустыни Аралкум, ставшей одним из главных источников песчано-солевых пыльных бурь в Среднеазиатском регионе.

Весьма любопытная модель песчаного локального и перемещающегося на большие расстояния (песчаные цунами) вихря предложена в работе [18]. Независимо от

масштаба вихря, будь то вертикальный столб пыли или песчаные цунами*, причиной их возникновения принято считать разнообразные атмосферные явления, такие как сильный ветер, разогрев атмосферы и пр. В цитируемой работе рассматривается модель вихря, в основе которой, по мнению автора, лежит ответ на вопрос об источнике энергии, поддерживающей форму вихря и его движение, что необъяснимо с позиций механистических атмосферных процессов. В пользу данного утверждения автор приводит факт существование вихрей на планете Марс, где атмосфера отсутствует, точнее сильно разряжённая. Автором работы [18] показано, что источником энергии для песчаного вихря является энергия гравитационного поля. Обоснование данной гипотезы базируется на построение математической модели песчаного вихря с помощью максвеллоподобных уравнений гравитации. В результате, как считает автор, находят физическое толкование такие необъяснённые с позиций атмосферного явления свойства вихря, как движения вихря в целом и сохранение его формы. Здесь возникает ряд вопросов, связанных с корректностью построения математической модели песчаного вихря по аналогии с вихревыми (индуцированными или массовыми) токами, возникающими в проводнике при изменении магнитного поля. Утверждение о том, что гравитирующее тело расходует свою энергию на создание и поддержание массовых токов, противоречит общей теории относительности, а именно, в гравитационном поле тело (песчинка) не тратит энергию на создание массовых потоков, но его гравитация влияет на уже существующие или возникающие потоки энергии или материи. Тем не менее, исходя из того, что не существует абсолютно точных теорий, невзирая на выдающуюся личность Эйнштейна, математическая модель песчаного вихря на основе максвелловских уравнений гравитации представляет собой новый подход к изучению гравитационных полей и их динамических процессов. Она позволяет рассматривать песчаные вихри как проявления гравитационной динамики, схожей с электромагнитными процессами, что, пока только на теоретическом уровне, вполне вероятно, поможет выявлению новых особенностей физики образования и переноса вихреобразных явлений в атмосфере.



Рис. 1. Пыльная буря над Аральским морем, вызванная сильным ветром восточного румба. Снимок MODIS 24.03.2020 г.

* Песчаное цунами – явление, при котором песок или пыль поднимается в атмосферу из-за сильного ветра или других причин и образует огромное облако.

Над Аральским морем западный перенос в атмосфере является преобладающим [2, 6]. При ветрах же восточных румбов пыльные бури (рис. 1) выносят большое количество осаждающихся частиц песка и соли в море, что стимулирует интенсивное развитие фитопланктона (*fertilization*) – «оплодотворение» моря пылью из пустынь [24]. Таким образом, помимо подавляющего негативного воздействия пыльной бури на окружающую среду, имеет место и её позитивная составляющая.

Кроме того, сильные продолжительные ветры, дующие с суши на море параллельно его берегу или около этого, вызывают прибрежный апвеллинг – глубинный подъём холодных вод [1], что приводит в результате теплообмена к понижению температуры воздуха.

В работе [25] исследовалась поверхность Аральского моря по спутниковым данным *TERRA, AKVA и NOAA* в инфракрасном диапазоне длин волн. Было установлено, что в весенний период при устойчивой термической стратификации, способствующей прогреву приповерхностного слоя, наблюдается апвеллинг в западной части Аральского моря. Аналогичные и не менее яркие проявления апвеллинга были зафиксированы весной у восточного берега западной части Арала и его последующее распространение в направлении противоположного берега. Следует отметить, что явление апвеллинга в Аральском море не учитывается в работах климатологов, посвященных исследованиям динамики климата данного региона.

Весьма обстоятельные исследования были выполнены в работе [13], в которой построена математическая модель прогноза распространения пыле-соляных (токсичных) частиц в пограничном слое атмосферы. Модель включает такие переменные, как скорость потока, коэффициенты трёхмерной диффузии (функция температуры и временного интервала), скорости переноса и размер частиц. Весьма важным в модели является учёт зависимости диффузии от температуры воздуха и скорости ветра, установленная ранее в работах [20, 21, 25].

Особое направление в исследованиях учёных метеорологов занимает редкое явление дождя и снегопада с пылью. Так, в работе [22] исследовалось данное явление с фиксацией по спутниковым изображениям пылевой массы с высоким значением аэрозольной оптической толщины ($AOD \geq 1$), наблюдавшейся одновременно на востоке Ирака, в Сирии, а также на западе и юго-западе Ирана 19 и 20 января 2018 года, впоследствии вызвавшее экстремальное падение температуры. Причиной этого феноменального явления с пыльной бурей дождём и снегом в прифронтальной области явился окклюдированный фронт.

В заключении данного обзора по методам диагностики и прогнозу образования и распространения песчано-пылевых бурь отметим, что в рамках ООН выполнялся проект «*Региональные подходы в борьбе с песчаными и пыльными бурями и засухой в Центральной Азии*» [16], реализованный Региональным Экологическим центром Центральной Азии (РЭЦЦА).

Цель и задачи работы. В данной статье рассматривается методологический аспект разработки автоматизированной системы диагноза и прогноза образования и распространения пыльной бури (АСДПБ) от источника на обсохшем дне Аральского моря по данным метеорологических станций на территории Узбекистана о текущих значениях метеорологических величин (давление, температура, влажность, скорость и направление ветра, информация о типе синоптического процесса), спутниковых изображений и спутниковых данных о количестве аэрозолей и аэрозольной оптической толщине

Методологический аспект построения АСДПБ включает решения следующих задач:

- физические условия возникновения пыльных бурь и их переноса. Математическое описание модели;

- создание базы данных пыльных бурь с источником на осушённом дне Аральского моря и соответствующего им типа синоптических процессов;
- географическое распространение пыльных бурь от источника на осушённом дне Аральского моря по территории Узбекистана;
- исследование метеорологических факторов, способствующих возникновению пыльных бурь (сильные ветры, интенсивность турбулентности, сухость воздуха, фронтальные, циклонические и антициклонические процессы, стратификация атмосферы);
- исследование траектории переноса пыльной бури, как функции типа синоптических процессов;
- разработка математической модели пыльной бури, её интенсивности (дальность видимости), прогноза возникновения и траектории переноса;
- оценка точности модели по ретроспективным наземным и спутниковым данным.

Материалы и методы. База данных АСДПБ необходимо должна включать даты с пыльными бурями с источником в пустыне Аралкум, информацию о временных рядах, соответствующую датам пыльных бурь, о значениях метеорологических величин, типах синоптических процессов, сопутствующих возникновению пыльной бури, данные спутниковой информации в виде изображений среднего (MODIS) и малого (NOAA) разрешения, спутниковые данные (MODIS, CALIPSO) о аэрозольной оптической толщине (AOT), его вертикальный профиль.

Построение АСДПБ должно базироваться на использовании методов уравнений математической физики в построении системы дифференциальных уравнений, описывающих динамику пыльной бури, с краевыми условиями в совокупности с использованием инструментария ГИС-технологий.

Результаты и их обсуждение. *Физические условия возникновения пыльных бурь и их переноса. Математическое описание.* Пыльные бури возникают при определённых метеорологических и физико-географических условиях. Эти условия обязательным образом включают три ключевых фактора – сухую почву (источник пыли), скорость ветра, превышающая 8 м/с и турбулентность атмосферы (неустойчивая стратификация), обеспечивающая перенос пыли на большие расстояния [16]. В регионах с аридным климатом, ярким примером которого является территория Центральной Азии, к вышеперечисленным условиям можно добавить высокую частоту появления атмосферной засухи. При отсутствии осадков при прохождении фронтов, а также во время грозовой деятельности, в течение которой сильные нисходящие потоки воздуха поднимают пыль с поверхности, могут также образовываться пыльные бури.

На планете Земля источники пыльных бурь занимают общую площадь около 7892663 км^2, что составляет 5% от общей площади суши планеты (рис. 2). Территория высушенного дна Аральского моря – объект с идеальными физико-географическими условиями для образования пыле-соле-песчаных бурь.

Одним из главных физических факторов вместе с сильным ветром, вызывающим пыльную бурю, является турбулентность. Возникающие при турбулентности вихри на территории с сухой рыхлой почвой отрывают частицы от поверхности. Как следствие, при неустойчивой стратификации атмосферы, способствующей возникновению значительной турбулентности, происходит вертикальное перемешивание воздуха. В результате частицы пыли, песка и соли поднимаются на большую высоту и переносятся потоком на значительные расстояния. Благодаря турбулентным потокам частицы пыли могут оставаться в атмосфере в течение длительного времени.

При наличии грозового облака нисходящий поток холодного воздуха, вытекающий из облака, в приземном слое атмосферы вызывает сильные порывы ветра (шквальный ворот) и при отсутствии осадков при грозе поднимает пыль в воздух. Это явление не может быть долгим, поэтому создаваемая при грозе пыльная буря

кратковременна, и в контексте данной статьи этот механизм образования пыльной бури не рассматривается.

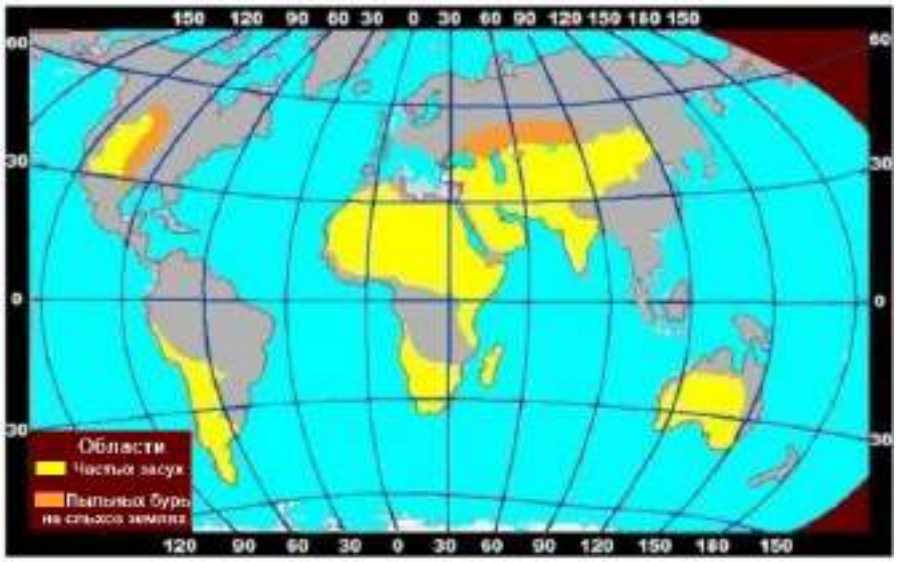


Рис. 2. Географическое распределение потенциально возможного возникновения пыльных бурь на планете (1994 г.) [https://ecosystema.ru/07referats/slovgeo/700.htm].

Примечание: пустыня Аралкум выделена авторами.

Дальность и направление распространения пыльный бури, помимо интенсивности скорости ветра и розы ветров, зависит от рельефа местности. Последний изменяет силу и направление ветра, выступает в качестве барьера перемещения пыльной бури при данном направлении ветра, или, наоборот, ускорителя для воздушных потоков. Горный и достаточно высокий холмистый рельеф являются естественным препятствием распространения пыльной бури. Возвышенности останавливают либо значительно ослабляют распространение пыльной бури, не позволяя ей распространяться на подветренную сторону.

Процесс обтекания холмов и гор частицами пыльной бури вызывает образование дополнительной турбулентности и диффузии – турбулентных вихрей, изменяющих динамику перемещения пыльных частиц. Кроме того, наталкиваясь на возвышенность, воздушные массы изменяют первоначальное направление движения.

В гористой местности, узкие долины и ущелья, выступающие в роли естественных каналов, в отличие от возвышенностей, усиливают скорость распространения пыльных частиц, увеличивая дальность их распространения.

Напротив, на равнинной местности (открытых территориях) в отсутствие естественных препятствий, пыльные бури распространяются по территории на расстояния от сотни до тысячи километров, охватывающие большие площади.

На рис. 3 приведена цифровая модель рельефа местности территории Узбекистана, построенная с шагом географической сетки $0{,}5^{o}\times0{,}5^{o}$. Как следует из рисунка, большая часть территории является равнинной до 66^{o} в.д., исключая холмистую территорию в Навоийской области. Таким образом, пыльная буря с источником на осушённом дне Аральского моря может беспрепятственно распространяться по территории Узбекистана в восточном направлении на расстояния до 510 км, в юго-восточном – до 820 км, в южном – до 885 км, в юго-западном – до 515 км и в западном – до 280 км.

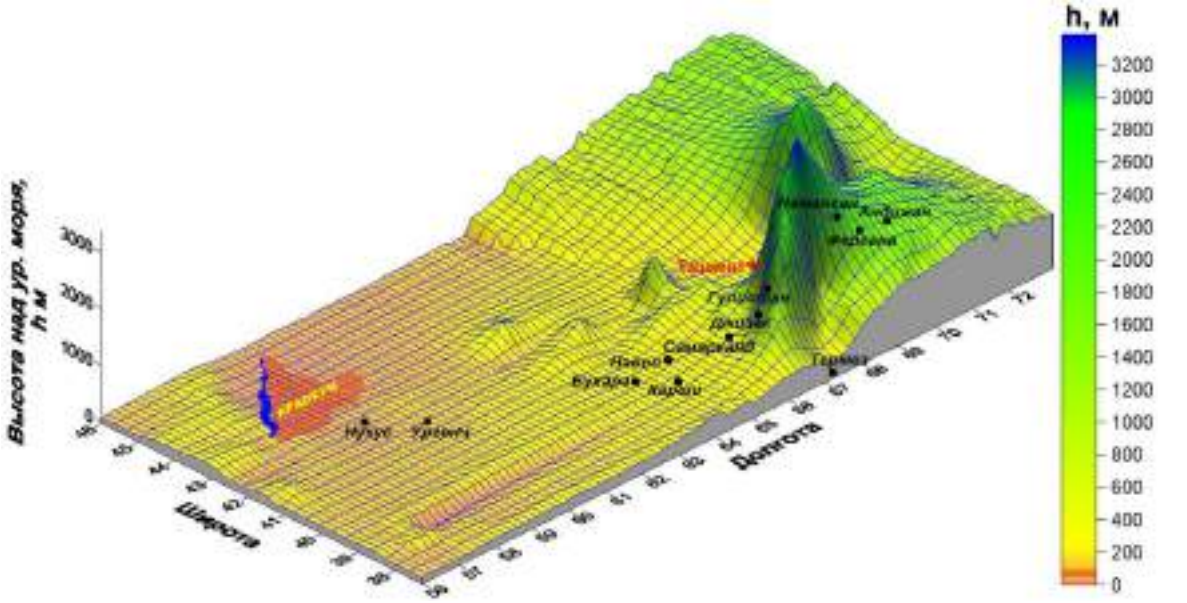


Рис. 3. Цифровая модель рельефа территории Узбекистана

Прогноз пыльной бури в оперативной работе гидрометеорологической службы, базирующейся на автоматизированной системе прогноза, предполагает математическое описание физики её возникновения и переноса, основанное на уравнениях гидродинамики атмосферы [10], уравнениях переноса диффузии примесей и турбулентности атмосферы [4]. Математическая модель включает описание таких процессов, как сальтация – отрыв частиц от поверхности при пороговой скорости ветра $V_{прг}$ и их перенос потоком ветра (взвешивание).

Движение воздуха описывается уравнением Навье-Стокса, как функции силы давления, вязких сил и силы гравитации. В векторной форме применительно к атмосфере оно имеет вид:

$$\rho \frac{d\vec{v}}{dt} = -\nabla p + \mu \nabla^2 \vec{v} + \rho \vec{g} \qquad (1)$$

где $\rho\vec{g}$, Н – сила гравитации ($\vec{g}$ – вектор ускорения свободного падения, м/с^2); ρ – плотность жидкости, кг/м^3; $\vec{v}$ – вектор скорости потока, м/с; t – время, ч; ∇ – оператор набла; $-\nabla p$ – сила градиента давления, Па/м; ∇^2 – оператор Лапласа; член $m\nabla^2 v$ описывает диффузию, при которой вязкие силы стремятся сгладить воздействие турбулентности в потоке, м^2/с; μ – коэффициент динамической вязкости, Па·с.

Связь плотности воздуха с его скоростью движения описывается уравнением неразрывности – закон сохранения массы:

$$\frac{d\rho}{dt} + \nabla \cdot (\rho \vec{v}) = 0. \qquad (2)$$

Отрыв частицы от поверхности почвы происходит при превышении некоторого критического значения скорости ветра – порогового значения, определяемого по формуле [5]

$$u_э = A \cdot \sqrt{\frac{g d_p (\rho_p - \rho_a)}{\rho_a}}, \qquad (3)$$

где $u_э$ – пороговая скорость ветра, необходимая для отрыва частицы, м/с; A=const – безразмерная величина, характеризующая свойство поверхности; ρ_p – плотность частицы, кг/м^3; ρ_a – плотность воздуха, кг/м^3; d_p – диаметр частицы, м.

Процесс переноса пыли в атмосфере описывается с помощью уравнений диффузии с учётом турбулентности, осаждения и др. [23]. Уравнение переноса-диффузии, описывающее изменение концентрации частиц во времени представляется выражением

$$\frac{\partial \mathrm{C}}{\partial t} + \nabla \cdot (\mathrm{C}\vec{v}) = \nabla(K\nabla C) + S_{\text{и}} - S_{\text{с}}, \tag{4}$$

где C – концентрация взвешенных частиц, кг/м^3; K – коэффициент диффузии, м^2/с; $S_{\text{н}}$ – источник, кг/(м^3·с); $S_{\text{с}}$ – сток, кг/(м^3·с). В выражении (4) член $\nabla(\mathrm{C}\vec{v})$ – описывает изменение концентрации, вызванное движением потока со скоростью v. Член в правой части $\nabla(K\nabla C)$ определяет изменение концентрации из-за диффузии.

Важно отметить, что коэффициент диффузии прямо пропорционален температуре и обратно пропорционален давлению:

$$K \approx \frac{T^{3/2}}{p \cdot \sqrt{M}}, \tag{5}$$

где T абсолютная температура, K; p – давление, Па; M – молярная масса диффундирующего вещества, кг/моль.

На рис. 4 приведена блок-схема, согласно которой выполняется реализация разработки АСДПБ.

Модуль прогноза пыльной бури (модуль 3 на рис. 4) включает одну из существующих численных гидродинамических моделей прогноза погоды, результаты которых дают входные данные (модуль 1 на рис. 4) для системы уравнений, описывающие прогноз динамики и распространения пыльной бури. В разрабатываемой АСДПБ в качестве гидродинамической модели предполагается использовать негидростатическую гидродинамическую модель COSMO-ICON [14].

Выводы. Необходимость разработки автоматизированной системы диагноза и прогноза пыльных бурь обусловлена, в первую очередь, их значительным влиянием на здоровье населения, а также на экономику и безопасность. Автоматизация позволяет перейти от ручного анализа к оперативному мониторингу в режиме реального времени.

Создание АСДПБ требует обработки огромных массивов данных, включающих спутниковые снимки, наземные метеорологические наблюдения, на основании которых строятся математические модели. Ручной анализ не позволяет осуществлять реализацию необходимых процедур диагноза и прогноза пыльной бури в реальном режиме времени, т.е. оперативного реагирования.

Интеграция ГИС-технологий и современных методов построения математической модели возникновения пыльной бури от заданного источника позволяет не только её диагностировать, но и смоделировать распространение с заблаговременностью до трёх суток.

Таким образом, реализация автоматизированной системы диагноза и прогноза возникновения и распространения пыльной бури с заданным источником должна основываться на модели, построенной на базе гидродинамических уравнений математической физики и с использованием инструментария ГИС-технологий для построения цифровой модели исследуемой территории, учитывающей рельеф местности. Верификация модели выполняется с использованием прошлых данных о пыльных бурях и данных спутниковой информации, представленной в виде изображений пыльной бури и цифровых данных аэрозольной оптической толщины, его вертикального профиля.

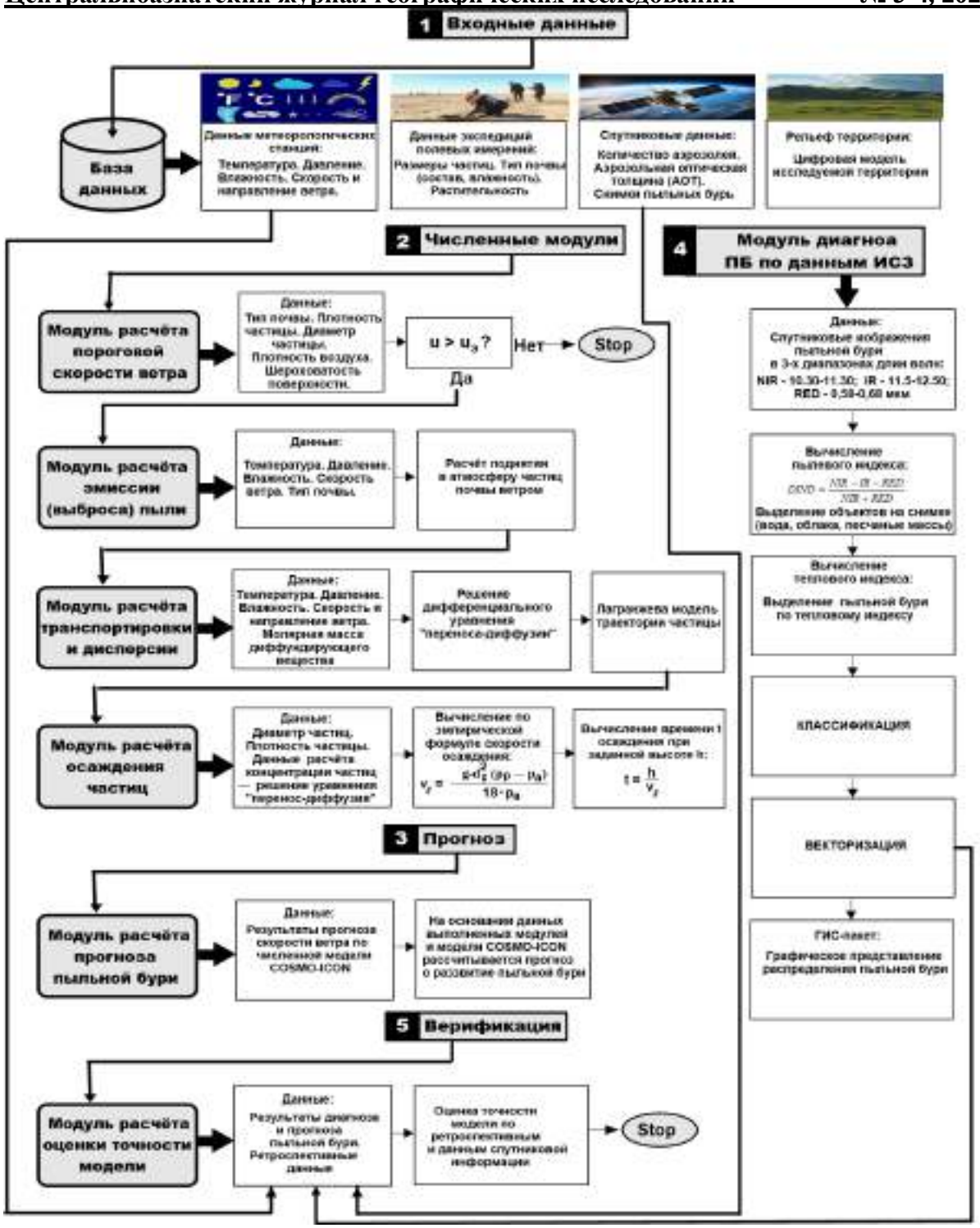


Рис. 4. Блок-схема автоматизированной системы диагноза и прогноза пыльной бури

Развитие таких систем в Центральной Азии рассматривается как приоритетное направление для реализации целей устойчивого развития ООН, главным образом, по снижению смертности от загрязнения воздуха, что является чрезвычайно актуальной задачей. Поэтому методологический аспект её решения имеет важное значение.

Использованная литература:

1. Апвеллинг. Москва: Военное издательство, 1989. 511 с

2. Бугаев В.А., Джорджио В.А., Козик Е.М. и др. Синоптические процессы в Средней Азии. Ташкент: Изд-во АН УзССР, 1957. 477 с.

3. Волков А.В. Методика оценки интенсивности пыления скальных грунтов на основе моделирования естественного процесса образования аэрогеля: дисс. … канд. тех. наук. Тула, 1999. 178 с.

4. Воронцов П.А. Турбулентность и вертикальные токи в пограничном слое атмосферы. Ленинград: Гидрометеоиздат, 1966. 296 с.

5. Гендугов В.М., Глазунов Г.П. Ветровая эрозия почвы и запыление воздуха. Москва: ФИЗМАТЛИТ, 2007. 240 с.

6. Иногамова С.И., Мухтаров Т.М., Мухтаров Ш.Т. Особенности синоптических процессов Средней Азии. Ташкент: САНИГМИ, 2002. 485 с.

7. Искандаров А.Б. Оценка загрязнения атмосферного воздуха в Ташкенте // Гигиена и санитария. 2010. № 1. С. 54-56.

8. Каипов И.В., Семенов О.Е., Шапов А.П. Вынос массы алевритового аэрозоля с осушённой части Арала во время пыльной бури 28-29 апреля 2008 года // Гидрометеорология и экология. 2012. №3. С. 49-71.

9. Каипов И.В., Семенов О.Е., Чередниченко А.В., Шапов А.П. Оценка выноса массы алевритовых частиц с осушенного дна Большого Арала с использованием данных дистанционного спутникового зондирования и мезомасштабной гидродинамической модели // Гидрометеорология и экология. 2012. № 1. С. 7-40.

10. Ландау Л.Д., Лифшиц Е.М. Гидродинамика. Москва: Наука, 1986. 736 с.

11. Новикова Н.М. Эколого-географический аспект Аральского кризиса. Часть 1 // Экология и динамика. 2019. Том 3. № 1. С. 5-66.

12. Новикова Н.М. Эколого-географический аспект Аральского кризиса. Часть 2 // Гидрометеорология и экология. 2020. № 3. С. 96-170.

13. Равшанов Н., Набиева И.С. Математическое моделирование процесса распространения вредных веществ в атмосфере с учётом температуры, физических и химических свойств // Международный журнал теоретических и прикладных вопросов цифровых технологий. 2024. Т. 7 (4). С. 27-32.

14. Розинкина И.А., Ривин Г.С., Багров А.Н. и др. Конфигурация COSMO-Ru2By модели COSMO: успешность и методология оценки численных прогнозов β- и γ-мезомасштабных атмосферных процессов // Гидрометеорологические исследования и прогнозы. 2023. № 2 (388). С. 6-34.

15. Рафиков В.А., Курбаниязов А.К. Оценка переноса пыле-песчано-солевого материала с обсохшего дна Аральского моря // Экономика и социум. 2025. № 4 (131). С. 1119-1130.

16. Региональные подходы в борьбе с песчаными и пыльными бурями и засухой в Центральной Азии. Ситуационный анализ. Алматы, 2021. 74 с.

17. Селиверстов В.В. Диффузная форма уравнения переноса и метод кинетической диффузии // Атомная энергия. 1999. Т. 86. Вып. 1. С. 16-27.

18. Хмельник С.И. Математическая модель песчаного вихря // Гравитомагнетизм: природные явления, эксперименты, математические модели. Израиль, 2016. С. 38-49.

19. Chunhong Z., Hailin G., Jiangkai H., Huabing K., Yaqiang W., and Xiaoye Z. (2019), Detection of New Dust Sources in Central/East Asia and Their Impact on Simulations of a Severe Sand and Dust Storm, *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 10.1029/2019JD030753, September, pp. 1-16. URL: https: //www. researchgate. net/ publication/335312032

20. Djikaev Y.S., Ruckenstein E. (2019), Formation and evolution of aqueous organic aerosols via concurrent condensation and chemical aging, *Advances in Colloid and Interface Science*, vol. 265, pp. 45-67.

21. Kalliat T.V., Franz S.E., Aubrey A., Vaitilingom M. (2021), Mass Transport and Chemistry at the Air–Water Interface of Atmospheric Dispersoids, *Food, Energy, and Water*, pp. 93-109.

22. Karami S., Hamzeh N.H., Alam K., Ranjbar A. (2020), The study of a rare frontal dust storm with snow and rain fall: Model results and ground measurements, *J. Atmospheric and Solar-Terrestrial Physics*, vol. 197, pp. 1-19.

23. Lorenz R.D. (2016), Heuristic estimation of dust devil vortex parameters and trajectories from single-station meteorological observations: Application to InSight at Mars, *Icarus*, vol. 271, pp. 326-337.

24. Meskhidze N., Chameides W.L., Nenes A. (2005), Dust and pollution: a recipe for enhanced ocean fertilization? *Journal of Geophysical research*, vol. 110, D03301, doi: 10.1029/2004jd005082.

25. Sklyarov V.E. (2008), Aral Sea: dust storms and upwelling, *Geophysical Research Abstracts*, vol. 10, EGU2008-A-00000, EGU General Assembly.

References:

1. *Upwelling* (1989), Moscow, 511 p. (In Russ.).

2. Bugayev V.A., Giorgio V.A., Kozik E.M., et al. (1957), *Synoptic Processes in Central Asia*, Tashkent, 477 p. (In Russ.).

3. Volkov A.V. (1999), *Methodology for Estimating the Intensity of Dusting of Rocky Soils Based on Modeling the Natural Process of Aerogel Formation: Diss. ... Cand. tech. sci.*, Tula, 178 p. (In Russ.).

4. Vorontsov P.A. (1966), *Turbulence and vertical currents in the atmospheric boundary layer*, Leningrad, 296 p. (In Russ.).

5. Gendugov V.M., Glazunov G.P. (2007), *Wind erosion of soil and air dustiness*, Moscow, 240 p. (In Russ.).

6. Inogamova S.I., Mukhtarov T.M., Mukhtarov Sh.T. (2002), *Features of synoptic processes in Central Asia*, Tashkent, 485 p. (In Russ.)

7. Iskandarov A.B. (2010), Assessment of atmospheric air pollution in Tashkent, *Hygiene and Sanitation*, No. 1, pp. 54-56. (In Russ.).

8. Kaipov I.V., Semenov O.E., Shapov A.P. (2012), Removal of silt aerosol mass from the dried part of the Aral Sea during the dust storm of April 28–29, 2008, *Hydrometeorology and Ecology*, No. 3, pp. 49-71. (In Russ.).

9. Kaipov I.V., Semenov O.E., Cherednichenko A.V., Shapov A.P. (2012). Estimation of the removal of silt particles from the dried bed of the Greater Aral Sea using satellite remote sensing data and a mesoscale hydrodynamic model, *Hydrometeorology and Ecology*, No. 1, pp. 7-40. (In Russ.).

10. Landau L.D., Lifshits E.M. (1986), *Hydrodynamics*, Moscow, 736 p. (In Russ.).

11. Novikova N.M. (2019), Ecological and geographical aspect of the Aral crisis. Part 1, *Ecology and Dynamics*, Vol. 3, No. 1, pp. 5-66. (In Russ.).

12. Novikova N.M. (2020). Ecological and geographical aspect of the Aral Sea crisis. Part 2, *Hydrometeorology and Ecology*, No. 3, pp. 96-170. (In Russ.).

13. Ravshanov N., Nabieva I.S. (2024), Mathematical modeling of the process of distribution of harmful substances in the atmosphere taking into account temperature, physical and chemical properties, *International Journal of Theoretical and Applied Issues of Digital Technologies*, Vol. 7(4), pp. 27-32. (In Russ.).

14. Rozinkina I.A., Rivin G.S., Bagrov A.N., et al. (2023) Configuration of the COSMO-Ru2By model of the COSMO model: success and methodology for assessing numerical forecasts of β- and γ-mesoscale atmospheric processes, *Hydrometeorological Research and Forecasts*, No. 2 (388), pp. 6-34. (In Russ.).

15. Rafikov V.A., Kurbanyiazov A.K. (2025), Assessment of the transfer of dust-sand-salt material from the dried bottom of the Aral Sea, *Economy and Society*, No. 4 (131), pp. 1119-1130. (In Russ.).

16. *Regional approaches to combating sand and dust storms and drought in Central Asia, Situational analysis* (2021), Almaty, 74 p. (In Russ.).

17. Seliverstov V.V. (1999), Diffuse form of the transport equation and the kinetic diffusion method, *Atomic Energy*, Vol. 86, Issue 1, pp. 16-27. (In Russ.).

18. Khmelnik S.I. (2016), Mathematical model of a sand vortex, *Gravitomagnetism: natural phenomena, experiments, mathematical models*, Israel, pp. 38-49. (In Russ.).

19. Chunhong Z., Hailin G., Jiangkai H., Huabing K., Yaqiang W., and Xiaoye Z. (2019), Detection of New Dust Sources in Central/East Asia and Their Impact on Simulations of a Severe Sand and Dust Storm, Journal of Geophysical Research: Atmospheres, 10.1029/2019JD030753, September, pp. 1-16. URL: https: //www. researchgate. net/ publication/335312032

20. Djikaev Y.S., Ruckenstein E. (2019), Formation and evolution of aqueous organic aerosols via concurrent condensation and chemical aging, Advances in Colloid and Interface Science, vol. 265, pp. 45-67.

21. Kalliat T.V., Franz S.E., Aubrey A., Vaitilingom M. (2021), Mass Transport and Chemistry at the Air–Water Interface of Atmospheric Dispersoids, Food, Energy, and Water, pp. 93-109.

22. Karami S., Hamzeh N.H., Alam K., Ranjbar A. (2020), The study of a rare frontal dust storm with snow and rain fall: Model results and ground measurements, J. Atmospheric and Solar-Terrestrial Physics, vol. 197, pp. 1-19.

23. Lorenz R.D. (2016), Heuristic estimation of dust devil vortex parameters and trajectories from single-station meteorological observations: Application to InSight at Mars, Icarus, vol. 271, pp. 326-337.

24. Meskhidze N., Chameides W.L., Nenes A. (2005), Dust and pollution: a recipe for enhanced ocean fertilization? Journal of Geophysical research, vol. 110, D03301, doi: 10.1029/2004jd005082.

25. Sklyarov V.E. (2008), Aral Sea: dust storms and upwelling, Geophysical Research Abstracts, vol. 10, EGU2008-A-00000, EGU General Assembly.

Сведения об авторах:

Арушанов Михаил Львович – Научно-исследовательский гидрометеорологический институт (Ташкент, Узбекистан), доктор географических наук, профессор. E-mail: mikl-arushanov@rambler.ru.

Тлеумуратова Бибигуль Сарыбаевна – Каракалпакский научно-исследовательский институт естественных наук (Нукус, Узбекистан), доктор физико-математических наук.

Information about the authors:

Mikhail Arushanov – Research Hydrometeorological Institute (Tashkent, Uzbekistan), Doctor of geographical sciences, Professor. E-mail: mikl-arushanov@rambler.ru.

Bibigul Tleumuratova – Karakalpak Research Institute of Natural Sciences (Nukus, Uzbekistan), Doctor of Physical and Mathematical Sciences.

Для цитирования:

Арушанов М.Л., Тлеумуратова Б.С. Методологические аспекты разработки автоматизированной системы диагноза и прогноза пыльной бури с источником на обсохшем дне Аральского моря // Центральноазиатский журнал географических исследований. 2025. № 3-4. С. 72-84.

For citation:

Arushanov M.L., Tleumuratova B.S. (2025), Methodological aspects of developing an automated system for diagnosis and forecasting a dust storm with a source on the dry bed of the Aral Sea, *Central Asian Journal of Geographical Researches*, No. 3-4, pp. 72-84. (In Russ.).

КАРТОГРАФИЯ И ГЕОИНФОРМАТИКА

CARTOGRAPHY AND GEOINFORMATICS

УДК 528.3 https://doi.org/10.5281/zenodo.18029005

Охунов З.Д., Рузиев А.С.

Национальный университет Узбекистана, Ташкент, Узбекистан

РАЗВИТИЕ ГЕОДЕЗИЧЕСКОЙ СЕТИ НА ОСНОВЕ ИНТЕГРАЦИИ СПУТНИКОВЫХ И ТРАДИЦИОННЫХ АСТРОНОМО-ГЕОДЕЗИЧЕСКИХ ПОСТРОЕНИЙ

Аннотация. *В данной работе изложены результаты исследований, направленных на разработку методики создания спутниковой геодезической сети 1-го класса (СГС-1) в сейсмически активной и густонаселенной Ферганской долине (Узбекистан) с интеграцией в глобальные системы координат (WGS-84, СК-42), нивелирования II класса для определения высотного положения вновь заложенных рабочих центров пунктов СГС-1 и нивелирных знаков и оценку точности сети. Приведены методики рекогносцировки и восстановления астрономо-геодезических пунктов, нивелирных знаков, закладки новых пунктов СГС-1, производство ГНСС-измерений, нивелирования II класса, а также результаты оценки точности выполненных исследований. Особое внимание уделено интеграции новых спутниковых геодезических сетей с существующими астрономо-геодезическими и нивелирными сетями. Так, с целью получения высот вновь заложенных центров пунктов СГС-1 и рабочих центров выполнено геометрическое нивелирования II класса в сочетании с тригонометрическим нивелированием. Результаты уравнивания и оценки точности, выполненной программой CREDO DAT, указывают на то, что полученные максимальные значения невязок в превышениях нивелирных и тригонометрических ходов соответствуют допускам инструктивно-нормативных документов. Данное исследование может служит моделью для аналогичных проектов в сейсмически активных и густонаселенных регионах.*

Ключевые слова: *спутниковая геодезическая сеть, система координат и высот, геодезические пункты, нивелирные знаки, нивелирование, ГНСС-измерения, уравнивание сети.*

Okhunov Z.D., Ruziev A.S.

National University of Uzbekistan, Tashkent, Uzbekistan

DEVELOPMENT OF A GEODETIC NETWORK BASED ON THE INTEGRATION OF SATELLITE AND TRADITIONAL ASTRONOMICAL-GEODETIC CONSTRUCTIONS

Abstract. *This paper presents the results of research aimed at developing a methodology for the creation of a 1st-class satellite geodetic network (SGN-1) in the seismically active and densely populated Fergana Valley (Uzbekistan) with integration into global coordinate systems (WGS-84, SK-42), 2nd-class leveling for determining the height position of the newly established working centers of the SGS-1 points and leveling marks, and an accuracy assessment of the network. The methodologies for reconnaissance and restoration of astronomical and geodetic points and leveling marks, establishment of new SGN-1 points, execution of GNSS measurements and 2nd-class leveling, as well as the results of the accuracy assessment of the performed research are provided. Particular attention is paid to the integration of new satellite geodetic networks with existing astronomical and geodetic and leveling networks. Thus, to obtain the heights of the newly established centers of the SGN-1 points and*

working centers, 2nd-class geometric leveling combined with trigonometric leveling was performed. The results of the adjustment and accuracy assessment, performed by the CREDO DAT software, indicate that the obtained maximum discrepancies in the elevation differences of the leveling and trigonometric traverses comply with the tolerances of the instructional and regulatory documents. This research can serve as a model for similar projects in seismically active and densely populated regions.
Key words: *satellite geodetic network, coordinate and height system, geodetic points, leveling marks, leveling, GNSS measurements, network adjustment*.

Введение и постановка проблемы. Бурное развитие современных, как наземных, так и спутниковых технологий в области геодезии позволяет принципиально по-новому создавать геодезические сети. При этом особую роль играет использование технологии ГНСС (глобальной навигационной спутниковой системы), которая является наиболее эффективным средством определения местоположения (позиционирования) точек и объектов.

В качестве объекта исследования выбрана Ферганская долина, характеризующаяся высокой плотностью населения, интенсивной сельскохозяйственной деятельностью и сейсмической активностью, что требует надлежащего геодезического обеспечения с достаточной точностью для решения кадастровых, градостроительных и экологических задач. Следует отметить, что традиционные астрономо-геодезические сети (АГС) данного региона, созданные в середине XX века, не отвечают современным требованиям, как в техническом, так и метрологическом аспекте. В связи с этим создание высокоточной геодезической инфраструктуры с использованием новых наземных и спутниковых технологий является важным этапом в развитии топографо-геодезического и кадастрового обеспечения региона как основа для модернизации геопространственных данных территории, обеспечивающая высокоточное определение координат и высот пунктов на территории долины.

Изученность проблемы. Изучение и анализ ранее выполненных топографо-геодезических работ на исследуемой территории показали, что в прошлые годы в регионе были произведены ряд геодезических работ по созданию и сгущению планово-высотной геодезической сети. Так, на исследуемой территории Среднеазиатским аэрогеодезическим предприятием (СредАзАГП) в период 1953-1956 годов на участке «Наманган» были определены положения пунктов государственной триангуляции 2 класса: 1 пункт с точностью ±0,7", 8 пунктов с точностью ±0,8" и 2 пункта государственной триангуляции 2 класса с точностью ±1,0". Предприятием №12 в период 1957-1968 годов на участках «Фергана», «Учкурган» были определены: 23 пункта 2 класса с точностью ±0,8"- ±1,0", 15 пунктов 3 класса с точностью ±1,0" - ±1,7". В период 1981-1984 годов на участке «Курама» были определены 2 пункта 3 класса, в период 1982-1985 годов на участке «Наманган» – 2 пункта 3 класса. Государственным институтом инженерно-технических изысканий (УзГИИТИ) в 1974 году на участке «Софикишлак р/ц ПДП» было определено положение одного пункта 4 класса с точностью ±1,8" [10].

В период 1992-1994 годов Узбекским Аэрогеодезическим предприятием (УзАГП) были проведены работы по определению высотного положения пунктов путем нивелирования I класса с средней квадратической ошибкой на 1 км хода $\pm$0,47мм на Ферганском исследовательском геодинамическом полигоне – 7 пунктов.

В период 2004, 2008-2009 годов на линиях «Коканд-Учкурган, Коканд-Андижан» были определены высотные положения пунктов государственной нивелирной сети I класса – 14 пунктов с средней квадратической ошибкой на 1 км хода $\pm$0,54 мм.

Обследование и восстановление пунктов АГС. В процессе обследования и рекогносцировки исследуемой территории были обнаружены сохранившиеся на местности исходные пункты триангуляции и выявлена их пригодность для выполнения

ГНСС-измерений. Выбраны и обоснованы геодезические связи между запроектированными пунктами и ближайшими пунктами АГС.

Выявленные пункты в вышеперечисленных работах послужили в качестве исходных данных при уравнивании сети СГС-1 в системе координат 1942 года (СК-42). Рекогносцировка мест размещения пунктов спутниковой геодезической сети СГС-1 и их рабочих центров, нивелирных знаков и сохранившихся исходных пунктов для планово-высотной привязки выполнена в соответствии требованиями [7].

Цель и задачи работы. Целью данного исследования является разработка комплексного подхода по созданию высокоточных спутниковых геодезических сетей на основе интеграции с существующими астрономо-геодезическими и нивелирными сетями для топографо-геодезического обеспечения территории Ферганской долины.

Данное исследование включает в себя изучение и анализ ранее выполненных работ по развитию геодезических сетей на объекте, рекогносцировку астрономо-геодезических пунктов, закладку геодезических знаков спутниковой сети, выполнение спутниковых измерений на пунктах, первичную обработку и уравнивание GPS-измерений, геометрического нивелирования II класса в сочетании с тригонометрическим нивелированием, а также оценка точности сети.

Материалы и методы. Основой для выполнения работы послужила «Государственная целевая программа по использованию спутниковых навигационных систем GPS (США) и ГЛОНАСС (Россия) для топографо-геодезического и кадастрового обеспечения территории Республики Узбекистан» и Технический проект «Создание спутниковой геодезической сети 1 класса (СГС-1) на территории Ферганской долины» [10].

СГС-1 представляет собой геодезическое построение со средними расстояниями между пунктами 20 и более км, состоящее из системы удобных и доступных для практического использования пунктов, которые связаны между собой через систему референцных геодезических пунктов (РГП) и спутниковой геодезической сети 0 класса (СГС-0).

Размещение пунктов СГС-1 осуществлено с учетом их равномерного распределения на территории объекта. СГС-1 интегрирована с существующей АГС, а также соединена с государственной нивелирной сетью I и II классов через совмещенные с пунктами АГС и нивелирными знаками.

Пункты СГС-1 закреплены на местности группой одинаковых по точности центров, состоящей из основного и двух рабочих центров. Основной центр является носителем координат СГС-1, а рабочие центры предназначены для контроля стабильности положения основного центра и могут быть использованы при выполнении геодезических работ. Взаимное расположение основного и рабочих центров обеспечивает возможность выполнения необходимых геодезических измерений. Измерения проводились в системах координат СК-42 и WGS-84, а также в Балтийской системе высот 1977 года.

Для достижения цели исследования и решения поставленных задач были использованы современные спутниковые методы и технологии геодезических измерений в сочетании с традиционными наземными методами. Предварительная обработка и уравнивание, оценка точности результатов геодезических измерений были произведены с помощью программных обеспечений Win prism v.2.10. и CREDO DAT.

Характеристика объекта исследования. Ферганская долина является одним из самых густонаселенных и экономически развитых регионов Центральной Азии. Территория Ферганской долины представляет собой межгорную котловину и расположена преимущественно на территории Узбекистана, а также частично охватывает Республики Кыргызстан и Таджикистан. Долина окружена с севера — Кураминским и Чаткальским, с юга — Туркестанским и Алайским, а с востока —

Ферганским хребтами. Протяженность долины с запада на восток составляет около 300 км, а ширина — до 170 км.

Почвы Ферганской долины представлены преимущественно орошаемыми сероземами, отличающимися высоким плодородием и способствующими развитию сельского хозяйства. Глубина промерзания грунта зимой достигает до 0,5 метра.

Ферганская долина находится в сейсмически активной зоне. Интенсивность землетрясений в регионе может достигать 8-9 баллов, что требует должного внимания при планировании и закладки пунктов геодезической сети.

Наиболее полные сведения о природно-географическом положении, рельефе, климате и гидрографии, а также данные об административно-территориальном расположении и дорожной сети исследуемого региона можно получить из следующих источников [11; 17; 18; 21].

Рекогносцировка и закладка пунктов СГС-1 и рабочих центров. На исследуемой территории установлены 28 пунктов СГС-1 (см. рис. 3) на крышах зданий в следующих населенных пунктах Ферганской долины: Пунган, Янгикурган (Фергана), Чартак, Хаккулабад, Учкурган, Балыкчи, Пахтаабад, Кургантепа, Ходжаабад, Мархамат, Шахрихан, Асака, Янгикурган (Наманган), Язъяван, Бешарык, Кувасай, Зафарабад, Яйпан, Коканд, Риштан, Чимион, Алтыарык, Кува, Чуст, Навбахор, Пап, Джумашуй, Касансай.

Основные пункты СГС-1 закреплены центрами типа 192 с устройством для принудительного центрирования, окрашены и снабжены охранными табличками. Рабочие центры установлены на расстоянии от 50 до 250 метров от основного центра с учетом их долговременной сохранности и закреплены на местности центрами типа 155. Изготовление центров и их внешнее оформление выполнено в соответствии с Правилами [6]. Всего установлено 56 рабочих центров.

Ниже приведены чертежи установленных типов центров (рис.1).



а) *б)* *в)*

Рис. 1. Типы центров:
а) рабочий центр типа 155 б) центр типа 192 в) Устройство для принудительного центрирования

Обследование и восстановление нивелирных знаков. С целью систематизации высотной геодезической основы и использования сохранившихся на местности нивелирных знаков на основании материалов работ прошлых лет в районе исследований были проведены их обследование и восстановление в соответствии с требованиями инструкции [4] и основных положений [5].

Обследование включало поиск нивелирных знаков на местности с использованием крупномасштабных карт, описаний и крок, бесед с местным

населением, а также использование приборов. Были установлены состояние их центров и внешнее оформление.

Из запланированных 48 было обследовано 66 нивелирных знаков: из них 35 грунтовых реперов, 13 стенных реперов, 15 стеновых марок и 3 фундаментальных репера. Восстановлено 50 нивелирных знаков: из них 25 грунтовых реперов, 10 стенных реперов, 12 стеновых марок и 3 фундаментальных репера.

Рекогносцировка и закладка центров нивелирных знаков. Рекогносцировка линий нивелирования II класса и мест закладки нивелирных знаков выполнена одновременно с обследованием нивелирных знаков работ прошлых лет. Работы по рекогносцировке выполнены в соответствии с требованиями раздела 5 Инструкции [3]. Выполненный объем по рекогносцировке линий нивелирования составил 460,0 км хода.

Нивелирные знаки заложены через 4-5км на участках, не обеспеченных нивелирной сетью I, II классов отдельными фрагментами для каждого пункта СГС-1. На объекте заложено 46 нивелирных знаков, с учетом обеспечения долговременной сохранности. Места расположения выбраны вблизи характерных контуров и ориентиров для быстрого отыскания их на местности.

Объем выполненных работ по закладке составил: грунтовых реперов – 35; горизонтальных марок – 2; стенных реперов – 9. Пункты закреплены на местности постоянными центрами типа: 143, 145, 160 опозновательный знак (рис.2), в соответствии с требованиями Правил и Инструкции [9; 3].

На рис. 2 приведены изображения типов центров нивелирных знаков.

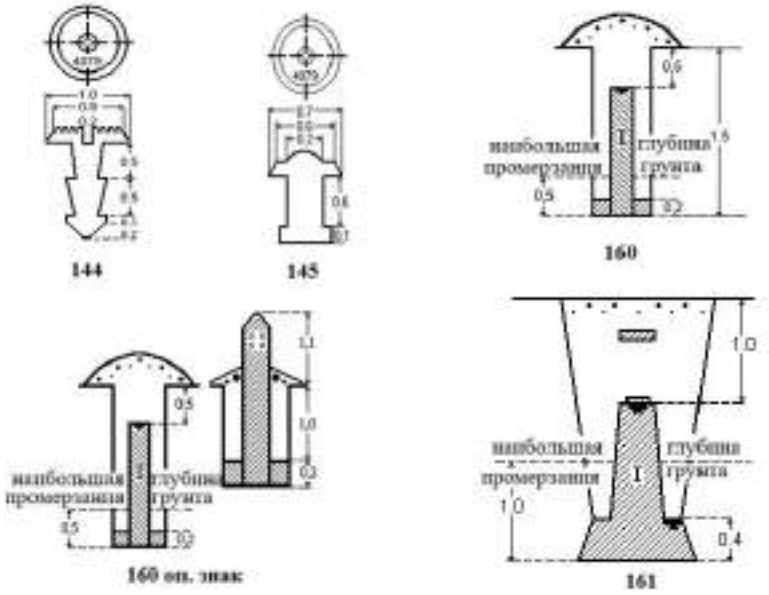


Рис. 2. Типы центров нивелирных знаков

Методика спутниковых геодезических измерений на пунктах СГС-1 и ГГС и используемые приборы. На исследуемом объекте все ГНСС-измерения выполнены в режиме статики 2-х частотными приемниками типа GS-10 (Leica), с использованием антенн типа Choke Ring AT-504, AT-504GG, ASH 701945-01 и геодезической антенны типа AS-10 с отслеживанием в автоматическом режиме всех видимых спутников по 16 независимым каналам и со следующими параметрами приемников: интервал записи данных – 30 сек; минимальный угол возвышения спутников над горизонтом – 10°; при числе спутников $n>4$, PDOP<4 и в соответствии с требованиями [7; 8]. Технические характеристики приборов, использованные в измерениях подробно описаны в [15].

Все ГНСС-приемники прошли метрологическую аттестацию и по результатам измерений контрольных линий на Ахангаранском эталонном базисе признаны

пригодными службой метрологии для выполнения измерений в спутниковых геодезических сетях всех классов.

Исходными для определения планово-высотного положения пунктов СГС-1 служили пункты РГП: MAGK и Фергана; СГС-0: Сасык-Джар и Андижан. Исходным пунктом из постоянно действующих для вычисления векторов и предварительного уравнивания РГП и пунктов СГС-0 использовался пункт KIT-3 (постоянно действующий пункт IGS (International GNSS Service), Китаб), среднее арифметическое значение координат которого вычислены за 62 дня (с 252 по 313 GPS дни) в системе WGS-84, выбранные из http://sopac.ucsd.edu/cgi-bin/dbDataBySite.cgi.

Наблюдения на основных пунктах сети СГС-1 и на исходных пунктах РГП, СГС-0 выполнены 14 сессиями с перерывами между сессиями в одни сутки и с продолжительностью каждой сессии в одни сутки с использованием антенн только типа Choke Ring.

ГНСС-измерения на пунктах СГС-1 и пунктах триангуляции ГГС выполнены двумя сессиями с продолжительностью каждой сессии не менее 4 часов с использованием антенн на основных пунктах типа Choke Ring, на пунктах астрономо-геодезической сети с помощью геодезической антенны типа AS-10.

Привязка рабочих центров к основным пунктам СГС-1 выполнена двумя сессиями с продолжительностью каждой сессии не менее 2 часов и с использованием антенн на основных пунктах – типа Choke Ring, на рабочих центрах – геодезической антенны типа AS-10. Продолжительность сеансов установлена в зависимости от длины измеряемых линий, количества одновременно наблюдаемых пунктов, типа приемников и точности измерений.

При выполнении ГНСС-измерений на пунктах РГП, СГС-0, СГС-1, пунктах триангуляции и на рабочих центрах СГС-1 через каждые 2 часа сняты с занесением в журнал установленного образца метеоданные (атмосферное давление, температура сухого и влажного воздуха), показания приемников (количество спутников и PDOP).

Следует отметить, что, вопросы построения геодезической основы и каркасной сети для аэросъемочных работ с использованием спутниковых измерений подробно освещены в работах [12; 19; 20].

Предварительная обработка и уравнивание ГНСС-измерений. Вычислительная обработка результатов спутниковых измерений, выполненных в геодезических сетях, включает в себя два этапа – предварительные вычисления и уравнивание сети. Предварительная обработка спутниковых измерений заключалась в получении векторных значений базисных линий между пунктами наблюдений сети и контроле их соответствия по точности установленным требованиям качества измерений.

Предварительная обработка и уравнивание совместных измерений в системе координат WGS-84 на пунктах СГС-1, СГС-0, РГП, пунктах триангуляции и на рабочих центрах выполнена с использованием программы Win prism v.2.10. Данная программа обеспечивает объединение всех основных задач по обработке результатов полевых измерений в единую информационную систему, включая обработку опорных GPS-векторов, уравнивание совместных измерений на пунктах РГП, СГС-0, ГГС и СГС-1, рабочих центрах, контроль качества данных, экспорт и импорт данных геодезической сети, создание отчетной документации, составление каталога координат пунктов спутниковой геодезической сети.

При вычислениях векторов использованы точные эфемериды GPS-спутников и сводная ведомость GPS-измерений, которая составлена согласно данным журналов GPS-измерений.

Оценка точности спутниковых наблюдений. Известно, что надёжным методом определения погрешностей в длинах базовых линий для геодезических сетей является использование программ замыкания фигур, где при вычислении невязок суммируют

компоненты векторов по замкнутому контуру. В каждой замкнутой фигуре невязки по приращениям координат w_X, w_Y, w_Z вычисляют следующим образом [1; 2]:

$$w_X = \sum_k \Delta X; \qquad w_Y = \sum_k \Delta Y; \qquad w_Z = \sum_k \Delta Z \tag{1}$$

где k – число сторон замкнутой фигуры.

Для замкнутой фигуры полную невязку w_s вычисляют по невязкам приращения координат:

$$w_s = \sqrt{w_X^2 + w_Y^2 + w_Z^2}. \tag{2}$$

Полученную величину w_s, согласно формуле (2), для каждой замкнутой фигуры (треугольника) сравнивают с предельным значением $w_{\text{доп}}$, которая вычисляется по формуле:

$$w_{\text{доп}} = \sqrt{\sum_k (\Delta_D^2 + \Delta_H^2)}, \tag{3}$$

где Δ_D, Δ_H – погрешности, взятые из паспорта приёмника или руководства по типу работ. При этом с вероятностью 95% должно выполняться следующее условие:

$$w_{\text{доп}} = \sqrt{\sum_k (\Delta_D^2 + \Delta_H^2)}, \tag{4}$$

Нивелирование II класса. Общий объем выполненных нивелирных работ на объекте составил 393,6 пог. км, из которых 344,5 нивелирование II класса; 46,2 в узловых линиях и контрольное нивелирование – 2,9 (грунт. реп. 4542 – раб. центр 8681). В качестве исходных использованы высоты нивелирных знаков, из ранее выполненных работ.

Нивелирование II класса выполнено в прямом и обратном направлениях при определении высотного положения вновь заложенных рабочих центров пунктов СГС-1 и нивелирных знаков. Порядок и последовательность наблюдений на станции соблюдены в соответствии с требованиями Инструкции [6].

В каждой секции нивелирование в прямом и обратном направлениях выполнено в разное время дня (примерно поровну на дневное и вечернее время) при благоприятных метеорологических условиях на спокойные или слегка колеблющиеся изображения реек.

Длина луча визирования, в основном, соблюдена и не превышала 70 м. На участках со значительными уклонами и при подходах к знакам длины лучей визирования уменьшались. Высота луча визирования над подстилающей поверхностью, в основном, выдержана согласно требованиям нормативных документов и составила не менее 0,5 м. Через одну станцию на высоте нивелира измерялась температура воздуха. Расстояние от нивелира до реек измерялось тонким стальным тросом. Неравенство расстояний от нивелира до реек на станции не превышало 1 м, а их накопление по секции не более 2 м. При перерывах в работе наблюдения заканчивали на постоянном знаке.

Рейки устанавливались отвесно по уровню на металлические костыли и удерживались подпорками. На каждой станции и секции выполнен контроль наблюдений, заключающийся в следующем:

- сравнение значений превышений из наблюдений по основным и дополнительным шкалам реек – расхождения не превышают 0,7 мм;

- сравнение значения превышений из прямого и обратного направлений, где расхождения не превышают допустимого $\pm 5\text{мм}\sqrt{L}$, при числе штативов на 1 км хода менее 15 и не более $\pm 6\text{мм}\sqrt{L}$, при числе штативов на 1 км хода более 15.

Связь новых ходов нивелирования II класса со старыми нивелирными ходами I класса осуществлена путем контрольного нивелирования по примыкающей стороне к исходному знаку секции существующего хода.

Предварительная обработка, уравнивание и оценка точности нивелирования. Проверка полевых журналов нивелирования II класса с составлением контрольных ведомостей выполнена в программе CREDO DAT. В измеренные превышения введены поправки за погрешность среднего метра пары реек, за различие температур при эталонировании и нивелировании.

По измеренным в нивелировании II класса превышениям в прямом и обратном ходах определены разности d и их накопления по линии. Ходы нивелирования II класса уравнены вставками между исходными реперами I класса.

В результате уравнивания получена невязка хода по формуле:

$$f_{h_{\text{пр}}} = \Sigma h - (H_к - H_н), \quad (5)$$

где Σh – сумма измеренных превышений; $H_к$, $H_н$ - высоты конечного и начального исходных нивелирных знаков.

Допустимая невязка нивелирного хода вычислена по формуле:

$$f_{h_{\text{доп}}} = \pm 5 \text{ мм } \sqrt{L}, \quad (6)$$

где L – длина хода в километрах.

Определение высот пунктов СГС-1 методом тригонометрического нивелирования. Высоты основных центров пунктов СГС-1 (верхняя плоскость устройства для принудительного центрирования), расположенных на зданиях, получены двусторонним тригонометрическим нивелированием с их рабочих центров. В качестве исходных взяты высоты рабочих центров, полученные из нивелирования II класса. При производстве тригонометрического нивелирования использован тахеометр Leica TS-02, технические характеристики которого приведены в источниках [14].

Результаты и их обсуждение. По результатам оценки точности, выполненной программой Win prism v.2.10, измеренные векторы в зависимости от их длины при привязке пунктов ГГС к сети СГС-1 получены с относительной погрешностью 1: 2 669 940 – 1: 3 208 883, а измеренные векторы при привязке рабочих центров к основным пунктам СГС-1 получены с относительной погрешностью 1: 20 956 – 1: 24 136, что соответствует допуску (4), приведенному в [7; 2]. Фрагмент уравненных координат пунктов СГС-1 и их рабочих центров в системе координат WGS-84 и в СК-42 года приведен в таблицах 1, 2 соответственно.

Таблица 1

Фрагмент каталога координат и высот пунктов СГС-1 и рабочих центров (Система координат WGS-84)

	Название пункта, № рабочего центра	Класс	Координаты		H, м (из GPS-измерений)
			B ° ‘ ″	L ° ‘ ″	
1	2	3	4	5	6
К-42-108					
1	Касансай	СГС-1	41 14 09,11985	71 32 53,88237	836,047
	2857		41 14 12,89100	71 32 56,27672	824,802
	5199		41 14 01,74281	71 32 56,02574	820,362
К-43-108					
2	Чартак	СГС-1	41 04 54,24428	71 48 06,18614	500,392
	8681		41 04 58,43592	71 48 05,53075	489,963
	2445		41 04 54,17636	71 48 10,07943	488,597
К-43-109					
3	Хаккулабад	СГС-1	40 54 22,45936	72 06 50,50429	400,088
	1816		40 54 25,31288	72 06 50,03871	384,744
	8315		40 54 22,29395	72 06 45,88216	385,071

Источник: Технический отчёт «СГС-1 на территории Ферганской долины» [10]

Таблица 2

Фрагмент каталога координат и высот пунктов СГС-1 и рабочих центров (Система координат 1942 года; Система высот Балтийская 1977 года)

№ №	Название пункта, № раб. Центра	Класс	Координаты, м		*H*, м
			x	*y*	
К-42-108					
1	Касансай	СГС-1	4 569 959,447	12 713 706,754	880,312*
	2857		4 570 077,436	12 713 759,105	869,033
	5199		4 569 733,305	12 713 763,351	864,634
К-43-108					
2	Чартак	СГС-1	4 553 493,515	12 735 506,268	547,612*
	8681		4 553 622,350	12 735 486,810	537,211
	2445		4 553 494,342	12 735 597,227	535,439
К-43-109					
3	Хаккулабад	СГС-1	4 534 227,787	13 256 881,201	448,502*
	1816		4 534 316,187	13 256 873,210	433,132
	8315		4 534 226,256	13 256 772,838	433,464

***448,502** высоты пунктов СГС-1 полученные из тригонометрического нивелирования
433,132 – высоты рабочих центров, полученные из нивелирования II класса

Источник: Технический отчёт «СГС-1 на территории Ферганской долины» [10]

По значениям координат WGS-84 всех пунктов СГС-1, часть которых приведена в таблице 1, составлена схема расположения пунктов СГС-1 (рис. 3).

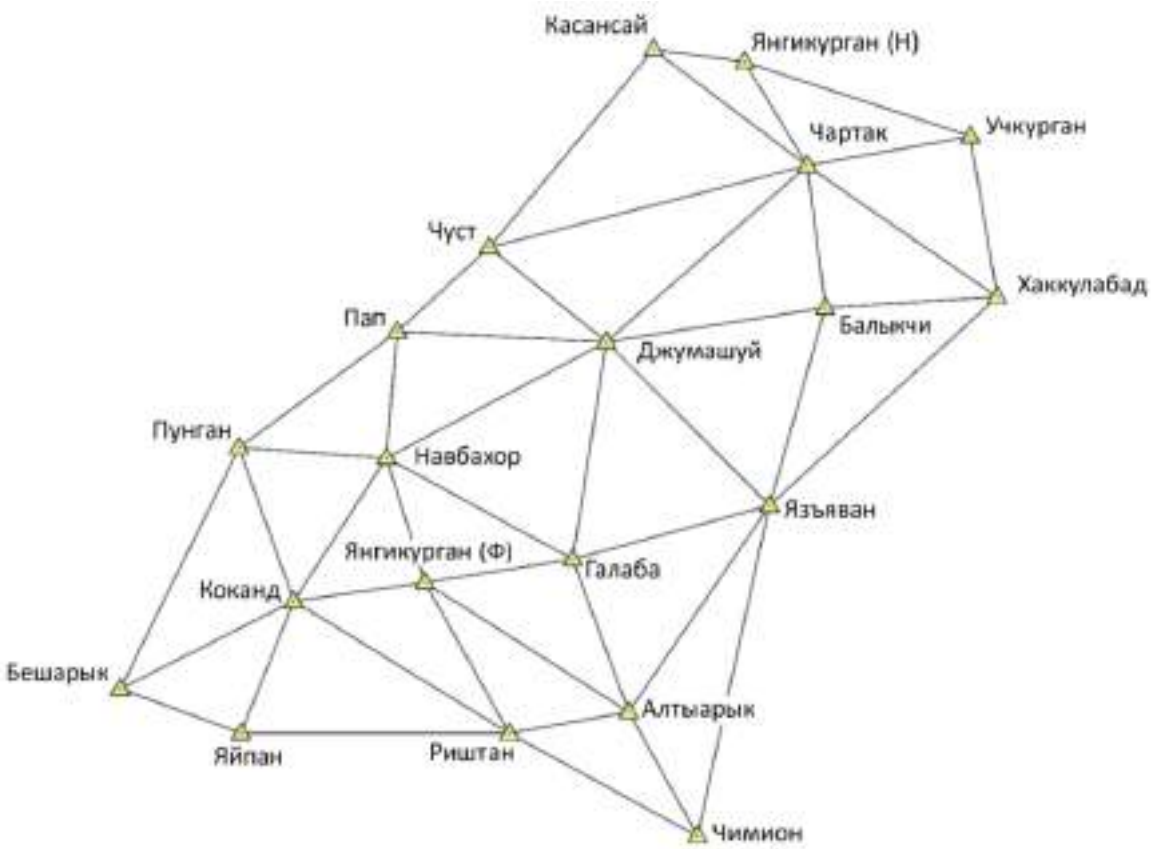


Рис. 3. Схема расположения пунктов СГС-1

Рисунок составлен авторами

По результатам нивелирования II класса в прямом и обратном направлениях получены средние значения превышений, по которым вычислены невязки в ходах. Образовавшиеся невязки по линиям распределены в превышения по секциям пропорционально числу штативов. Фрагменты характеристики качества нивелирования II класса приведены в таблице 3.

Таблица 3

Технические характеристики качества нивелирования II класса

№ п/п	Название участков (линии)	Длина, км	Число штати-вов	Расстояние между знака-ми, км	Невязка превышений прямого и обратного ходов, мм		Ср. кв. ошибка на 1 км хода, мм
					Полу-ченное	Допус-тимое	
1	Касансай (гор. марка 599 - грунт. реп. 4866)	5,0	42	3,4	-8,8	±11,2	±0,7
2	Учкурган (стен. реп. 21 - стен. марка 8322)	2,5	22	1,2	4,8	7,9	0,7
3	Пунган (грунт. реп. 4225 - стен. реп. 6167)	1,9	18	0,9	4,0	7,0	0,4
4	Язъяван (грунт. реп. 7163 – грунт. реп. 8687)	5,3	44	4,8	9,0	11,5	1,4
5	Пахтаабад (гор. марка 8943 – стен. реп. 6570)	9,1	76	7,2	-6,1	15,1	1,3
6	Хаккулабад (гор. марка 1023 – грунт. реп. 2391)	8,1	68	4,8	1,9	14,2	0,9

Источник: Технический отчёт «СГС-1 на территории Ферганской долины» [10]

Результаты нивелирования II класса, приведенные в таблице 3, показывают, что максимальное значение невязки в превышениях нивелирного хода составило $f_h = -9$мм, что удовлетворяет требованиям, указанным в [5].

По результатам двухстороннего тригонометрического нивелирования получены средние значения превышений, по которым вычислены невязки в ходах. Уравнивание одиночных ходов выполнено упрощенным способом. Выполненный объем тригонометрического нивелирования составил 84 пункта.

В таблице 4 приведены фрагменты вычисленных и уравненных превышений, а также высоты основных центров пунктов СГС-1.

Таблица 4

Ведомость вычисленных и уравненных превышений и высот пунктов СГС-1, полученных тригонометрическим нивелированием с рабочих центров

№ п/п	№ раб. центра, название пункта СГС-1	S, м	Измеренные превышения		Среднее h, м	V_h, мм	Исправ-ленные превы-шения h, м	Высоты пунктов H, м
			h прямо	h обратно				
1	2	3	4	5	6	7	8	9
	2857							869,033
		129,393	11,279	-11,277	11,278	+1	11,279	
	6651							654,262
		169,081	12,906	-12,906	12,906	+1	12,907	
1	Ходжаабад							***667,169**
		197,100	-12,399	12,405	-12,402	+1	-12,401	
	8973							380,832

№ п/п	№ раб. центра, название пункта СГС-1	S, м	Измеренные превышения		Среднее h, м	V_h, мм	Исправленные превышения h, м	Высоты пунктов H, м
			h прямо	h обратно				
1	2	3	4	5	6	7	8	9
					0,504			0,506 f_h = -2 мм
	9630							389,332
		83,657	9,498	-9,499	9,498	+4	9,502	
2	Бешарык							***398,834**
		129,164	-9,360	9,360	-9,360	+6	-9,354	
	8904							389,480
					0,138			0,148 *fh = - 10 мм*

***398,834 –** высоты пунктов СГС-1 полученные из тригонометрического нивелирования; 389,480 – высоты рабочих центров, полученные из нивелирования II класса.

Источник: Технический отчёт «СГС-1 на территории Ферганской долины» [10]

Результаты тригонометрического нивелирования, приведенные в таблице 4, показывают, что максимальное значение невязки в превышениях тригонометрического хода составило $f_h = -10$ мм, что удовлетворяет требованиям, указанным в [5].

Выводы. На основе выполненных анализов и исследований можно сделать следующие выводы и предложения:

- разработана методика создания спутниковой геодезической сети СГС-1 с интеграцией в глобальные системы координат WGS-84, СК-42 и оценки точности созданной сети, а также её сопряжения с существующей в регионе инфраструктурой АГС и сетей нивелирования. На интеграцию с существующими сетями указывают установленные связи пунктов созданной сети СГС-1 с 14 пунктами АГС и 11 реперами нивелирования I класса;

- при определении погрешностей в длинах базисных линий в созданных спутниковых сетях применена программа замыкания фигур, где для вычисления невязок суммируют компоненты векторов по замкнутому контуру, согласно которому выполнена оценка точности. Результаты оценки точности, выполненной программным обеспечением Win prism v.2.10, показали, что измеренные векторы в зависимости от их длины при привязке пунктов ГГС к сети СГС-1 получены с относительной погрешностью 1:2 669 940 – 1:3 208 883, а измеренные векторы при привязке рабочих центров к основным пунктам СГС-1 получены с относительной погрешностью 1:20 956 – 1:24 136, что соответствует требованиям, приведенным в [7; 2].

- результаты нивелирования II класса, приведенные в таблице 3, показывают, что максимальное значение невязки в превышениях составило: для нивелирных ходов II класса $f_h = -9$ мм (табл. 3), а для тригонометрического нивелирного хода $fh = -10$ мм (табл. 4) что вполне удовлетворяет требованиям, указанным в [5].

В целом, можно констатировать, что созданная спутниковая геодезическая сеть может служит основой для модернизации геопространственных данных региона, обеспечивая при этом высокоточное определение координат и высот пунктов на территории Ферганской долины, используемых для решения кадастровых, градостроительных и экологических задач.

Использованная литература:

1. Антонович К.М. Использование спутниковых радионавигационных систем в геодезии. Том 2. Москва, ФГУП Картгеоцентр, 2006. 311 с.

2. ГКИНП (ОНТА)-01-271-03 «Руководство по созданию и реконструкции городских

геодезических сетей с использованием спутниковых систем ГЛОНАСС/GPS». М., ЦНИИГАиК, 2003. 182 с.

3. Инструкция по нивелированию I, II, III и IV классов. М., Недра, 1990. 244 с.
4. ГККИНП-07-085-03 «Инструкция по обследованию и восстановлению пунктов и знаков Государственной геодезической и нивелирной сетей Республики Узбекистан», Т., Узгеодезкадастр, 2003. 44 с.
5. ГККИНП-01-039-01 «Основные положения о построении государственной геодезической сети Республики Узбекистан (спутниковая геодезическая сеть)». Т., Узгеодезкадастр, 2001. 17 с.
6. ГККИНП 01-070-03 «Правила закрепления пунктов Государственной спутниковой геодезической сети». Т., НЦГК, 2003. 52 с.
7. ГККИНП-01-024-99 «Руководящий технический материал по построению Государственной спутниковой геодезической сети 1-го класса с применением спутниковых навигационных систем». Т., Узгеодезкадастр, 1999. 59 с.
8. ГККИНП 01-014-98 «Руководящий технический материал по применению геодезических спутниковых приемников при создании и реконструкции сетей сгущения», Т., Узгеодезкадастр, 1998. 44 с.
9. ГККИНП 01-110-04 «Правила закладки центров и реперов на пунктах геодезической и нивелирной сетей Республики Узбекистан», Т., Узгеодезкадастр, 2004. 40 с.
10. Технический отчёт о создании СГС-1 на территории Ферганской долины. 2014. 70 с.
11. Хасанов И.А., Гулямов П.Н., Шарипов Ш.М., Авезов М.М., Ибрагимова Р.А. Физическая география Узбекистана. – Ташкент: Ma'rifat, 2023. 308 с. (На узб. яз.)
12. Belevich S.V., & Bekbaev G.K. (2006), Improvement national geodetic network of Uzbekistan with using satellite positioning equipment, *Land resources of Kazakhstan*, Vol. 37, pp. 11-12.
13. GFZRNX – Users Guide Version 2.1.12. 2025. Web resource: https://gnss.git-pages.gfz-potsdam.de/gfzrnx/pdf/GFZRNX_Users_Guide.pdf (accessed 20.04.2025)
14. *Leica*, Leica FlexLine TS02/TS06/TS09 User Manual. 2008. Web resource: https://docs.onepointsurvey.com/pdf/Leica-FlexLine-User-Manual.pdf
15. *Leica*, Leica GRX1200 Series Technical Data. 2007. Web resource: https://frednet.crs.ogs.it/wp-content/uploads/2024/09/LeicaGRX1200.pdf
16. Leick A., Rapoport L., Tatarnikov D. (2015), *GPS Satellite Surveying*, 4th edition, Publisher: Wiley. DOI:10.1002/9781119018612
17. Mirakmalov M.T., Ibragimova R.A., Avezov M.M., Okhunjonova D.K. (2017), Physical and geographical features of the toponyms of Uzbekistan, *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, Vol. 1284, Part 1, DOI: 10.1088/1755-1315/1284/1/012004
18. Mirmakhmudov E., Abzhaparova D., Tashbaltaeva Sh., Mamadaminova B., Xakimova M. (2024), Geophysical research on a landslide-prone slope in the vicinity of the village of Ayusay in the Republic of Kyrgyzstan, *E3S Web of Conf.*, Vol. 590, pp. 1-8. DOI: 10.1051/e3sconf/202459003007
19. Ruziev A., Yusupjonov O., Földváry L., Okhunov Z., Rakhimov S., Rakhmonov S., Yakubov G. (2024), Development stages of the geodetic network in Tashkent city, *E3S Web of Conf.*, Vol. 590, DOI: 10.1051/e3sconf/202459003006
20. Shukina O., Muborakov Kh., Ruziev A., Yakubov G. and Ergashev M. (2022), Using Digital Photogrammetry to Create Large-Scale Topographic Maps and Plans in Uzbekistan, *International Journal of Geoinformatics*, Vol. 18, No. 1, pp. 37-42, DOI: 10.52939/ijg.v18i1.2103
21. Tojiyeva Z., Ibragimov L. (2021), Labour market and employment in Uzbekistan, *Geografický časopis - Geographical Journal*, Vol. 73, No. 4, pp. 359-374, DOI: 10.31577/geogrcas.2021.73.4.19

References:

1. Antonovich K.M. (2006), *Use of satellite radionavigation system in geodesy*. *Volume 2*, Moscow. 311 p. (In Russ.)
2. GKINP (ONTA)-01-271-03 (2003), *Manual of construction and reconstruction of urban geodetic networks using the GLONASS/GPS satellite system*, Moscow. 182 p. (In Russ.)
3. *Instruction for Leveling of I, II, III, and IV Classes* (1980), Moscow. 244 p. (In Russ.)

4. GKKINP-07-085-03 (2003), *Instruction on the Inspection and Restoration of Points and Marks of the State Geodetic and Leveling Networks of the Republic of Uzbekistan*, Tashkent. 44 p. (In Russ.)

5. GKKINP-01-039-01 (2001), *Fundamentals for the Establishment of the State Geodetic Network of the Republic of Uzbekistan (Satellite Geodetic Network)*, Tashkent. 17 p. (In Russ.)

6. GKKINP 01-070-03 (2003), *Rules for the Monumentation of Points of the State Satellite Geodetic Network*, Tashkent. 52 p. (In Russ.)

7. GKKINP-01-024-99 (1999), *Guidelines for the Establishment of the First-Order State Satellite Geodetic Network Using Satellite Navigation Systems*, Tashkent. 59 p. (In Russ.)

8. GKKINP 01-014-98 (1998), *Technical Guidelines for the Use of Geodetic Satellite Receivers in the Establishment and Reconstruction of Densification Networks*, Tashkent. 44 p. (In Russ.)

9. GKKINP 01-110-04 (2004), *Rules for Marking Centers and Benchmarks at Geodetic and Leveling Network Points of the Republic of Uzbekistan*, 2004. Tashkent. 40 p. (In Russ.)

10. Technical Report (2014), "*on the creation of SGS-1 in the territory of the Fergana Valley*". 70 p. (In Russ.)

11. Khasanov I.A., Gulyamov P.N., Sharipov Sh.M., Avezov M.M., Ibragimova R.A. (2023), *Physical geography of Uzbekistan*, Tashkent. 308 p. (in Uzbek)

12. Belevich S.V., & Bekbaev G.K. (2006), Improvement national geodetic network of Uzbekistan with using satellite positioning equipment, *Land resources of Kazakhstan*, Vol. 37, pp. 11-12. 11

13. GFZRNX – Users Guide Version 2.1.12. 2025. Web resource: https://gnss.git-pages.gfz-potsdam.de/gfzrnx/pdf/GFZRNX_Users_Guide.pdf (accessed 20.04.2025) 12

14. *Leica*, Leica FlexLine TS02/TS06/TS09 User Manual. 2008. Web resource: https://docs.onepointsurvey.com/pdf/Leica-FlexLine-User-Manual.pdf

15. *Leica*, Leica GRX1200 Series Technical Data. 2007. Web resource: https://frednet.crs.ogs.it/wp-content/uploads/2024/09/LeicaGRX1200.pdf

16. Leick A., Rapoport L., Tatarnikov D. (2015), *GPS Satellite Surveying*, 4th edition, Publisher: Wiley. DOI:10.1002/9781119018612

17. Mirakmalov M.T., Ibragimova R.A., Avezov M.M., Okhunjonova D.K. (2017), Physical and geographical features of the toponyms of Uzbekistan, *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, Vol. 1284, Part 1, DOI: 10.1088/1755-1315/1284/1/012004

18. Mirmakhmudov E., Abzhaparova D., Tashbaltaeva Sh., Mamadaminova B., Xakimova M. (2024), Geophysical research on a landslide-prone slope in the vicinity of the village of Ayusay in the Republic of Kyrgyzstan, *E3S Web of Conf.*, Vol. 590, pp. 1-8. DOI: 10.1051/e3sconf/202459003007

19. Ruziev A., Yusupjonov O., Földváry L., Okhunov Z., Rakhimov S., Rakhmonov S., Yakubov G. (2024), Development stages of the geodetic network in Tashkent city, *E3S Web of Conf.*, Vol. 590, DOI: 10.1051/e3sconf/202459003006

20. Shukina O., Muborakov Kh., Ruziev A., Yakubov G. and Ergashev M. (2022), Using Digital Photogrammetry to Create Large-Scale Topographic Maps and Plans in Uzbekistan, *International Journal of Geoinformatics*, Vol. 18, No. 1, pp. 37-42, DOI: 10.52939/ijg.v18i1.2103

21. Tojiyeva Z., Ibragimov L. (2021), Labour market and employment in Uzbekistan, *Geografický časopis - Geographical Journal*, Vol. 73, No. 4, pp. 359-374, DOI: 10.31577/geogrcas.2021.73.4.19

Сведения об авторах

Охунов Зиё Дадожонович – Национальный университет Узбекистана имени Мирзо Улугбека (Ташкент, Узбекистан), кандидат технических наук, доцент. E-mail: ohziyo@gmail.com

Рузиев Азизжон Савриддинович – Национальный университет Узбекистана имени Мирзо Улугбека (Ташкент, Узбекистан), доктор философии (PhD) по географическим наукам, и.о. доцента. E-mail: azizjon.ruziev84@gmail.com

Information about authors:

Ziyo Okhunov – National University of Uzbekistan named after Mirzo Ulugbek (Tashkent, Uzbekistan), PhD in Technical Sciences, Associate Professor. E-mail: ohziyo@gmail.com

Azizjon Ruziev – National University of Uzbekistan named after Mirzo Ulugbek (Tashkent, Uzbekistan), Doctor of Philosophy (PhD) in Geographical Sciences, Acting Associate Professor. E-mail: azizjon.ruziev84@gmail.com

Для цитирования:

Охунов З.Д., Рузиев А.С. Развитие геодезической сети на основе интеграции спутниковых и традиционных астрономо-геодезических построений // Центральноазиатский журнал географических исследований. 2025. № 3-4. С. 85-98.

For citation:

Okhunov Z.D., Ruziev A.S. (2025), Development of a geodetic network based on the integration of satellite and traditional astronomical-geodetic constructions, *Central Asian Journal of Geographical Sciences*, No. 3-4, pp. 85-98. (In Russ.).

УДК 556.55:528.94:004.942 https://doi.org/10.5281/zenodo.18032182

Мягков С.С.

Научно-исследовательский гидрометеорологический институт, Ташкент, Узбекистан

МОДЕЛЬ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО МОРФОМЕТРИЧЕСКОГО АНАЛИЗА ОЗЁР С ПРИМЕНЕНИЕМ ГИС-ТЕХНОЛОГИЙ

Аннотация. *В статье представлена интегрированная модель автоматизированного морфометрического анализа озёр, реализованная в среде ArcMap с использованием языка Python и библиотеки ArcPy. Модель обеспечивает полный цикл обработки данных — от выделения контуров водных поверхностей на основе спектрального индекса NDWI до вычисления геодезических площадей, периметров и производных морфометрических параметров, включая максимальную длину и среднюю ширину озёр. В исследовании объединены методы дистанционного зондирования Земли, геоинформационного анализа и геодезических вычислений, что позволило повысить точность и эффективность морфометрических расчётов. Проведённое тестирование показало, что расхождение с традиционными картографическими измерениями не превышает 2 %, что подтверждает надёжность предложенного подхода. Разработанная модель является универсальной и может применяться в гидрологических исследованиях, мониторинге динамики озёрных систем, а также при оценке климатических и антропогенных изменений водных объектов.*

Ключевые слова: *морфометрический анализ, озёрные системы, геоинформационные технологии, дистанционное зондирование, NDWI, ArcMap, геодезические измерения, гидрология, автоматизация, пространственные данные*

Myagkov S.S.

Hydrometeorological Research Institute, Tashkent, Uzbekistan

A MODEL OF AUTOMATED MORPHOMETRIC ANALYSIS OF LAKES USING GIS TECHNOLOGIES

Abstract. *This article presents an integrated model for automated lake morphometric analysis, implemented in ArcMap using Python and the ArcPy library. The model covers a full data processing cycle, from delineating water surface areas based on the NDWI spectral index to calculating geodetic areas, perimeters, and derived morphometric parameters, including the maximum length and average width of lakes. The study combines methods of remote sensing, geoinformation analysis, and geodetic calculations, improving the accuracy and efficiency of morphometric calculations. Testing showed that the discrepancy with traditional cartographic measurements does not exceed 2%, confirming the reliability of the proposed approach. The developed model is universal and can be applied in hydrological studies, monitoring the dynamics of lake systems, and assessing climatic and anthropogenic changes in water bodies.*

Key words: *morphometric analysis; lake systems; geoinformation technologies; remote sensing; NDWI; ArcMap; geodetic measurements; hydrology; automation; spatial data*

Введение и постановка проблемы. Морфометрический анализ водных объектов занимает одно из ключевых мест в гидрологических исследованиях, поскольку геометрические параметры — площадь, длина, ширина, периметр и другие — определяют не только пространственную структуру озера, но и его гидродинамические и тепловые процессы. Количественные характеристики формы водоёма служат исходными данными для расчёта баланса воды, испарения, накопления осадков и распределения температуры в толще воды. Именно поэтому точность и воспроизводимость морфометрических показателей

непосредственно влияют на достоверность гидрологических моделей и экологических прогнозов.

Традиционные методы морфометрических измерений основывались на анализе топографических карт и аэрофотоснимков, где границы озёр определялись вручную. Несмотря на достаточную надёжность, эти подходы трудоёмки, времязатратны и не позволяют оперативно обрабатывать большие объёмы данных. С появлением технологий дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ) и геоинформационных систем (ГИС) открылась возможность автоматизировать морфометрические расчёты, повысив их эффективность и обеспечив воспроизводимость результатов на разных территориях и временных масштабах.

Современные спутниковые платформы Sentinel-2 обеспечивают высокое пространственное и спектральное разрешение, позволяющее точно определять границы водных поверхностей и анализировать их динамику. Однако сама процедура морфометрического анализа остаётся сложной, так как требует интеграции растровых и векторных данных, обеспечения корректной геодезической основы и выполнения последовательных этапов вычислений. Эти операции трудно реализовать вручную без риска ошибок и расхождений в единицах измерения.

Особенно актуальной проблемой является отсутствие унифицированных и автоматизированных моделей, которые бы позволяли выполнять весь цикл морфометрических операций — от выделения водных контуров до расчёта производных показателей (средней ширины, коэффициента формы и др.) — в одной ГИС среде [7]. В большинстве исследований эти процессы выполняются раздельно в разных программах, что снижает точность и затрудняет сопоставимость результатов [6]. Поэтому разработка интегрированной пятиблочной ГИС модели, способной автоматизировать основные этапы морфометрического анализа озёр, представляется научно и практически значимой задачей [13].

Постановка проблемы связана с необходимостью создания алгоритмической и программной системы, которая обеспечивает: (1) автоматическое выделение водных поверхностей из спутниковых снимков на основе спектральных индексов (NDWI) [10, 14], (2) вычисление максимальной длины и ширины озера с учётом геодезической метрики, (3) объединение разнотипных атрибутивных данных в единую таблицу и (4) расчёт итоговых морфометрических показателей для последующего гидрологического анализа. Такая модель позволяет не только повысить точность и скорость обработки данных, но и создаёт основу для мониторинга долговременных изменений водных систем.

В рамках данного исследования представляется пятиблочная структура модели, реализованная в среде ArcMap с использованием языка Python и библиотеки ArcPy [7]. Каждый блок выполняет отдельную функцию, но в совокупности они образуют единый алгоритм, способный воспроизводить результаты с высокой точностью и стандартизировать процедуры морфометрического анализа в гидрологических исследованиях.

Проведённый анализ показывает, что современная гидрология нуждается в системных инструментах, способных объединить преимущества дистанционного зондирования и геоинформационного моделирования. Несмотря на значительные успехи в развитии ГИС технологий, до сих пор не создано универсальной платформы, позволяющей выполнять полный морфометрический цикл — от извлечения контуров озёр до расчёта интегральных параметров — в автоматическом режиме.

В этой связи актуальным становится исследование степени изученности проблемы и существующих подходов к автоматизации морфометрических расчётов в мировой и отечественной практике, что позволяет определить теоретическую и методологическую основу для построения интегрированной модели.

Изученность вопроса. Проблема количественного анализа морфометрических характеристик водных объектов имеет длительную историю изучения и занимает особое место в гидрологических и геоморфологических исследованиях. Её развитие отражает эволюцию методов от ручных измерений по топографическим картам к современным автоматизированным алгоритмам, использующим спутниковые данные и геоинформационные технологии. Анализ литературных источников показывает, что морфометрия озёр является не только классическим направлением физической географии, но и активно развивающейся областью прикладной гидрологии.

Фундаментальные принципы морфометрического анализа были заложены ещё в середине XX века. Классическим трудом считается монография Hutchinson G. E. «A Treatise on Limnology» [12], в которой впервые систематизированы методы количественного описания формы и структуры озёрных котловин. Учёный предложил ряд показателей — площадь (S), длину (Lmax), среднюю ширину (Wsr), периметр (P), коэффициент формы (Cf) и индекс развития береговой линии (Dl), — ставших основой современной лимнологической морфометрии. Эти показатели позволили перейти от качественного описания формы озёр к их количественной классификации.

В советской гидрологической школе идеи Хатчинсона получили развитие в трудах Ляпина В.А., Зайцева А.И. и Алексеева В.В., которые адаптировали морфометрические методы к топографическим данным и разработали отечественные рекомендации по измерению площади, длины и глубины водоёмов [1, 2, 3, 4]. Эти исследования были основаны на ручных измерениях и чертёжных методиках, что ограничивало их масштабируемость, но заложило фундамент системного подхода.

С конца XX века развитие вычислительных технологий и ГИС-программ (ArcInfo, GRASS GIS, MapInfo, позднее ArcMap) радикально изменило подход к морфометрическим исследованиям. ГИС позволили объединить пространственные и табличные данные, выполнять расчёты площадей, длин и периметров с высокой точностью, а также визуализировать результаты. Согласно Goodchild M. F. [11], именно интеграция геоинформационных систем с методами дистанционного зондирования стала ключевым шагом к формированию современного направления — геоинформационной морфометрии.

Burrough P. A. и McDonnell R. A, показали, что использование цифровых моделей рельефа (ЦМР) и спутниковых изображений позволяет переходить от статических картографических измерений к динамическому анализу форм водных объектов [7]. Эти исследования продемонстрировали возможность автоматического выделения контуров водоёмов и вычисления их геометрических параметров в цифровой среде. Однако на ранних этапах такие расчёты выполнялись с погрешностями из-за ограничений пространственного разрешения и недостатков алгоритмов классификации.

С развитием спутниковых сенсоров среднего и высокого разрешения в начале XXI века появились спектральные методы идентификации водных объектов. Наиболее известным стал индекс NDWI (Normalized Difference Water Index), предложенный McFeeters S. K. [10, 14], основанный на различии отражательной способности водной поверхности в зелёном и ближнем инфракрасном диапазонах. Этот индекс стал базовым инструментом для выделения водных объектов из спутниковых снимков.

Позднее Gao B.C. предложил модифицированный индекс MNDWI, который повышает чувствительность метода за счёт использования среднего инфракрасного канала [10]. В работах Du Y. были усовершенствованы алгоритмы автоматической классификации на основе пороговых значений NDWI и MNDWI, что позволило повысить точность идентификации водных контуров [8]. В гидрологических исследованиях эти методы доказали эффективность при мониторинге сезонных и межгодовых изменений площади озёр.

Вопрос автоматизации вычисления морфометрических параметров активно обсуждается в современных работах по ГИС гидрологии. Tang et al. и Smith et al. [16]

предложили алгоритмы определения максимальной длины и ширины озёрных котловин с использованием пространственного анализа вершин полигона. Несмотря на вычислительную сложность задачи, современные вычислительные мощности позволяют выполнять такие операции в автоматическом режиме. Эти исследования подтвердили возможность воспроизводимого определения продольной оси озера, что ранее выполнялось вручную [5].

При расчётах площади и периметра необходимо учитывать геодезическую природу координат, поскольку традиционные проекционные измерения могут давать искажения до 2–3 % для крупных водоёмов. Это обусловило внедрение геодезических алгоритмов в современные ГИС-пакеты, включая функцию добавление геометрии в атрибуты.

Несмотря на высокую степень разработки отдельных этапов анализа (выделение водных объектов, расчёт длины и площади, объединение таблиц), комплексных автоматизированных моделей, объединяющих все эти процессы, в научной литературе немного. Существующие решения часто носят фрагментарный характер и требуют ручной настройки параметров. В ряде исследований (например, Evans I. S., Müller H.) отмечается необходимость перехода к интегрированным системам, где обработка данных выполняется модульно и воспроизводимо [9, 15].

Таким образом, изученность проблемы свидетельствует о наличии развитой теоретической базы и значительных практических достижений, однако сохраняется дефицит комплексных, универсальных и автоматизированных моделей, способных выполнять полный цикл морфометрического анализа озёр в единой среде. Это обстоятельство определяет актуальность разработки пятиблочной модели, ориентированной на применение в гидрологических исследованиях, и в ГИС мониторинге водных систем.

Цель и задачи работы. Целью настоящей работы является создание прикладной автоматизированной модели морфометрического анализа озёр, предназначенной для оперативного и надёжного получения ключевых пространственных характеристик водоёмов и ориентированной на задачи гидрологического мониторинга, картографирования и оценки пространственно-временных изменений озёрных систем. Предполагается, что такая модель должна быть одновременно универсальной (применимой к озёрам любых размеров и морфогенетических типов), технологичной (основанной на современных методах дистанционного зондирования и ГИС-анализа) и воспроизводимой, что позволит интегрировать её в регулярные циклы мониторинга.

В теоретическом плане исследование опирается на принципы лимнологической морфометрии (Hutchinson, 1957; Wetzel, 2001), методы цифровой картографии (Goodchild, 2007), а также современные подходы дистанционного зондирования и автоматизированного анализа пространственных данных (McFeeters, 1996; Xu, 2006) [11,12, 13, 17].

Для реализации поставленной цели сформулирован комплекс практико-ориентированных задач, направленных на создание целостной архитектуры автоматизированной морфометрической обработки данных.

1. Разработать удобный и воспроизводимый алгоритм автоматического получения контуров озёр и основных морфометрических параметров.

Разрабатываемая алгоритмическая схема должна включать преобразование спутниковых данных в бинарные маски водных поверхностей, выделение полигональных границ озёр и сохранение топологически корректной геометрии для дальнейших расчётов. При этом важно, чтобы модель обеспечивала устойчивость выделения контуров при различиях в сезонности, степени мутности воды, теневой составляющей и условиях съёмки.

2. Обеспечить точные и устойчивые расчёты площади, периметра, длины и производных показателей формы водоёмов любых размеров.

Необходимо реализовать возможность геодезических измерений площади и периметра, учитывающих кривизну Земли, а также корректное вычисление линейных

параметров — прежде всего максимальной длины водоёма, определяющей его пространственную ориентацию. Поскольку озёра обладают разнообразной морфологией — от компактных округлых форм до вытянутых и сильно изрезанных контуров — алгоритмы расчёта должны быть устойчивы к сложной геометрии береговой линии и различным масштабам объектов.

3. Создать единую интегрированную таблицу морфометрических данных для анализа, мониторинга и принятия управленческих решений.

Одной из задач работы является разработка механизма интеграции разнородных атрибутивных данных — от геометрических характеристик полигонов до линейных параметров и производных расчетов — в единую таблицу. Такая таблица играет роль стандартизированного «паспорта» каждого озера и обеспечивает возможность пакетной обработки, статистических обобщений, построения графиков и пространственных моделей.

4. Обеспечить возможность пакетной обработки множественных озёр для отслеживания динамики водных систем.

Создать алгоритмическую схему, которая позволяет автоматизировать выполнение всей последовательности операций без участия пользователя: от извлечения контуров до заполнения финальной таблицы параметров. Такая возможность критически важна в условиях регулярного мониторинга, где требуется сравнение многолетних серий спутниковых данных, выявление межгодовых колебаний площади водного зеркала, динамики береговой линии и других индикаторов изменений.

5. Проверить надёжность получаемых параметров и оценить их применимость в гидрологических, экологических и картографических задачах

Проверка должна включать сопоставление с традиционными картографическими измерениями, анализ статистической согласованности данных и выявление возможных отклонений. Важной составляющей является оценка применимости результатов для практических задач — например, мониторинга изменения площади озёр в засушливых регионах, анализа динамики береговой линии, подготовки картографических материалов и гидрологических паспортов водных объектов.

Материалы и методы. Для разработки автоматизированной модели морфометрического анализа использовались спутниковые данные Sentinel-2 MSI (Европейское космическое агентство, ESA), предоставляющие спектральную информацию в зелёном и ближнем инфракрасном диапазонах, необходимых для выделения водных поверхностей. Спутниковые изображения имели пространственное разрешение 10–30 м, что обеспечило достаточную детализацию границ озёрных акваторий.

Обработка данных выполнялась в геоинформационной среде ArcMap 10.8 с использованием языка Python (версия 2.7) и библиотеки ArcPy. Все расчёты проводились в геодезической системе координат WGS-84, что позволило обеспечить корректное вычисление площадей и периметров на эллипсоиде Земли.

Основу методики составляла последовательная обработка пространственных данных, включающая:

1. Расчёт спектрального индекса NDWI для выделения водных поверхностей и формирование бинарной маски, служащей основой для последующей векторизации.

2. Получение полигональных контуров озёр из бинарного растра с выполнением фильтрации шумовых объектов.

3. Использование инструментов геодезической геометрии ArcMap для расчёта площади и периметра полигонов.

4. Автоматизированную обработку данных в виде пользовательского инструмента (.pyt-файла), обеспечивающего последовательную работу всех этапов модели.

5. Проверку корректности данных путём визуального сопоставления с исходными спутниковыми снимками и анализом статистических соотношений между параметрами.

Исследование проводилось в среде ArcMap 10.8 (Esri Inc.), обладающей широкими возможностями для пространственного анализа и морфометрических расчётов. Для автоматизации операций применялся язык Python 2.7 и библиотека ArcPy, входящая в состав ArcMap.

Модель реализована в виде пользовательского инструментария (.pyt-файла), интегрируемого в ModelBuilder ArcMap. Такая форма обеспечивает модульность, воспроизводимость и возможность использования модели без изменения кода.

Методика исследования сочетает классические принципы лимнологической морфометрии (Hutchinson G. E., 1957; Ляпин В. А., 1989) с современными средствами автоматизированного геоинформационного анализа [12]. Каждый блок модели реализует отдельную задачу морфометрии и использует свой набор методов, объединённых общим алгоритмом обработки данных [4, 12].

Для обеспечения сопоставимости данных все расчёты выполнялись в системе координат WGS 1984 (EPGS:4326). Использование глобальной системы обеспечивает корректность геодезических измерений независимо от местоположения озёр.

При необходимости локальных расчётов (например, в пределах одной страны) возможен переход в проекцию UTM, соответствующую зоне объекта. Однако в рамках данной модели расчёты производились в геодезических координатах, что обеспечивает универсальность метода.

Для оценки достоверности результатов использовались следующие методы:

- Визуальная проверка совпадения границ озёр с исходными спутниковыми изображениями;
- Сравнение площадей с топографическими источниками;
- Анализ согласованности между геодезическими и проекционными измерениями;
- Проверка статистических соотношений между S, Lmax и Wsr для исключения аномальных значений.

Предложенная методика объединяет растровые, векторные и табличные методы в единую систему. Каждый блок модели выполняет свою функцию, но все они связаны единой логикой обработки данных (рис. 1).

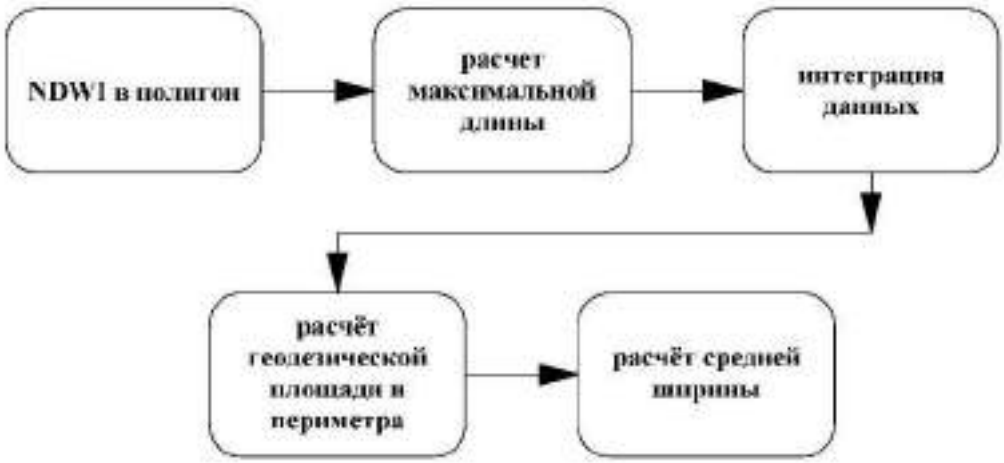


Рис. 1. Структурная схема интегрированной модели автоматизированного морфометрического анализа озёр

Рисунок составлен автором.

Такое построение обеспечивает:

- модульность и универсальность;
- возможность пакетной обработки больших объёмов данных;
- независимость от масштаба и географического положения объектов;
- интеграцию результатов в другие гидрологические модели.

Основная часть. Разработанная модель автоматизированного морфометрического анализа озёр основана на принципе модульности и последовательности вычислительных операций. Она состоит из пяти взаимосвязанных блоков, каждый из которых выполняет отдельный этап обработки пространственных данных — от извлечения водных контуров до расчёта производных показателей формы. Такая структура обеспечивает логическую и функциональную целостность процесса анализа, минимизируя участие пользователя и повышая точность результатов.

Весь цикл анализа выполняется в среде ArcMap Desktop с использованием языка Python и библиотеки ArcPy. Взаимодействие между блоками реализовано через передачу промежуточных файлов (shapefile и таблицы), что обеспечивает независимость и воспроизводимость вычислений. Ниже подробно описаны теоретические основы, алгоритмы и функции каждого из блоков.

Первый этап модели направлен на извлечение водных поверхностей из многоспектральных спутниковых изображений с использованием нормализованного водного индекса (NDWI), предложенного McFeeters [14]. Индекс основан на различии отражательной способности водных и наземных объектов в зелёном и ближнем инфракрасном диапазонах. Значения NDWI> 0 соответствуют водным поверхностям, так как вода интенсивно поглощает ближний инфракрасный свет и отражает зелёный. Этот метод позволяет эффективно отделить водоёмы от суши и растительности. При обработке изображений Sentinel-2 оптимальные пороговые значения NDWI варьируют в пределах 0.25–0.35, что обеспечивает надёжную идентификацию даже мелководных объектов.

Метод основан на вычислении нормализованного водного индекса NDWI [10], предложенного McFeeters [14]:

$$NDWI = \frac{(B3-B11)}{(B3+B11)}, \quad (1)$$

Метод NDWI обеспечивает высокую достоверность выделения водных объектов при минимальной ручной коррекции. Этот этап служит основой всей модели, формируя геометрию для последующих вычислений.

Значения NDWI варьируют от −1 до +1; положительные (> 0) соответствуют водным поверхностям. После вычисления индекса применяется пороговая классификация (обычно 0,2–0,4), формируя бинарный растр. Далее выполняется векторизация водных масок, что позволяет получить полигональные контуры озёр (рис. 2).

Алгоритм включает следующие этапы:

- Вычисление NDWI: создание индексного растра путём применения арифметического выражения в калькуляторе растров.
- Пороговая классификация: присвоение пикселям с NDWI > 0.3 значения “1” (вода), остальным — “0”.
- Фильтрация и очистка: удаление мелких шумовых объектов с площадью менее 3–5 пикселей при помощи морфологических фильтров.
- Векторизация: преобразование бинарного растра в полигональный слой.
- Финальная фильтрация: удаление артефактов и объединение соседних полигонов (если необходимо).

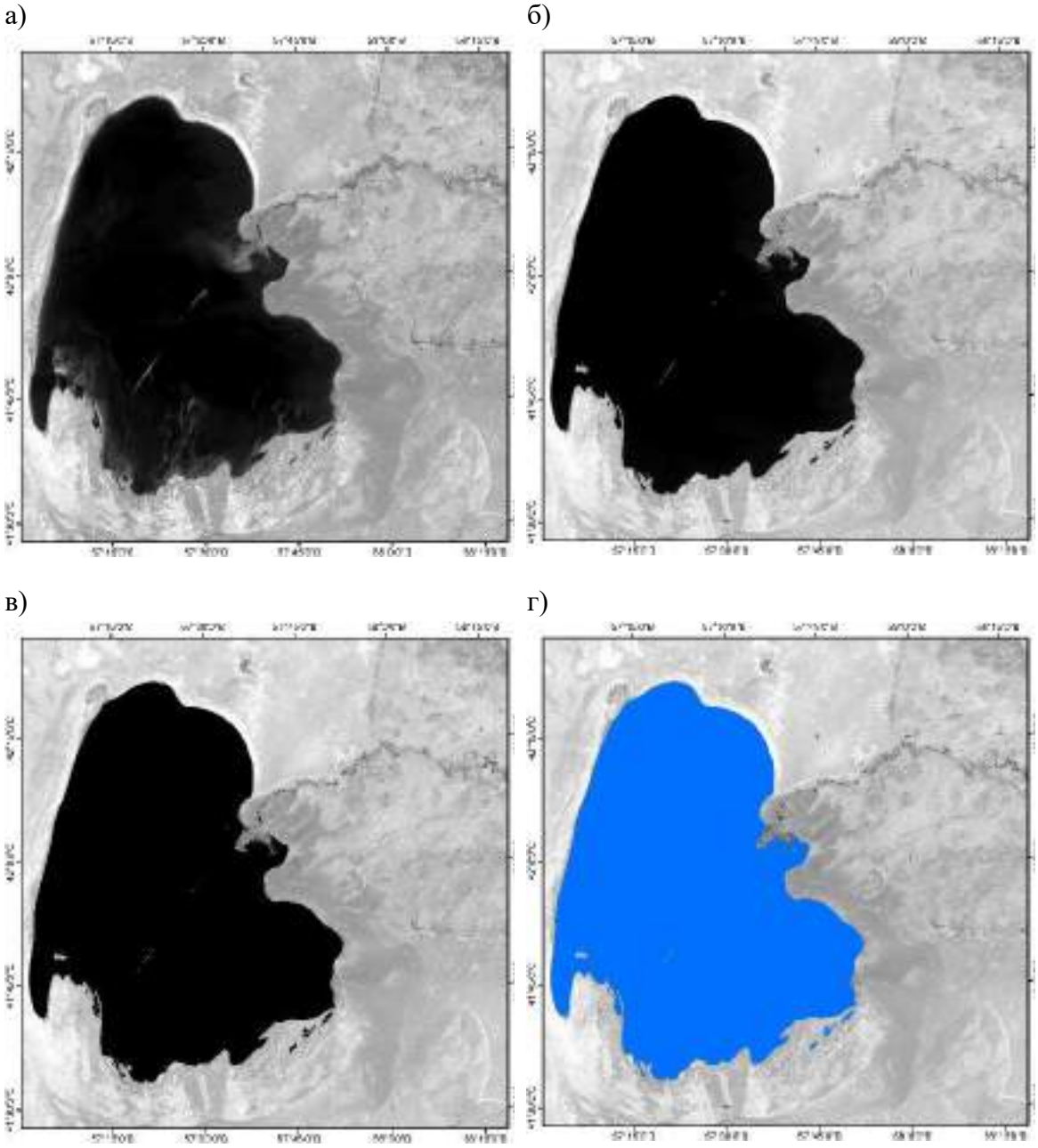


Рис. 2. Процесс выделения водных поверхностей на основе индекса NDWI озера Сарыкамыш
а) – канал B3, б) – канал B8, в) – NDWI, г) – векторизованный NDWI

Блок NDWI Lake Extractor выполняет роль входного звена всей модели. Его задача — обеспечить достоверное определение водных контуров, которые будут служить геометрической основой для морфометрических измерений. В гидрологических исследованиях точность выделения контуров озёр напрямую влияет на достоверность расчётов площади, длины и других производных параметров. Метод NDWI показал высокую надёжность при обработке изображений различных сезонов, что делает метод универсальным инструментом для мониторинга.

Кроме того, применение NDWI особенно эффективно для аридных и полуаридных регионов, где растительность редко перекрывает водную поверхность, а спектральный контраст между водой и сушей достигает максимума.

Максимальная длина озера (Lmax) является одним из важнейших морфометрических показателей, определяющих его форму и пространственную

организацию. Этот параметр характеризует протяжённость водоёма по его наибольшей оси и используется при вычислении коэффициентов формы, средней ширины, индекса развития береговой линии и других производных характеристик.

Для определения Lmax используется метод поиска пары наиболее удалённых точек полигона, ограничивающего озеро.

Реализация алгоритма в ArcPy основана на последовательном переборе всех пар вершин и вычислении евклидова расстояния между ними. Хотя теоретическая сложность алгоритма составляет $O(n^2)$, где n — число вершин, при типичных размерах полигонов (до нескольких тысяч точек) он остаётся вычислительно приемлемым.

В результате формируется линейный объект (Polyline), соединяющий найденные точки, и сохраняется значение Lmax в километрах.

Для озёр значительной площади применяется метод минимальной ограничивающей геометрии, поскольку спутниковые снимки Sentinel-2 с пространственным разрешением 10×10 м при больших размерах водоёма формируют большое количество вершин его контура, что существенно увеличивает время вычисления максимальной длины озера (Рис. 3).

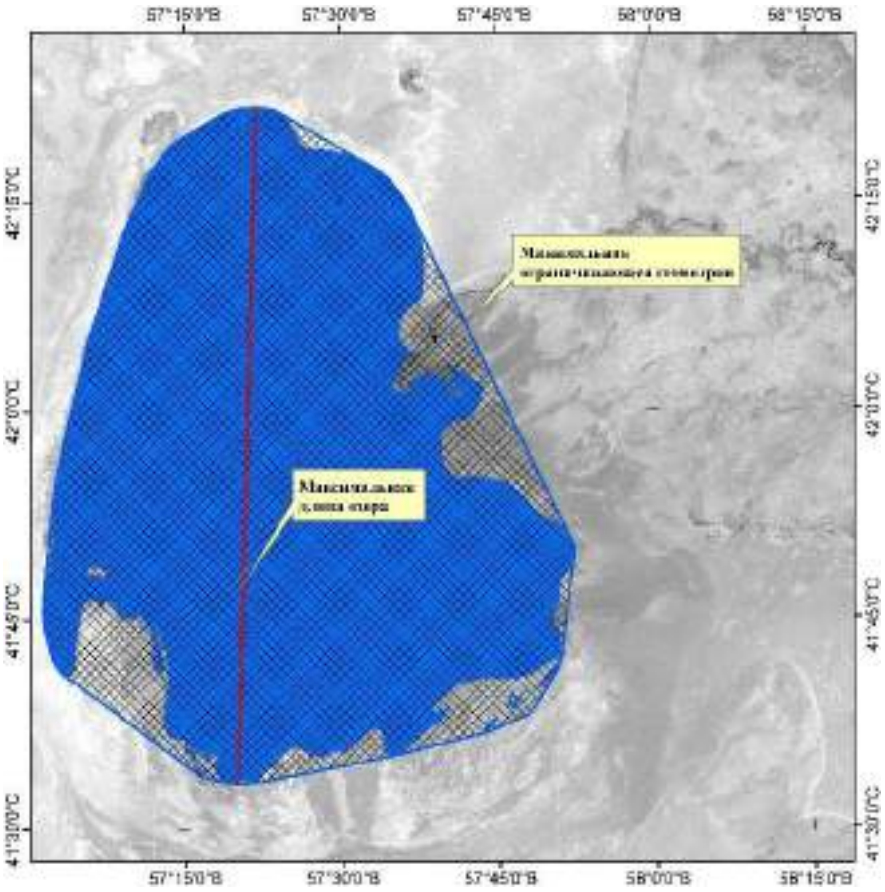


Рис. 3. Определение максимальной длины озера Сарыкамыш (Lmax) методом пространственного анализа вершин полигона с метод минимальной ограничивающей геометрии

Однако метод имеет ограничения: при сложной конфигурации береговой линии (например, при наличии заливов и полуостровов) максимальное расстояние может проходить за пределами основной акватории. Для таких случаев применяется дополнительная фильтрация по площади смежных полигонов или ограничение длины внутри основной маски озера.

Тем не менее, в автоматизированной модели этот показатель сохраняет центральное значение как базовый линейный параметр, используемый в последующих блоках.

В процессе морфометрического анализа возникает необходимость объединения данных, полученных из разных источников — полигональных и линейных слоёв. Блок интеграции данных решает эту задачу, выполняя интеграцию атрибутивных таблиц по ключевому идентификационному полю (например, Lake_ID).

С точки зрения реляционной геоинформатики, это соответствует операции соединения, при которой две таблицы связываются по совпадающему ключу. В результате создаётся единая структура данных, содержащая поля как из исходного, так и из присоединяемого слоя.

Процесс объединения включает:

- Определение общего идентификатора (например, Poly_ID = Line_ID);
- Выполнение операции «интеграции данных»;
- Проверку корректности типов данных и дублирования полей;
- Сохранение новой таблицы с полным набором атрибутов.

Таким образом, к полигональному слою озёр добавляются параметры из линейного слоя — прежде всего Lmax_km. Это обеспечивает подготовку данных к последующим вычислениям геодезических характеристик.

Блок интеграции данных выполняет функцию консолидации данных — он объединяет геометрические (площадь, периметр) и линейные (длина) характеристики в единой таблице. Это создаёт логическую основу для геодезических измерений и дальнейших вычислений производных показателей, таких как средняя ширина и индекс формы озера.

Кроме того, объединение данных позволяет использовать модель в пакетном режиме — обрабатывать десятки или сотни объектов в рамках одного вычислительного цикла без участия оператора.

Одной из ключевых задач морфометрического анализа является определение точной площади (S) и периметра (P) озёр. В классической гидрологии эти параметры вычислялись по топографическим картам в проекционных координатах, что приводило к искажениям из-за кривизны земной поверхности.

Современные ГИС-системы позволяют выполнять геодезические вычисления непосредственно на эллипсоиде Земли, что особенно важно при анализе объектов, удалённых от экватора. В ArcMap эта функция реализована инструментом добавления геометрии в атрибуты, который рассчитывает геодезическую площадь и периметр в выбранных единицах измерения (километры, квадратные километры).

Реализация блока включает следующие шаги:

- Применение функции добавление геометрии в атрибуты к слою озёр;
- Добавление двух новых полей — AREA_GEO (км²) и PERIM_GEO (км);
- Автоматическое заполнение этих полей с использованием геодезической формулы;
- Проверка результатов по выборочным контрольным полигонам.

Важным аспектом является корректность системы координат. Все вычисления проводятся в геодезической системе WGS 1984 (EPSG:4326), что гарантирует единообразие данных при глобальном анализе.

Результаты геодезических измерений являются основой для дальнейших аналитических расчётов. Площадь ($S_{(g)}$) служит ключевым параметром в оценке водного баланса, объёма испарения и гидрологической ёмкости водоёмов. Периметр ($P_{(g)}$) используется при вычислении коэффициента развития береговой линии и оценки степени изрезанности контуров озера.

Сравнение геодезических и проекционных измерений показывает, что для озёр площадью более 100 км² погрешность плоских измерений может достигать 2–3 %, особенно на средних и высоких широтах (Табл.1). Включение геодезической коррекции существенно повышает точность и делает модель применимой для межрегиональных сравнений.

Таблица 1

Сравнительная таблица морфометрических показателей озера Сарыкамыш

Показатель / Источник	Площадь, км²	Длина береговой линии, км	Макс. длина, км	Средняя ширина, км
Из источника*	3955	-	90	30-40
Расчитанная	3944,82	526,84	89,79	43,92

* https://en.wikipedia.org

Таким образом, блок обеспечивает переход от геометрических к геофизически корректным характеристикам, формируя основу для заключительного аналитического блока.

Заключительный блок модели реализует расчёт средней ширины озера (Wsr), определяемой по формуле:

$$\mathrm{Wsr} = \frac{S}{Lmax},$$

где S — площадь водного зеркала, Lmax — максимальная длина. Метод позволяет оценить пропорции и форму озёрной котловины. Результат записывается в новое поле Wsr_km.

Средняя ширина озера (W_{sr}) является производным параметром, отражающим соотношение между площадью водоёма и его максимальной длиной.

Показатель W_{sr} характеризует пропорции озёрной котловины, определяя степень её вытянутости и компактности. В гидрологических моделях он используется при расчёте индексов формы и анализа ветрового воздействия на поверхность водоёма.

В автоматизированной модели данный расчёт выполняется с помощью функции «вычислить поле» библиотеки ArcPy. В алгоритме предусмотрены следующие шаги:

- Проверка наличия полей AREA_GEO и Lmax_km в таблице атрибутов;
- Создание нового поля WSr_km (тип Double);
- Применение выражения !AREA_GEO! / ! Lmax_km!;
- Автоматическая запись результата для каждого объекта.

Средняя ширина является индикатором формы и гидродинамической организации озёрной системы. Компактные озёра ($W_{sr} \approx L_{max} / 2$) обычно характеризуются устойчивыми ветровыми течениями и равномерным распределением температуры, тогда как вытянутые водоёмы ($W_{sr} << L_{max}$) обладают более выраженной стратификацией и продольными течениями.

Кроме того, показатель W_{sr} используется при классификации озёрных котловин по морфогенетическим признакам — тектонические озёра, как правило, более вытянуты, тогда как ледниковые — ближе к изометрической форме.

В автоматизированной модели этот блок выполняет завершающую функцию, формируя интегральный морфометрический набор данных, включающий площадь, периметр, длину и среднюю ширину озера.

Разработанная интегрированная модель обеспечивает полный цикл морфометрического анализа водных объектов в автоматическом режиме. Каждый блок

выполняет самостоятельную функцию, но в совокупности они образуют замкнутую аналитическую систему:

Модель обладает следующими преимуществами:

- Автоматизация — исключает ручные операции и минимизирует вероятность ошибок;
- Воспроизводимость — все расчёты выполняются по единым алгоритмам;
- Геодезическая корректность — измерения учитывают кривизну Земли;
- Модульность — каждый блок может применяться отдельно или в составе полной модели;
- Универсальность — метод применим для озёр любых размеров и форм.

С точки зрения гидрологии, разработанная модель создаёт основу для анализа пространственных закономерностей в морфометрии озёр, оценки их эволюции и влияния климатических факторов. Полученные параметры могут использоваться для прогнозирования изменений водного баланса, анализа термической стратификации и оценки водообмена между озёрами и прилегающими территориями.

Результаты и обсуждение. Реализация пятиблочной модели в среде ArcMap показала, что автоматизация морфометрического анализа позволяет значительно повысить эффективность и надёжность вычислений. В сравнении с традиционными методами, основанными на ручных измерениях по картографическим материалам, предложенный подход сокращает время обработки в 10–15 раз при сохранении высокой точности результатов.

Пакетная обработка спутниковых изображений позволяет в течение одного вычислительного цикла извлекать и анализировать десятки или сотни озёр. Благодаря использованию встроенных средств ArcPy модель выполняет все операции без необходимости ручного вмешательства, что делает её применимой для регулярного мониторинга водных систем.

Эти результаты подтверждают, что автоматизированная модель не только корректно воспроизводит известные морфометрические закономерности, но и обеспечивает возможность их количественного анализа для больших выборок озёр.

Традиционные методы морфометрического анализа, основанные на визуальном определении контуров и ручных измерениях, характеризуются высокой зависимостью от субъективных факторов и времени выполнения. Даже при высокой квалификации оператора результаты могут отличаться из-за вариаций в выборе границы между водой и сушей, особенно при наличии мелководных участков или растительности.

Автоматизированный подход, напротив, обеспечивает объективность и воспроизводимость. NDWI индикатор позволяет исключить субъективные различия, а геодезические вычисления — устранить искажения проекций. Кроме того, использование ArcPy позволяет хранить все вычисления в виде сценариев, что обеспечивает прозрачность и проверяемость результатов.

При сопоставлении временных серий спутниковых данных (например, Sentinel-2 за разные годы) модель продемонстрировала возможность оценивать межгодовые изменения площади озёр с точностью до 0.1 км², что делает её применимой для задач климатического мониторинга.

С точки зрения гидрологии, разработанная модель открывает новые возможности для количественного анализа пространственных закономерностей в морфометрии озёр. Полученные параметры ($S_{(g)}$, Lmax, $P_{(g)}$, Wsr) могут быть использованы для:

- оценки динамики водного баланса и испарительных потерь;
- анализа морфогенетических типов озёр по соотношению длины и ширины;
- моделирования гидродинамических процессов (ветровое течение, волновой режим);

- пространственного анализа влияния климата и рельефа на морфометрию водоёмов.

В контексте прикладных задач модель может использоваться для гидрологических обследований, составления паспортов водоёмов, оценки изменений береговой линии, а также для планирования природоохранных мероприятий.

Разработанная система является универсальной: она применима как к отдельным озёрам, так и к крупным региональным системам. Благодаря геодезической корректности, модель может использоваться в международных исследованиях, где важно обеспечить сопоставимость результатов при анализе водных систем разных климатических зон.

В перспективе возможно расширение модели за счёт:

- интеграции данных о глубине (по ЦМР дна или батиметрическим картам);
- внедрения временного анализа (time-series NDWI) для изучения сезонных изменений;
- автоматической оценки ошибок и статистического доверительного интервала для каждого параметра.

Главным результатом исследования является создание универсальной, автоматизированной и геодезически корректной модели морфометрического анализа озёр. Она сочетает методы дистанционного зондирования и ГИС анализов, объединяя их в единую вычислительную архитектуру.

Полученная система представляет собой шаг к стандартизации гидрологического морфометрического анализа и может стать частью более широких климато-гидрологических исследований.

Выводы. Проведённое исследование позволяет сформулировать следующие выводы:

1. Разработана интегрированная модель морфометрического анализа озёр, реализованная в среде ArcMap с использованием языка Python и библиотеки ArcPy. Модель включает последовательные этапы — от выделения водных поверхностей (NDWI) до вычисления производных морфометрических показателей.

2. Автоматизация морфометрических расчётов позволила существенно повысить эффективность обработки данных и обеспечить воспроизводимость результатов. Все вычисления выполняются в геодезической системе координат (WGS 1984), что исключает искажения, характерные для проекционных измерений.

3. Применение индекса NDWI доказало высокую эффективность при извлечении контуров водоёмов из многоспектральных спутниковых изображений Sentinel-2. Метод обеспечивает стабильные результаты при различных условиях освещения и сезонных изменениях, что делает его универсальным инструментом гидрологического мониторинга.

4. Алгоритм определения максимальной длины озера обеспечивает автоматическое выявление продольной оси водоёма и формирование линейного объекта, отражающего его морфологическую ориентацию. Этот параметр имеет ключевое значение для оценки ветрового разгона волн и морфогенетической типизации озёр.

5. Интеграция атрибутивных данных создала унифицированную структуру морфометрической базы данных, что позволило объединить геометрические, линейные и аналитические параметры в одной таблице, упрощая дальнейший анализ и статистическую обработку.

6. Геодезический расчёт площади и периметра обеспечивает метрическую корректность анализа, позволяя выполнять измерения независимо от широты и проекции. Отклонения между геодезическими и топографическими измерениями составляют менее 2 %.

7. Расчёт средней ширины озера завершает аналитический цикл и формирует производный параметр, отражающий морфометрическую структуру водоёма.

Полученные значения средней ширины озера согласуются с классическими закономерностями, установленными в лимнологии.

8. Модель доказала универсальность и гибкость: она может быть применена для озёр любых размеров и типов, как в локальных, так и в региональных исследованиях. Пакетная обработка делает возможным масштабное использование системы для оценки пространственно-временных изменений озёрных систем.

9. Гидрологическое значение модели заключается в возможности количественного анализа влияния формы озёр на их водный баланс, термический режим и динамику течений. Модель также может применяться при мониторинге климатических изменений и оценке воздействия антропогенных факторов.

10. Перспективы дальнейшего развития включают интеграцию временных рядов NDWI, использование батиметрических данных для расчёта объёмов водоёмов и развитие модулей автоматической валидации результатов. Это позволит расширить функциональность модели и применить её в задачах климато-гидрологического моделирования.

Использованная литература:

1. Алексеев В.В. Морфометрический анализ озёрных котловин. Москва: Изд-во МГУ, 1973. 184 с.

2. Гидрометеорология и гидрохимия озёр мира. Ленинград: Гидрометеоиздат, 1991. Т. 1. 304 с.

3. Зайцев А.И. Морфометрические показатели в гидрологии и лимнологии. Ленинград: Наука, 1984. 212 с.

4. Ляпин В.А. Морфометрия озёр и водохранилищ. Москва: Гидрометеоиздат, 1989. 245 с.

5. Морфология и динамика озёрных котловин / под ред. Н. А. Пузаченко. Москва: Наука, 2002. 318 с

6. Фридман А.Л. Геоинформационные методы в гидрологии. М.: Логос, 2015. 272 с.

7. Burrough P.A., McDonnell R.A. (2000), *Principles of Geographical Information Systems*, Oxford, 490 p.

8. Du Y., et al. (2012), Water bodies extraction from Landsat imagery using NDWI and MNDWI indices: a comparative analysis, *Remote Sensing Letters*, Vol. 3(6), pp. 491–499.

9. Evans I. S., Minár J. (2011) A classification of geomorphometric variables based on surfaces, lines and points, Geomorphology, Vol. 129, pp. 497–510.

10. Gao B. C. (1996), NDWI — A normalized difference water index for remote sensing of vegetation liquid water from space, *Remote Sensing of Environment*, Vol. 58, pp. 257–266.

11. Goodchild M. F. (2007), *Geographical Information Science and Systems*, New York.

12. Hutchinson G. E. (1957), *A Treatise on Limnology*, New York, 1115 p.

13. Li J., Shao Q. (2022), An improved algorithm for lake boundary delineation and morphometric analysis, *Water Resources Research*, Vol. 58(7).

14. McFeeters S. K. (1996), The use of the Normalized Difference Water Index (NDWI) in the delineation of open water features, *International Journal of Remote Sensing*, Vol. 17(7), pp. 1425–1432.

15. Müller H., et al. (2020), Integrated GIS based analysis of lake morphology and hydrological parameters, *Environmental Modelling & Software*, Vol. 126, pp. 104–114.

16. Tang W., Hao Y., Zhao Y., Ning L. (2008), Research on areal feature matching algorithm based on spatial similarity, *Proc. of the Control and Decision Conference*, Yantai, pp. 3326–3330.

17. Wetzel R. G. (2001), *Limnology: Lake and River Ecosystems*, 3rd ed., San Diego, 1006 p.

References:

1. Alekseev V. V. (1973), *Morphometric Analysis of Lake Basins*, Moscow, 184 p. (In Russ.).

2. *Hydrometeorology and Hydrochemistry of World Lakes* (1991), Leningrad, Vol. 1, 304 p. (In Russ.).

3. Zaitsev A. I. (1984), *Morphometric Indicators in Hydrology and Limnology*, Leningrad, 212 p. (In Russ.).

4. Lyapin V. A. (1989), *Morphometry of Lakes and Reservoirs*, Moscow, 245 p. (In Russ.).

5. *Morphology and Dynamics of Lake Basins*, edited by N. A. Puzachenko (2002), Mosco, 318 p. (In Russ.).

6. Fridman A.L. (2015), *Geoinformation methods in hydrology*, Moscow, 272 p. (In Russ.).

7. Burrough P.A., McDonnell R.A. (2000), *Principles of Geographical Information Systems*, Oxford, 490 p.

8. Du Y., et al. (2012), Water bodies extraction from Landsat imagery using NDWI and MNDWI indices: a comparative analysis, *Remote Sensing Letters*, Vol. 3(6), pp. 491–499.

9. Evans I. S., Minár J. (2011) A classification of geomorphometric variables based on surfaces, lines and points, Geomorphology, Vol. 129, pp. 497–510.

10. Gao B. C. (1996), NDWI — A normalized difference water index for remote sensing of vegetation liquid water from space, *Remote Sensing of Environment*, Vol. 58, pp. 257–266.

11. Goodchild M. F. (2007), *Geographical Information Science and Systems*, New York.

12. Hutchinson G. E. (1957), *A Treatise on Limnology*, New York, 1115 p.

13. Li J., Shao Q. (2022), An improved algorithm for lake boundary delineation and morphometric analysis, *Water Resources Research*, Vol. 58(7).

14. McFeeters S. K. (1996), The use of the Normalized Difference Water Index (NDWI) in the delineation of open water features, *International Journal of Remote Sensing*, Vol. 17(7), pp. 1425–1432.

15. Müller H., et al. (2020), Integrated GIS based analysis of lake morphology and hydrological parameters, *Environmental Modelling & Software*, Vol. 126, pp. 104–114.

16. Tang W., Hao Y., Zhao Y., Ning L. (2008), Research on areal feature matching algorithm based on spatial similarity, *Proc. of the Control and Decision Conference*, Yantai, pp. 3326–3330.

17. Wetzel R. G. (2001), *Limnology: Lake and River Ecosystems*, 3rd ed., San Diego, 1006 p.

Сведения об авторе:

Мягков Сергей Сергеевич – Научно-исследовательский гидрометеорологический институт (Ташкент, Узбекистан), доктор философии (PhD), старший научный сотрудник. E-mail: s.s.myagkov@gmail.com

Information about author:

Sergey S. Myagkov – Hydrometeorological Research Institute (Tashkent, Uzbekistan), PhD, Junior Researcher. E-mail: s.s.myagkov@gmail.com

Для цитирования:

Мягков С.С. Модель автоматизированного морфометрического анализа озёр с применением ГИС-технологий // Центральноазиатский журнал географических исследований. 2025. № 3-4. С. 99-113.

For citation:

Myagkov S.S. (2025), A model of automated morphometric analysis of lakes using GIS technologies, *Central Asian Journal of Geographical Sciences*, No. 3-4, pp. 99-113. (In Russ.).

ЮБИЛЕИ

ANNIVERSARIES

ШУХРАТУ СОЛИХОВИЧУ ЗОКИРОВУ – 85 ЛЕТ!



Известный узбекский учёный в области физической географии, Почетный член Географического общества Узбекистана, кандидат географических наук, доцент Шухрат Солихович Зокиров отметил в 2025 году свое 85-летие.

Ш.С. Зокиров родился 4 сентября 1940 года в Ташкенте. После окончания средней школы в 1957 году он поступил на Географический факультет Среднеазиатского государственного университета (ныне – Национальный университет Узбекистана).

По окончании университета в 1962 году он стал преподавателем кафедры физической географии университета. В 1966 году Ш.С. Зокиров поступил в аспирантуру при кафедре физической географии Ташкентского государственного университета. После нескольких лет исследований Шухрат Солихович Зокиров в 1972 году успешно защитил кандидатскую диссертацию под научным руководством доктора географических наук, профессора Н.А. Когая на тему «Природные условия бассейна реки Ахангаран и опыт их оценки в сельскохозяйственных целях».

После защиты диссертации Ш.С. Зокиров продолжил преподавательскую деятельность на кафедре физической географии Ташкентского университета. В 1978 году он получил учёное звание доцента по кафедре физической географии.

Доцент Ш.С. Зокиров внёс большой вклад в совершенствование учебного процесса и научной работы на географическом факультете Ташкентского государственного университета. В частности, в 1983–1989 годах он работал заместителем декана, сначала по научной, а затем – по учебной работе. В период 1989-1999 гг. Ш.С. Зокиров плодотворно работал деканом географического факультета, проводя системную работу по созданию благоприятной научно-образовательной среды на факультете. В 1999-2015 гг. Ш.С. Зокиров работал на должности доцента своей родной кафедры физической географии Национального университета Узбекистана.

За более чем 50 лет научно-педагогической деятельности учёный опубликовал более 140 научных работ. Такие его труды, как «Агроклиматические ресурсы сельского хозяйства Узбекистана» (1985, в соавторстве с Л.Н. Бабушкиным и Н.А. Когаем), «Основы ландшафтоведения» (1994), «Антропогенное и прикладное ландшафтоведение» (1998), «Физическая география малых территорий» (1999), «Ландшафтоведение» (2014, в соавторстве с Х.Р. Тошевым), «История географии» (2018, в соавторстве с Х.Р. Тошевым), поныне широко используются в учебном процессе в высших учебных заведениях. Доцент Ш.С. Зокиров и после выхода на заслуженный отдых продолжает работать над написанием учебников, монографий и научных статей по истории и теории физической географии, ландшафтоведению.

Под научным руководством доцента Ш.С. Зокирова были защищены 2 кандидатские диссертации. В 2020 г. За большой личный вклад в развитие географической науки и образования Узбекистана Ш.С. Зокирову было присвоено почётное звание “Почётный член Географического общества Узбекистана”.

Сердечно поздравляем Шухрата Солиховича Зокирова с 85-летним юбилеем и желаем ему долголетия, крепкого здоровья, семейного счастья и творческих успехов!

Редакционная коллегия Международного научного журнала «Центральноазиатский журнал географических исследований»

АНАТОЛИЮ ИВАНОВИЧУ ЧИСТОБАЕВУ – 85 ЛЕТ!



В 2025 году 85-летний юбилей отмечает один из корифеев российской экономической и социальной географии Заслуженный деятель науки, доктор географических наук, профессор Анатолий Иванович Чистобаев.

Анатолий Иванович родился 27 декабря 1940 года в селе Польцо Калининской (ныне – Тверской) области. Отец Анатолия Ивановича погиб под Сталинградом 18 ноября 1942 г., в день своего тридцатилетия. Детство будущего учёного пришлось на военные и послевоенные годы, все тяготы которых сполна разделила его семья.

В 1958 году А.И. Чистобаев поступил на географический факультет Ленинградского государственного университета, который успешно окончил в 1963 году. По окончании университета работал в течение 10 лет в Коми филиале АН СССР, пройдя путь от старшего лаборанта до заведующего сектором размещения производства.

Анатолий Иванович Чистобаев в 1972 г. защитил диссертацию кандидата геогарфических наук на тему «Проблемы развития и рационализации транспортно-экономических связей Европейского Севера» в Ленинградском государственном университете.

В 1981 году учёный защитил докторскую диссертацию на тему «Развитие экономических районов СССР: теория и методы прогнозирования», а в 1984 году он получил учёное звание профессора по кафедре экономической географии.

С 1980 года по настоящее время Анатолий Иванович Чистобаев работает в Санкт-Петербургском (ранее – Ленинградском) государственном университе. В 1980-1986 гг. он являлся доцентом, профессором кафедры экономической географии, в 1986-2007 гг. – директором НИИ географии университета, а с 2007 г. по настоящее время является профессором кафедры региональной политики и политической географии.

А.И. Чистобаев является видным ученым в области общественной географии, создателем учений о проблемно-программном и программно-целевом управлении развитием регионов, системно-структурном прогнозировании регионального развития, теоретических основ регионоведения и региональной политики. В последние годы разрабатывает теоретико-методологические вопросы в областях геоэкологии, экономики природопользования, медицинской географии.

За несколько десятилетий активной научно-педагогической деятельности профессором А.И. Чистобаевым опубликовано более 400 научных работ, в частности, более 30 монографий, учебников и учебных пособий. В 1999 году учёный удостоился почётного звания Заслуженного деятеля науки РФ.

Под научным руководством А.И. Чистобаева защищены 35 кандидатских и 4 докторских диссертации. Среди учеников Анатолия Ивановича есть и видные географы Узбекистана – профессор Ферганского государственного университета Ю.И. Ахмадалиев и ныне покойный профессор Наманганского государственного университета О. Абдуллаев. В знак признания заслуг профессора А.И. Чистобаева в деле подготовки научно-педагогических кадров для географической науки Узбекистана в 2020 г. ему было присвоено почётное звание «Почётный зарубежный член Географического общества Узбекистана»

От всей души поздравляем Анатолия Ивановича Чистобаева со славной юбилейной датой и желаем ему долгих лет жизни, крепкого здоровья, семейного благополучия и новых творческих достижений!

Редакционная коллегия Международного научного журнала «Центральноазиатский журнал географических исследований»

АХМЕТКАЛУ РАХМЕТУЛЛАЕВИЧУ МЕДЕУ – 75 ЛЕТ!



В 2025 году 75 лет исполняется одному из выдающихся деятелей и организаторов географической науки Республики Казахстан – председателю правления АО «Институт географии и водной безопасности» Комитета науки Министерства образования и науки Республики Казахстан, Заслуженному деятелю Республики Казахстан, дважды лауреату Государственной премии Республики Казахстан, академику НАН Республики Казахстан, доктору географических наук, профессору Ахметкалу Рахметуллаевичу Медеу.

А.Р. Медеу родился 20 декабря 1950 года в селении Мукры (ныне – Акын Калка) Коксуйского района Талдыкорганской (ныне – Жетусуйской) области Казахстана в семье чабана. После окончания школы в 1968 г. Ахметкал Рахметуллаевич работал на производстве, отслужил срочную службу в рядах Советской Армии. В 1972 г. поступил на географический факультет Казахского государственного университета (ныне – Казахский национальный университет имени Аль-Фараби), который окончил в 1977 г.

В 1978-1987 гг. Ахметкал Медеу работал на должностях инженера, младшего научного сотрудника и научного сотрудника в Институте геологических наук им. К.И.Сатпаева АН Казахской ССР. В 1987 г., через год после защиты кандидатской диссертации, перешёл на работу в Институт географии АН Казахстана. В 1991-1994 гг. был заместителем директора по научной работе Института географии, в 1994-2001 гг. – главным научным сотрудником, а с 2001 по 2020 г. – директором Института географии. С мая 2020 г. по настоящее время занимает должность председателя правления АО «Институт географии и водной безопасности» Комитета науки Министерства образования и науки Республики Казахстан.

Ахметкал Рахметуллаевич Медеу в 1994 г. защитил диссертацию доктора географических наук на тему «Научные основы управления селевыми процессами сейсмоактивных горных геосистем Казахстана». В 1998 г. учёному присвоено учёное звание профессора. А в 2017 г. Ахметкал Рахметулаевич Медеу был избран действительным членом Национальной Академии наук Республики Казахстан.

Академик А.Р. Медеу – учёный с многогранными научными интересами, внёсший весомый вклад в развитие таких актуальных направлений исследований, как геоморфология, сейсмотектоника, география природного риска, водная безопасность, атласное и тематическое картографирование, геоэкология. Руководя многие годы Институтом географии (с 2019 г. – Институт географии и водной безопасности), он способствовал развитию и продуктивной реализации на новом уровне научно-практического потенциала географии Казахстана.

Юбиляром опубликовано более 200 научных работ, в том числе более 20 монографий, 4 атласа и 2 словаря географических названий. Под его руководством защищены более двух десятков кандидатских и докторских диссертаций.

Дважды – в 2013 и 2019 гг. – А.Р. Медеу становился лауреатом Государственной премии Республики Казахстан в области науки и техники.

Мы от всей души поздравляем академика Ахметкала Рахметуллаевича Медеу с 75-летием и желаем ему долгих лет жизни, крепкого здоровья, семейного благополучия и новых успешных результатов научной и организационной деятельности!

Редакционная коллегия Международного научного журнала
«Центральноазиатский журнал географических исследований»

ПАМЯТЬ

MEMORY

БАХОДИР АСОМОВИЧ КАМАЛОВ (1942-2025)



Организатор и многолетний (1968-2006) руководитель военизированного управления воздействия на гидрометеорологические процессы в Узбекистане, известный в республике учёный в области гидрометеорологии, доктор географических наук, профессор, Почётный член Географического общества Узбекистана Баходир Асомович Камалов скончался в возрасте 83 лет 16 августа 2025 года.

Профессор Наманганского государственного университета, доктор географических наук Б.А. Камалов родился 9 марта 1942 года в городе Намангане. В 1958 году он окончил школу с серебряной медалью и поступил на Географический факультет Самаркандского государственного университета.

В 1963 году, после окончания университета, он начал свою трудовую деятельность в 4-ом гидрографическом отряде Управления гидрометеорологии Узбекской ССР в должности старшего инженера. Тогда же он был привлечён к созданию монографического сборника «Поверхностные воды. Том 14. Раздел 1. Бассейн р. Сырдарьи».

В 1974 году в Москве он защитил диссертацию на соискание учёной степени кандидата географических наук на тему «Современное оледенение и сток с ледников в бассейне Сыр-Дарьи», а в 2007 году в Ташкенте – диссертацию доктора географических наук на тему «Активные воздействия на гидрометеорологические процессы в Узбекистане. Научно-методические основы. Усовершенствование».

Б.А. Камалов совмещал научно-исследовательскую работу с производственной деятельностью. В 1968 году он был назначен начальником противоградового отряда Узбекской ССР, и его дальнейшая деятельность была, в основном, связана с развитием работ по воздействию на гидрометеорологические процессы. Под его руководством и при его активном участии в республике были созданы 7 противоградовых отрядов, взявших под охрану 740 тысяч га посевных площадей, проводились опытно-производственные работы в Кашкадарьинской области по увеличению количества осадков, создана служба искусственного схода лавин на горнолыжном курорте Чимган в Ташкентской области. В результате в Узбекистане появилась крупная научно-производственная организация по воздействию на гидрометеорологические процессы, и Б.А. Камалов непосредственно руководил ею в течение 30 лет. В 2006 году учёный сосредоточился на научно-образовательной деятельности и перешёл на работу в Наманганский государственный университет.

Б.А. Камалов опубликовал около 350 научных работ, в том числе, 8 монографий, 1 учебник, 2 учебных пособия, ряд научных и научно-популярных брошюр. Под его научным руководством были защищены 2 кандидатские диссертации и 6 диссертаций доктора философии (PhD). В настоящее время готовятся к защите 3 диссертации доктора наук (DSc) и 4 диссертации доктора философии (PhD), выполненные под его научным руководством.

В связи с кончиной Баходира Асомовича Камалова выражаем соболезнования членам его семьи, родным и близким, коллегам и ученикам. Светлая память ему как крупному учёному, организатору и практическому деятелю в сфере гидрометеорологии!

Редакционная коллегия Международного научного журнала «Центральноазиатский журнал географических исследований»

БАХОДИР АРИПОВИЧ БАХРИТДИНОВ (1941-2025)



Географическая наука Узбекистана понесла тяжёлую потерю – 9 ноября 2025 года скончался доктор географических наук, профессор Баходир Арипович Бахритдинов.

Б.А. Бахритдинов родился 1 июня 1941 года в Ташкенте в семье интеллигентов. В 1958 году с отличием окончил среднюю школу № 75 Шайхантахурского района. В 1959 году поступил на Географический факультет Среднеазиатского государственного университета (ныне – Национальный университет Узбекистана), который окончил с отличием в 1964 году. Тогда же он был принят на работу на географический факультет.

В 1969 году поступил в аспирантуру Института географии АН СССР в Москве по специальности «Физическая география». В 1972 году под руководством профессоров С.В. Зонна и И.Н. Степанова на заседании Специализированного совета при Институте географии АН СССР защитил кандидатскую диссертацию на тему «Гидротермический и биологический режим ландшафтов Чаткальского хребта».

С 1973 года научная деятельность Б.А. Бахритдинова была связана с Отделом географии АН Узбекистана (с 1998 г. – вошёл в структуру Института сейсмологии АН Узбекистана).

Основные научные труды Б.А. Бахритдинова связаны с одним из важных направлений физической географии – природно-географическими основами рационального использования природных ресурсов. В 1986 году совместно с А.К. Уразбаевым (ныне – доктор географических наук, профессор) под руководством профессора И.Н. Степанова он участвовал в ВДНХ в Москве с результатами научного исследования на тему «Роль крупномасштабных карт пластики рельефа дельты Амударьи в мелиорации земель» и был награждён бронзовой медалью.

Б.А. Бахритдинов плотно занимался физико-географическими аспектами изучения памятников природы, их охраны и рационального использования. Основные результаты этих научных исследований нашли отражение в его докторской диссертации на тему «Уникальные памятники природы Узбекистана», защищенной в Ашхабаде в 1995 году.

Б.А. Бахритдинов многие годы работал профессором в Университете мировой экономики и дипломатии.

Учёным опубликованы 2 монографии, 4 учебника и учебных пособия в соавторстве с профессором Э.И. Чембарисовым, 6 брошюр, более 100 научных статей.

Под руководством Б.А. Бахритдинова были защищены 1 докторская диссертация по географическим наукам и 2 кандидатские диссертации по экономическим наукам. Профессор Б.А. Бахритдинов много лет был активным членом диссертационных советов при Национальном университете Узбекистана и Научно-исследовательском гидрометеорологическом институте.

Выражаем искренние соболезнования членам семьи, родным и близким профессора Б.А. Бахритдинова в связи с его кончиной. Уверены, что память о нём как об учёном, наставнике и человеке будет жить долгие годы в сердцах его коллег и учеников!

Редакционная коллегия Международного научного журнала «Центральноазиатский журнал географических исследований»

ГЛЕБ НИКАНОРОВИЧ ЧЕРДАНЦЕВ (1885-1958)



Один из первопроходцев экономико-географического исследования Узбекистана и всей Средней Азии, первый ректор университета, академик АН Узбекской ССР, доктор экономических наук, профессор Глеб Никанорович Черданцев родился 4 августа 1885 г. в Омске. Его отец, Никанор Степанович Черданцев, юрист по образованию, с 1887 г. работал по специальности в Средней Азии, с 1904 г. жил с семьёй в Ташкенте.

Г.Н. Черданцев окончил сначала гимназию в Ташкенте, а затем Экономический факультет Петербургского политехнического института (1909 г.). С 1910 по 1914 г. работал в Плановом отделе в Одессе. В 1914 г. он вернулся в Ташкент и до 1918 г. работал в Туркестанском краевом управлении сельского хозяйства и государственных имуществ.

Г.Н. Черданцев принимал активное участие в создании Туркестанского государственного университета в 1918 г. и был избран его первым ректором. На этой должности ученый проработал до декабря 1920 г. С 1921 по 1924 г. Г.Н. Черданцев занимал должность декана Социально-экономического, а затем Факультета общественных наук университета. С 1924 года он занимал должность профессора Факультета общественных наук. Помимо преподавания в университете, Г.Н. Черданцев также работал научным консультантом в различных проектных организациях.

Г.Н. Черданцев был членом Президиума и заместителем председателя Госплана, председателем Госплана Хорезмской Народной Советской Республики. В 1921-1923 гг. он был заместителем Председателя Госплана АССР, возглавлял подкомиссию по экономическому объединению республик Средней Азии. В 1923 году был председателем Госплана Бухарской Народной Советской Республики.

В 1924-1929 гг. Г.Н. Черданцев работал в Госплане СССР. С 1924 г. он занимался педагогической работой, преподавая в Московском межевом институте (с 1936 г. – МИИГАиК). В 1920-30-е гг. ученый много работал над изучением проблем территориальной организации производительных сил в Узбекистане и сопредельных республиках. В эти годы были опубликованы классические труды Г.Н. Черданцева «Среднеазиатский экономический район» (1922), «Республики Средней Азии» (1928), «Основы географии сельского хозяйства» (1931), «Экономическая география» (1933).

В 1936 году Г.Н. Черданцеву без защиты докторской диссертации по совокупности работ была присуждена учёная степень доктора экономических наук.

В Ташкенте Г.Н. Черданцев вновь оказался в эвакуации в годы Великой Отечественной войны. В Ташкент был эвакуирован МИИГАиК, обязанности ректора которого в 1941-1943 гг. исполнял Глеб Никанорович. Параллельно он работал на кафедре экономической географии Среднеазиатского государственного университета.

После создания Академии наук Узбекской ССР в 1943 году Г.Н. Черданцев был избран её членом-корреспондентом. За вклад в развитие экономических и экономико-географических исследований в республике, подготовку квалифицированных специалистов в этой области профессору Г.Н. Черданцеву в 1955 году было присвоено почетное звание «Заслуженный деятель науки Узбекской ССР», а в 1956 году Глеб Никанорович был избран действительным членом Академии наук Узбекской ССР.

Скончался Г.Н. Черданцев в Москве в 1958 году, похоронен на Новодевичьем кладбище. В Узбекистане помнят Глеба Никаноровича Черданцева как одного из основоположников отечественной экономико-географической науки.

Редакционная коллегия Международного научного журнала «Центральноазиатский журнал географических исследований»

АСАМУТДИН ЗАЙНУТДИНОВ (1940-2015)



В 2025 году исполнилось 85 лет со дня рождения видного узбекского учёного физико-географа, кандидата географических наук, доцента Асамутдина Зайнутдинова.

Он родился 24 июля 1940 года в Ташкенте. После окончания средней школы в 1958 году А. Зайнутдинов поступил на Географический факультет Среднеазиатского государственного университета (ныне – Национальный университет Узбекистана). В 1963 году он начал трудовую деятельность учителем географии в школе № 4 Сариасийского района Сурхандарьинской области.

В 1966 году Асамутдин Зайнутдинов начал работу в Комплексной геологоразведочной экспедиции. В ней он проработал до 1972 года техником-геологом, геологом, старшим геоморфологом и начал активно участвовать в полевых научных и прикладных исследованиях в области геологии и физической географии.

В 1966–1967 годах он принимал участие в составлении серии геоморфологических карт Узбекистана, а в 1968–1970 годах – неотектонических карт Ташкентской, Сырдарьинской и Самаркандской областей в масштабе 1:500 000. Он является участником авторского коллектива неотектонических карт в масштабе 1:200 000, составленных по материалам геоморфологических исследований, проведенных в Центральном Кызылкуме в 1971-1979 годах.

Учёный принимал участие в работах по составлению ландшафтной карты Средней Азии (1973-1975 гг.), изучении ландшафтов и составлении крупномасштабной ландшафтной карты Зааминского национального парка (1978-1979 гг.). В 1979-1980 гг. он участвовал в геолого-геоморфологическом обосновании выбора места для строительства уникального научного объекта «Большая солнечная печь» в Паркентском районе Ташкентской области. В дальнейшем, в 1981-1983 гг. А. Зайнутдинов участвовал в инженерно-геологических и предпроектных исследовательских работах при сооружении различных объектов в Кумушкане, Обирахмате, Карабулаке и Хумсане.

Кроме того, учёный в течение 1980-1991 гг. принимал активное участие в геолого-геоморфологических экспедициях по обоснованию мест строительства нескольких зон отдыха на побережье Чарвакского водохранилища, горнолыжных курортов и пансионатов в Бельдерсае (Ташкентская область), Таллимарджанской ТЭС (Кашкадарьинская область) и в районе строительства Ходжимушкентского водохранилища (Джизакская область).

В 1990 г. Асамутдин Зайнутдинов успешно защитил кандидатскую диссертацию по специальности 11.00.01 – Физическая география, геохимия и геофизика ландшафта на тему «Роль современных тектонических движений в формировании природных условий Ташкентской области» под научным руководством профессора Н.А Когая.

В 1990 г. А. Зайнутдинов переходит на научно-педагогическую работу в родной университет, на должность старшего преподавателя кафедры методики преподавания географии, доцентом которой он стал в 1994 году. За два десятка лет преподавательской деятельности доцент А. Зайнутдинов обрёл заслуженный авторитет как знающий, дисциплинированный, требовательный и справедливый педагог. Также А. Зайнутдинов много времени и сил отдавал общественной работе, в частности, он с 1996 года был бессменным председателем профсоюзного комитета факультета.

Светлая память о кандидате географических наук, доценте А. Зайнутдинове как талантливом географе, прекрасном преподавателе и достойном человеке живёт в сердцах коллег, учеников и всех, кто его знал и общался с ним.

Редакционная коллегия Международного научного журнала «Центральноазиатский журнал географических исследований»

ХРОНИКА

CHRONICLE

ЕВРАЗИЙСКИЙ КОНГРЕСС ЭКОНОМИКО-ГЕОГРАФОВ (ГЕОГРАФОВ-ОБЩЕСТВОВЕДОВ) (г. Ош – г. Бишкек, Кыргызская Республика, 1-9 июня 2025 г.)

1-9 июня 2025 года в городах Ош и Бишкек Кыргызской Республики состоялись мероприятия Евразийского конгресса экономико-географов (географов-обществоведов), организаторами которого выступили Ошский государственный университет, Ассоциация российских географов-обществоведов, Кыргызский Национальный университет имени Ж. Баласагына, Бишкекский государственный университет имени К. Карасаева, Институт географии РАН. В Ошском государственном университете мероприятия Конгресса были организованы на базе кафедры экономической географии, отраслевой экономики и туризма Института естествознания, физического воспитания, туризма и аграрных технологий под общим руководством директора Института д.г.н., профессора А.Г. Низамиева.

В Конгрессе приняли участие ученые из разных городов Кыргызстана и 48 представителей зарубежных стран: Германии (1 чел.), Казахстана (5), Китая (4), Польши (2), России (28), Сербии (3) и Узбекистана (5). В частности, участвовали 1 академик РАН, 12 докторов наук, 19 кандидатов наук и 6 докторов PhD. Среди них такие известные ученые-географы, как Тулохонов А.К., научный руководитель Байкальского института природопользования СО РАН, академик РАН, д.г.н., профессор; Дружинин А.Г., Президент Ассоциации российских географов-обществоведов, директор Северо-Кавказского НИИ экономических и социальных проблем Южного федерального университета, ведущий научный сотрудник Института географии РАН, д.г.н., профессор; Колосов В.А., заместитель директора Института географии РАН, паст-президент Международного географического союза, вице-президент РГО, заслуженный географ России, д.г.н., профессор; Донг Сочэнг, заведующий Центром региональных эколого-экономических исследований и планирования Института географических наук и исследований природных ресурсов Китайской Академии наук, PhD, профессор и другие.

Торжественное открытие Конгресса прошло 2 июня 2025 г. в центре «Congress Resort OshSU», где были заслушаны 23 доклада на 2 пленарных и 2 секционных заседаниях. 5 июня Конгресс продолжил работу в КНУ им. Ж. Баласагына и БГУ им. К. Карасаева, где на 2 пленарных заседаниях выступили с докладами ректора названных вузов – д.г.н., профессор Д.Т. Чонтоев и д.г.н., профессор М.М. Дылдаев. Материалы Конгресса были изданы в специальном номере журнала “Вестник ОшГУ. Химия. Биология. География”.

В целях реализации научно-практических основ тематических направлений работы Конгресса были организованы полевые выезды по маршруту Ош – Жалал-Абад – Токтогул – Кара-Балта – Бишкек, научно-познавательные экспедиции в зону пика Ленина (7134 м) через горные перевалы Чыйырчык (2389 м) и Талдык (3619 м), курортную зону “Иссык-Ата” (Чуйская область), село Чок-Тал на озере Иссы-Куль с размещением в спортивно-оздоровительном лагере “Дельфин”, в г. Каракол.

Мероприятия Евразийского конгресса экономико-географов (географов-обществоведов) способствовали развитию научных и личных контактов учёных из разных стран Евразии. Было решено провести следующий Конгресс в 2027 году в Китае.

Редакционная коллегия Международного научного журнала “Центральноазиатский журнал географических исследований”

Требования к оформлению статей, представляемых для публикации в международном научном журнале "Центральноазиатский журнал географических исследований"

Для публикации в международном научном журнале "Центральноазиатский журнал географических исследований" в электронном виде, через официальный веб-сайт журнала www.cageojournal.uz принимаются *ранее не публиковавшиеся статьи на актуальные темы, отражающие результаты законченных исследований и вклад автора (авторов) в их достижении, написанные на русском или английском языках*.

Журнал состоит из следующих тематических разделов:
- Теория и история географии;
- Физическая география и геоэкология;
- Экономическая и социальная география;
- Гидрология и климатология;
- География рекреации и туризма;
- Картография и геоинформатика;
- Юбилеи;
- Память.

Статьи представляются в редакцию журнала в электронном виде.

Текст статей должен быть набран в редакторе *Microsoft Word 2003/2007, исключительно* шрифтом гарнитуры *Times New Roman*. В редакторе *Microsoft Word 2007*, необходимо использовать регистр *"Без интервала"*. Поля: *сверху 2 см, снизу 2 см, слева 2,5 см, справа 2,5 см*.

На *первой строке* статьи, слева указывается УДК. Через интервал помещаются *фамилия и инициалы* автора (соавторов). Через интервал помещается название организаций, где работают авторы с указанием города и страны. Если авторы работают в разных организациях, то необходимо использовать цифровые индексы при указании наименования организаций. Эти элементы оформления набирают *12 кеглем, с межстрочным интервалом 1,0*.

На *следующей строке посередине* размещается *название статьи заглавными буквами*, напечатанное *жирным* шрифтом. Под названием приводятся *аннотация статьи (100-150 слов) и ключевые слова (5-8 понятий)* к ней. Эти части статьи набираются *курсивом, 11 кеглем, с межстрочным интервалом 1,0*.

Затем фамилии и инициалы авторов, наименований организаций, в которых авторы работают, название статьи, аннотация и ключевые слова приводятся на английском языке. Параметры оформления (размер и гарнитура шрифта, межстрочный интервал) аналогичны параметрам оформления соответствующих русскоязычных элементов статьи.

Основной текст статьи набирается *12 кеглем, 1,0 интервалом*. Абзац — автоматический, отступ первой строки на 1,25 см, недопустимо делать отступы (левые, правые) пробелами. Переносы не допускаются.

Текст статьи должен быть структурирован следующим образом:
- **Введение и постановка проблемы**;
- **Изученность проблемы;**
- **Цель и задачи работы;**
- **Материалы и методы;**
- **Результаты и их обсуждение;**
- **Выводы.**

Рисунки, графики, карты обязательно нумеруются и подписываются, их названия набираются 11 кеглем под иллюстрациями. Графические материалы исключительно в формате **.jpg*.

Таблицы также нумеруются и подписываются. Номера (Таблица 1 и т.д.) и названия таблиц помещаются над ними и набираются 11 кеглем. Номер таблицы выравнивается по правой стороне, а название - посередине. Если иллюстрация или таблица заимствованы из источников, принадлежащих другим авторам, необходимо указать этот источник под таблицей, слева.

Не допускается альбомный формат рисунков и таблиц!

Список использованной литературы (не менее 15 и не более 25 источников) в *алфавитном* порядке приводится после текста статьи, *11 кеглем, не нумеруется автоматически* и подписывается как **Использованная литература**. Сначала приводятся источники с названием на *кириллице*, потом работы на иных алфавитах. Библиографические сведения источников оформляются в *принятом стандартном виде*. Требуется наличие в тексте *нумерованных ссылок в квадратных скобках*, например [1], на *каждый* источник; источники, на которые *нет ссылок в тексте, не должны включаться* в список литературы. **Цитаты** приводятся в кавычках, а ссылка оформляется в виде [3, с.65]. Оптимальный уровень самоцитирования автора — не выше 10 % от списка использованных источников. Список использованной литературы дублируется на английском языке под заголовком References.

В конце статьи приводятся *сведения об авторе (соавторах)* статьи, включающие фамилию, имя, отчество (полностью, жирным шрифтом), после тире - место работы и должность, адрес электронной почты, на русском и английском языках.

Рекомендуемый объём статей *от 8 до 15 страниц.*

Представляемая для публикации статья должна быть актуальной, обладать научной новизной, должна включать описание основных результатов исследования, полученных автором, выводы, а также соответствовать правилам оформления, принятым в журнале. Материал, предлагаемый для публикации, должен быть оригинальным, не публиковавшимся ранее в других печатных изданиях.

Все присланные в редакцию работы проходят двойное «слепое» рецензирование, а также проверку системой «Антиплагиат». Решение о публикации (или отклонении) статьи принимается редколлегией журнала после её рецензирования и обсуждения. Публикация в журнале бесплатная, авторам гарантируется размещение её электронной версии в Интернете.

Оформление списка литературы на русском языке

- *оформление научных статей*

1. Алибеков Л.А., Федорко В.Н. Аральский экологический кризис: предпосылки, последствия, перспективы // Известия Географического общества Узбекистана. 2020. Т. 57. С. 29–37.

- *оформление научных статей в электронных журналах*

2. Дирина А.И. Право военнослужащих Российской Федерации на свободу ассоциаций // Военное право: сетевой журнал. 2007. [Электронный ресурс]: URL: http://www.voennoepravo.ru/node/214 (дата обращения: 19.09.2017).

- *оформление научных монографий*

3. Федорко В.Н. Территориальные природно-хозяйственные системы устьев крупных рек мира. Ростов-на-Дону: Изд-во Южного Федерального ун-та, 2016. 112 с.

- *оформление диссертаций*

4. Саидов Х. Экономико-географические особенности развития транспортного комплекса Республики Таджикистан: дис. ... канд. геогр. наук. Душанбе, 2010. 171 с.

- *оформление авторефератов диссертаций*

5. Турдымамбетов И.Р. Социально-экономические особенности улучшения нозогеографической ситуации Республики Каракалпакстан: автореф. дисс. ... докт. геогр. наук. Ташкент, 2016. 83 с.

- *оформление статей в сборниках научных конференций*

6. Бакланов П.Я. Территориальные структуры природопользования в региональном развитии // Геосистемы в Северо-Восточной Азии. Материалы Всероссийской научно-практической конференции. Владивосток, 2017. С.4-7.

- *оформление научных статей и монографий, изданных на других языках, в основном списке литературы*

7. *Honkanen A., Pitkanen K., Hall M. C.* A local perspective on cross-border tourism. Russian second home ownership in Eastern Finland // International Journal of Tourism Research. 2016. Vol. 18. No. 2. P. 149–158. DOI: 10.1002/jtr.2041.

8. *Laine J.* Finnish-Russian border mobility and tourism: localism overruled by geopolitics // Tourism and geopolitics: issues and concepts from Central and Eastern Europe / Hall D. (ed.). Wallingford: CABI. 2017. P. 178–190.

9. *Laumann E. O., Pappi F. U.* Networks of Collective Action: A Perspective on Community Influence Systems. New York: Academic Press, 1976. 348 p.

Оформление References

References должен быть представлен в том же порядке (под той же нумерацией), что и русскоязычный список литературы. При оформлении References автоматическая транслитерация (рекомендуется Harvard System of Referencing Guide) используется для фамилий и инициалов авторов статей и монографий, а также названий научных журналов (в случае отсутствия официальных названий журналов на английском языке, например, *Izvestiya Rossiiskoy Akademii Nauk, Seriya Geograficheskaya*, или *The Annales of the Geographical Society of Uzbekistan*), во всех остальных случаях (названия статей, монографий, сетевых журналов, научных сборников и т. п.) осуществляется перевод на английский язык.

Рекомендуется следовать следующему образцу оформления References:

- *оформление научных статей, опубликованных на русском языке*

1. Alibekov L.A., Fedorko V.N. (2020), Aral ecological crisis: prerequisites, consequences, prospects, *The Annales of the GeographicalSociety of Uzbekistan*, vol. 57, pp. 29–37. (In Russ.).

- *оформление научных статей в электронных русскоязычных журналах*

2. Dirina A. I. (2007), The right of the military personnel of the Russian Federation to freedom of association, *Online journal "Military law"*. (In Russ.). URL: http://www.voennoepravo.ru/node/214 (accessed 19.09.2017).

- *оформление научных монографий, изданных на русском языке*

3. Fedorko V.N. (2016), *Territorial natural-economic systems of the mouths of large rivers of the world*, Rostov-on-Don, 112 p. (In Russ.).

- *оформление диссертаций, написанных на русском языке*

4. Saidov Kh. (2010), *Economic and geographical features of the development of the transport complex of the Republic of Tajikistan: dis. ... PhD geogr. sciences*. Dushanbe, 171 p. (In Russ.).

- *оформление авторефератов диссертаций, написанных на русском языке*

5. Turdymambetov I.R. (2016), *Socio-economic features of improving the nosogeographic situation of the Republic of Karakalpakstan: abstract of diss. ... doct. geogr. sciences*. Tashkent, 83 p. (In Russ.).

- *оформление статей в сборниках научных конференций, изданных на русском языке*

6. Baklanov P.Ya. (2017), Territorial structures of environmental management in regional development, *Geosystems in Northeast Asia. Materials of the All-Russian Scientific and Practical Conference*, pp. 4–7. (In Russ.).

- *оформление научных статей и монографий, опубликованных на английском языке*

7. Honkanen A., Pitkanen K., Hall M. C. (2016), A local perspective on cross-border tourism. Russian second home ownership in Eastern Finland, *International Journal of Tourism Research*, vol. 18, no. 2, pp. 149–158, DOI: 10.1002/jtr.2041.

8. Laine J. (2017), Finnish-Russian border mobility and tourism: localism overruled by geopolitics, *Tourism and geopolitics: issues and concepts from Central and Eastern Europe*, ed. Hall D., Wallingford, CABI, pp. 178–190.

9. Laumann E. O., Pappi F. U. (1976), *Networks of Collective Action: A Perspective on Community Influence Systems*, New York, Academic Press, 348 p.

Requirements for the design of articles submitted for publication in the international scientific journal "Central Asian Journal of Geographical Research"

For publication in the international scientific journal "Central Asian Journal of Geographical Research" in electronic form, through the official website of the journal www.cageojournal.uz, previously *unpublished articles on current topics are accepted, reflecting the results of completed research and the contribution of the author (authors) in achieving them, written In Russ. or English*.

The journal consists of the following thematic sections:
- Theory and history of geography;
- Physical geography and geoecology;
- Economic and social geography;
- Hydrology and climatology;
- Geography of recreation and tourism;
- Cartography and geoinformatics;
- Anniversaries;
- Memory.

Articles are submitted to the editorial office of the journal in electronic form.

The text of the articles should be typed in *Microsoft Word 2003/2007*, exclusively using the *Times New Roman* typeface. Margins: *top 2 cm, bottom 2 cm, left 2.5 cm, right 2.5 cm*.

On the first line of the article, on the left, the UDC is indicated. *The surname and initials* of the author (co-authors) are placed in intervals. The name of the organizations where the authors work with the indication of the city and country is placed through the interval. If the authors work in different organizations, then it is necessary to use digital indices when indicating the names of the organizations. These design elements are typed in *12 point size, with 1.0 line spacing*.

On the next line in the middle is the title of the article in capital letters, printed in bold. The abstract of the article (100-150 words) and keywords (5-8 concepts) to it are given under the title. These parts of the article are typed in italics, 11 point size, with 1.0 line spacing.

Then the surnames and initials of the authors, the names of the organizations in which the authors work, the title of the article, abstract and keywords are given In Russ.ian. The design parameters (size and typeface, line spacing) are similar to the design parameters of the corresponding English-language elements of the article. If the authors are unable to arrange the corresponding elements of the article In Russ.ian, this work, at the request of the authors, will be performed by the editorial staff of the journal.

The main text of the article is typed in *12 point type, 1.0 spacing*. Paragraph - automatic, indentation of the first line by 1.25 cm, it is unacceptable to indent (left, right) with spaces. Transfers are not allowed.

The text of the article should be structured as follows:
- **Introduction and problem statement;**
- **Study of the problem;**
- **The aim and objectives of the work;**
- **Materials and methods;**
- **Results and its discussion;**
- **Conclusions**.

Drawings, graphs, maps must be numbered and signed, their names are typed in 11 point size under the illustrations. Graphic materials are exclusively in **.jpg* format.

Tables are also numbered and signed. Numbers (Table 1, etc.) and the names of tables are placed above them and typed in 11 point size. The table number is aligned to the right and the title is in the middle. If the illustration or table is borrowed from sources belonging to other authors, you must indicate this source below the table on the left.

Landscape format of figures and tables is not allowed!

The list of references (no less than 15 and no more than 25 sources) in *alphabetical* order is given after the text of the article, *11 point size, not automatically numbered* and signed as *References*. First, sources with the name in Cyrillic are given, then works in other alphabets. Bibliographic information of

sources is drawn up in the *accepted standard form*. Requires the presence in the text of *numbered links in square brackets*, for example [1], to *each* source; sources *that are not referenced in the text should not be included in the bibliography*. **Quotes** are given in quotation marks, and the link is drawn up in the form [3, p.65]. The optimal level of self-citation of the author is not more than 10% of the list of used sources.

At the end of the article, information about the author (co-authors) of the article is given, including the last name, first name, patronymic (in full, in bold), after a dash - place of work and position, e-mail address, in English and Russian. . If the authors are unable to arrange the corresponding elements of the article In Russ.ian, this work, at the request of the authors, will be performed by the editorial staff of the journal.

The recommended volume of articles is from 8 to 15 pages.

The article submitted for publication must be relevant, have scientific novelty, must include a description of the main research results obtained by the author, conclusions, and also comply with the formatting rules adopted in the journal. The material offered for publication must be original, not previously published in other print media.

All works sent to the editorial office are double-blind peer-reviewed, as well as checked by the Antiplagiat system. The decision to publish (or reject) an article is made by the editorial board of the journal after reviewing and discussing it. Publication in the journal is free, the authors are guaranteed the placement of its electronic version on the Internet.

Sample References:

- design of scientific articles and monographs published in English:

1. Honkanen A., Pitkanen K., Hall M. C. (2016), A local perspective on cross-border tourism. Russian second home ownership in Eastern Finland, *International Journal of Tourism Research*, vol. 18, no. 2, pp. 149–158, DOI: 10.1002/jtr.2041.

2. Laine J. (2017), Finnish-Russian border mobility and tourism: localism overruled by geopolitics, *Tourism and geopolitics: issues and concepts from Central and Eastern Europe*, ed. Hall D., Wallingford, CABI, pp. 178–190.

3. Laumann E. O., Pappi F. U. (1976), *Networks of Collective Action: A Perspective on Community Influence Systems*, New York, Academic Press, 348 p.

- design of scientific articles published In Russ.

4. Alibekov L.A., Fedorko V.N. (2020), Aral ecological crisis: prerequisites, consequences, prospects, *The Annales of the GeographicalSociety of Uzbekistan*, vol. 57, pp. 29–37. (In Russ.).

- registration of scientific articles in electronic Russian-language journals

5. Dirina A. I. (2007), The right of the military personnel of the Russian Federation to freedom of association, *Online journal "Military law"*. (In Russ.). URL: http://www.voennoepravo.ru/node/214 (accessed 19.09.2017).

- design of scientific monographs published In Russ.ian

6. Fedorko V.N. (2016), *Territorial natural-economic systems of the mouths of large rivers of the world*, Rostov-on-Don, 112 p. (In Russ.).

- registration of dissertations written In Russ.ian

7. Saidov Kh. (2010), *Economic and geographical features of the development of the transport complex of the Republic of Tajikistan: dis. ... PhD geogr. sciences*. Dushanbe, 171 p. (In Russ.).

- preparation of abstracts of dissertations written In Russ.ian

8. Turdymambetov I.R. (2016), *Socio-economic features of improving the nosogeographic situation of the Republic of Karakalpakstan: abstract of diss. ... doct. geogr. sciences*. Tashkent, 83 p. (In Russ.).

- registration of articles in collections of scientific conferences published In Russ.ian

9. Baklanov P.Ya. (2017), Territorial structures of environmental management in regional development, *Geosystems in Northeast Asia. Materials of the All-Russian Scientific and Practical Conference*, pp. 4–7. (In Russ.).

ОГЛАВЛЕНИЕ / TABLE OF CONTENTS

ФИЗИЧЕСКАЯ ГЕОГРАФИЯ И ГЕОЭКОЛОГИЯ / PHYSICAL GEOGRAPHY AND GEOECOLOGY

Халимова Г.С., Бабакулова Ш.С. Морфометрические показатели временных водотоков хребта Ауминзатау в Центральном Кызылкуме 4-13
Khalimova G.S., Babakulova Sh.S. Morphometric indicators of temporary watercourses of Auminzatau ridge in the Central Kyzylkum
Аденбаев Б.Е., Хамзаева Ж.Т., Тоштурдиев Н.Н. Оценка состояния загрязнения атмосферного воздуха в городе Навои 14-23
Adenbaev B.E., Khamzaeva J.T., Toshturdiev N.N. Assessment of the atmospheric air pollution state in the city of Navoi

ЭКОНОМИЧЕСКАЯ И СОЦИАЛЬНАЯ ГЕОГРАФИЯ ECONOMIC AND SOCIAL GEOGRAPHY

Тошпулатов А.М., Жумаханов Ш.З., Ан Я.-Чж. Опыт исследования социально-экономического развития Сохского эксклава Узбекистана социологическими методами 24-40
Toshpulatov A.M., Jumakhanov Sh.Z., An Y.-J. The experience of a sociological study on the socio-economic development of the Sokh exclave of Uzbekistan
Namozov J.A., Ibragimov L.Z. Territorial efficiency of use of irrigated lands in Bukhara region 41-47
Намозов Ж.А., Ибрагимов Л.З. Территориальная эффективность использования орошаемых земель в Бухарской области

ГИДРОЛОГИЯ И КЛИМАТОЛОГИЯ HYDROLOGY AND CLIMATOLOGY

Мягков С.В., Махмудов Б.Б., Дергачёва И.В. Анализ гидрологического режима реки Шахимардан графическим и регрессионным методами 48-59
Myagkov S.V., Makhmudov B.B., Dergachyova I.V. Analysis of the hydrological regime of the Shakhimardan river by graphic and regression methods
Чембарисов Э.И., Баллиев А.И., Реймова Г.Б. Прогнозирование содержания главных ионов в воде при известной величине минерализации 60-71
Chembarisov E.I., Balliev A.I., Reimova G.B. Predicting the content of major ions in water given a known mineralization value
Арушанов М.Л., Тлеумуратова Б.С. Методологические аспекты разработки автоматизированной системы диагноза и прогноза пыльной бури с источником на обсохшем дне Аральского моря 72-84
Arushanov M.L., Tleumuratova B.S. Methodological aspects of developing an automated system for diagnosis and forecasting a dust storm with a source on the dry bed of the Aral Sea

КАРТОГРАФИЯ И ГЕОИНФОРМАТИКА CARTOGRAPHY AND GEOINFORMATICS

Охунов З.Д., Рузиев А.С. Развитие геодезической сети на основе интеграции спутниковых и традиционных астрономо-геодезических построений 85-98
Okhunov Z.D., Ruziev A.S. Development of a geodetic network based on the integration of satellite and traditional astronomical-geodetic constructions
Мягков С.С. Модель автоматизированного морфометрического анализа озёр с применением ГИС-технологий 99-113
Myagkov S.S. A model of automated morphometric analysis of lakes using GIS technologies

ЮБИЛЕИ / ANNIVERSARIES

Шухрату Солиховичу Зокирову – 85 лет! 114
Анатолию Ивановичу Чистобаеву – 85 лет! 115

Ахметкалу Рахметуллаевичу Медеу – 75 лет! 116

ПАМЯТЬ / MEMORY

Баходир Асомович Камалов (1942-2025) 117

Баходир Арипович Бахритдинов (1941-2025) 118

Глеб Никанорович Черданцев (1885-1958) 119

Асамутдин Зайнутдинов (1940-2015) 120

ХРОНИКА / CHRONICLE

Евразийский конгресс экономико-географов (географов-обществоведов) (г. Ош – г. Бишкек, кыргызская республика, 1-9 июня 2025 г.) 121

Требования к оформлению статей, представляемых для публикации в международном научном журнале "Центральноазиатский журнал географических исследований" 122-124

Requirements for the design of articles submitted for publication in the international scientific journal "Central Asian Journal of Geographical Research" 125-126

ЦЕНТРАЛЬНОАЗИАТСКИЙ ЖУРНАЛ ГЕОГРАФИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ

Международный научный журнал

№ 3-4, 2025

****

CENTRAL ASIAN JOURNAL OF THE GEOGRAPHICAL RESEARCHES

International scientific journal

No. 3-4, 2025

Чирчик
Chirchik

Подписано к печати 20.12.2025 г. Формат 60x84 1/16.
Гарнитура Times New Roman. Печать офсетная.
Условных печатных листов 10,0
Тираж 50 экз. Заказ № 20.

Отпечатано в типографии «ZEBO PRINT».
Адрес: Ташкент, Яшнабадский район, военный городок 22.

Signed for printing on 20.12.2025. Format 60x84 1/16.
Typeface Times New Roman. Offset panting.
Conditional printed sheets 10.0
Circulation 50 copies. Order № 20.

Printed in the printing house "ZEBO PRINT".
Address: Tashkent, Yashnabad district, military town 22