SJIF 2026 = 8,443 ISSN 2181-2578

ЦЕНТРАЛЬНОАЗИАТСКИЙ ЖУРНАЛ ГЕОГРАФИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ

Международный научный журнал

№ 1-2, 2026

---

* * *

CENTRAL ASIAN JOURNAL OF THE GEOGRAPHICAL RESEARCHES

International scientific journal

No. 1-2, 2026

Чирчик
Chirchik

Центральноазиатский журнал географических исследований
№ 1-2, 2026

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 Я.Э.,** 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 Академии наук 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, 2026

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 Academy of Sciences 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, 2026

ФИЗИЧЕСКАЯ ГЕОГРАФИЯ И ГЕОЭКОЛОГИЯ

PHYSICAL GEOGRAPHY AND GEOECOLOGY

УДК 911.5 (575) https://doi.org/10.5281/zenodo.20785299

Попов В.А.

Независимый исследователь, Ташкент, Узбекистан

ОПЫТ КЛАССИФИКАЦИИ ЛАНДШАФТОВ БОЛЬШОГО СРЕДНЕАЗИАТСКОГО МЕЖДУРЕЧЬЯ: ЭКОЛОГИЧЕСКИЙ ПОДХОД

Аннотация. *В работе обоснован методический подход к многофакторной классификации ландшафтов центральной части Туранской низменности, базирующийся на принципах системного эколого-биоцентрического анализа. Теоретико-эмпирический базис исследования составили результаты многолетних комплексных полевых изысканий, позволившие автору выявить механизмы функциональных взаимосвязей между абиотическими компонентами природной среды и биотой. Представлена детальная характеристика выделенных классификационных таксонов, детерминированная интеграцией физико-географических параметров и количественных показателей биоты. Ключевое преимущество предложенной методики заключается в обеспечении более дробной дифференциации природных комплексов региона и выявлении их иерархической специфики. Предложенная методика отходит от традиционных для Узбекистана статических схем физико-географического районирования. В её основу положена интеграция динамических параметров биоты, выступающих в роли репрезентативных индикаторов текущей стабильности ландшафтов и направлений потенциальной трансформации экосистем.*

Ключевые слова: *классификация ландшафтов, многофакторный анализ, Большое Среднеазиатское междуречье, экологический подход, биоцентризм, экологические группы ландшафтов.*

Popov V.A.

Independent researcher, Tashkent, Uzbekistan

AN EXPERIENCE IN THE CLASSIFICATION OF LANDSCAPES IN THE GREAT CENTRAL ASIAN INTERFLUVE: AN ECOLOGICAL APPROACH

Abstract. *This paper substantiates a methodological approach to the multifactorial classification of landscapes in the central Turan Lowland, based on the principles of systemic ecological-biocentric analysis. The theoretical and empirical basis of the study is formed by the results of long-term comprehensive field surveys, which allowed the author to identify the mechanisms of functional relationships between abiotic components of the natural environment and the biota. A detailed description of the identified classification taxa is presented, determined by the integration of physical-geographical parameters and quantitative indicators of the biota. A key advantage of the proposed methodology is its ability to provide a more granular differentiation of the region's natural complexes and identify their hierarchical specificity. The proposed methodology departs from the static schemes of physical-geographical zoning traditional in Uzbekistan. It is based on the integration of dynamic parameters of the biota, which act as representative indicators of the current stability of landscapes and the directions of potential ecosystem transformation.*

Key words: *landscape classification; multivariate analysis; the Great Central Asian Interfluve; ecological approach; biocentrism, ecological groups of landscapes.*

Введение и постановка проблемы. Глобальный экологический кризис требует смены парадигмы взаимодействия общества и природы. В Средней Азии это проявилось во второй половине XX века через деградацию Аральского моря и опустынивание равнинного Турана. Масштабные антропогенные и климатические изменения природной среды выявили ограниченность традиционных физико-географических методов описания региона, которые не учитывают в должной мере скорость и глубину происходящих трансформаций. Возможным решением проблемы становится ландшафтная экология — междисциплинарное направление, возникшее на стыке географии и биологии, которая, согласно Б.В. Виноградову [7], базируется на биоцентрическом подходе: рассмотрении геотопов как экотопов с приоритетом факторов среды для биоты.

В этой связи актуальность приобретает детальная экологическая классификация ландшафтов. Выступая в роли метода систематизации геосистем, она интегрирует данные полевых изысканий, материалы дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ) и результаты картографического анализа. Данное научное направление занимает место прикладного синтетического уровня в географической систематике. В отличие от традиционных подходов, она выявляет связи между абиотической основой и живым веществом, определяя ландшафт как среду функционирования биосистем. Это создает базу для изучения динамики биосферных процессов, оценки устойчивости геокомплексов к антропогенным нагрузкам и изучения динамических механизмов их развития.

Дефицит подобных разработок для Средней Азии обусловил создание авторской систематизации природно-территориальных комплексов (ПТК), базирующейся на многолетних исследованиях географических систем Большого Среднеазиатского Междуречья (БСМ). В рамках парадигмы ландшафтной экологии эта классификация объединяет функционально-динамический и экологический подходы, где косная среда рассматривается как арена деятельности живых организмов, а биота – как системообразующий фактор и индикатор адаптивного потенциала. Для аридных регионов это позволяет сместить акцент с морфологического описания геосистем на прогностический анализ устойчивости к деградации и опустыниванию.

В статье представлена авторская концепция экологической систематизации ПТК центральной части Турана. Её информационную базу составили многолетние экспедиционные исследования: ландшафтные съёмки на ключевых участках, аэровизуальные наблюдения, а также данные ДЗЗ.

Объектом исследования является Большое Среднеазиатское Междуречье (БСМ) – обширный регион, ограниченный долинами Амударьи, Сырдарьи и Зеравшана и включающий Аральскую впадину. Использование этого топонима позволяет избежать путаницы с Месопотамией и подчеркнуть масштаб территории, превосходящей по площади, и это ближневосточное междуречье, и другие водораздельные пространства региона (Или- Каратал, Теджен-Мургаб, Сурхандарья-Шерабад и др.).

Выбор БСМ в качестве опорного полигона для разработки экологической классификации ландшафтов обусловлен его высокой репрезентативностью: здесь представлен полный спектр геосистем Турана – от низкогорий Кызылкума до обсохшего дна Аральского моря. Это делает регион эталоном для изучения динамики пустынь умеренного пояса.

В рамках системной парадигмы термины «ландшафт», «геосистема», «ПТК» и «геокомплекс» используются в тексте как синонимы.

Изученность проблемы. Теоретический базис исследования опирается на ряд фундаментальных трудов. В 1866 г. Э. Геккель [24] ввёл понятие «экология», которое он определил как «познание экономики природы и исследование всех взаимоотношений живого с органическим и неорганическим компонентами среды».

В 1926 г. В.И. Вернадский [6] обосновал роль живых организмов как мощного геологического фактора, формирующего ландшафты.

Классик ландшафтоведения Л.С. Берг в 1931 г. определил ландшафт как гармоничное единство компонентов, интегрировав биоту в структуру геокомплекса [4]. Включение ученым растительности и животного мира в агрегацию этой системы и в дефиницию ландшафта стало важнейшим этапом формирования биоцентрических идей в учении о природно-территориальных комплексах.

Развитие системной концепции в 1930-х гг. связано с работами А. Тенсли, автора терминов «экосистема», определённого им как «совокупность живых организмов вместе с комплексом физических факторов их окружения, которые взаимодействуют как единое целое», и «экотоп», под которым подразумевается «совокупность условий среды (неорганических факторов) на определенном участке, где обитает конкретное сообщество» [24], и К. Тролля, который ввел в научный оборот понятие «ландшафтная экология», под которой предложил понимать «изучение всей совокупности причинно-следственных связей между живыми сообществами и их средой обитания в пределах конкретного ландшафта» [25].

Логическое продолжение ландшафтно-экологических идей нашло отражение в учении о биогеоценозе, определённого В.Н. Сукачевым как «однородный участок земной поверхности с определенным составом живых существ и условий среды, которые объединены обменом веществ и энергии в единый природный комплекс» [20].

Однако в послевоенные годы в советской школе ландшафтоведения, вопреки идеям Л.С. Берга, долгое время доминировал геолого-геоморфологический принцип. Приоритет абиотического базиса привел к определенному методическому разрыву между изучением литогенной основы и биоты: динамические связи внутри биоценозов игнорировались, а классификации приобретали избыточно морфологический характер, утрачивая системную целостность. Это лишило ландшафтные классификации системной целостности, на которой настаивал Л.С. Берг. Особенно остро дефицит комплексности проявился в исследованиях аридных зон, в частности, на рассматриваемой территории, где растительный покров и активность животных играют существенную роль в трансформации ландшафтной структуры.

Дальнейшее методическое развитие ландшафтной экологии в трудах А.Г. Исаченко [10] и В.А. Николаева [14] обеспечило переход от описания морфологии к диагностике устойчивости ПТК.

Завершил концептуальный синтез Б.В. Виноградов [7]: его функционально-экологический подход заменил статические зональные модели систематизацией динамических экологических ситуаций.

Во второй половине XX века В.Б. Сочава [18] радикально изменил методологию, представив ландшафт как геосистему с определяющей ролью биоты.

Эколого-географические идеи постепенно внедрялись и в исследования ландшафтов Средней Азии. Так, в 1962 г. В.П. Костин [13] выполнил ландшафтно-экологическое районирование низовьев Амударьи и поднял в своей работе вопросы охраны природы этого региона. В 1964 г. Л.Н. Бабушкин и Н.А. Когай [3], сохраняя геоцентрический базис, интегрировали в районирование Узбекистана элементы экологического подхода. В 1970-х гг. И.Н. Степанов [19] предложил использовать структуру почв как индикатор состояния ПТК. В конце XX в. В.С. Залетаев и Н.М. Новикова [9] провели фитоэкологическое картографирование Южного Приаралья. В XXI в. изучение экологического состояния ландшафтов данного региона продолжили географы Каракалпакстана [2, 17].

В конце 70-х – начале 80-х гг. прошлого века в процессе создания Отделом географии АН УзССР Атласа Узбекской ССР автор настоящей работы участвовал при разработке биогеографических карт [5, 8, 21]. При работе над картой растительности её разработчики применили эколого-фитоценотический подход. Растительность в ней

показана не как изолированный слой, а как индикатор экологического состояния ландшафтов.

При создании карты населения млекопитающих и птиц мы предложили использовать метод зоогеографа А.М. Чельцова-Бебутова, основанный на ландшафтно-экологическом анализе животного населения территориальных комплексов, Эта идея была реализована нами с соавторами в разделе «Животный мир» данного издания.

Результаты полевых изысканий автора, начатых в 1970-х гг. в Приаралье, обобщены в его публикациях 1980-х – 1990-х гг. В этих работах нами использован экологический подход к классификации географических систем Южного Приаралья [15, 16 и др.]. На этом этапе исследований систематизация ландшафтов проводилась без детального обоснования выделенных таксонов. В регионе автором было выделено пять экологических групп ландшафтов: гидроморфная, мезоморфная, галоморфная, ксероморфная и антропогенная.

С начала 1990-х годов география наших исследований охватила весь характеризуемый регион. В качестве национального эксперта автор проводил ландшафтные съемки и картирование геосистем в рамках проектов ПРООН, Всемирного Банка и Правительства Республики Узбекистан в Приаралье, Кызылкуме и Нуратау-Предкызылкумском регионе. Эти изыскания требовались для научного обоснования организации новых особо охраняемых природных территорий, а также для выполнения экологического аудита и мониторинга при разведке и освоении месторождений различных минеральных ресурсов. Часть собранного материала нашла свое отражение в отчетных документах и публикациях того периода.

Накопленный в результате многолетних полевых исследований фактический материал о состояниях и динамике геосистем обусловил пересмотр предварительной классификации экологических ландшафтов и переход от разрозненных описаний к созданию расширенной единой систематизации ПТК описываемого региона, основанной на функционально-динамических принципах. Такая типология геокомплексов необходима для выработки научно обоснованных мер по охране природы и рациональному природопользованию в пределах БСМ. Реализация углубленной методологической проработки на основе полученных сведений в виде детальной многофакторной экологической классификации ландшафтов предлагается в настоящем исследовании.

Цель и задачи работы. В отличие от ранее опубликованных нами работ, в которых были сформулированы лишь общие принципы экологической систематики аридных ландшафтов Средней Азии, настоящее исследование нацелено на создание детальной многофакторной классификации ПТК региона. Разрабатываемая модель охватывает всю рассматриваемую территорию и базируется на углублённом функционально- экологическом подходе.

Для достижения поставленной цели решаются следующие основные задачи:

- выявление наиболее важных структурно-вещественных параметров геосистем региона, определяющих их современное экологическое состояние;
- разработка системы классификационных факторов интегрирования биотических компонентов в структуру физико-географических систем;
- определение видов-биоиндикаторов среди высших растений и позвоночных животных при выделении экологических групп и подгрупп ландшафтов.

Материалы и методы. Методологический фундамент настоящего исследования базируется на принципах биоцентризма, развитых в трудах Э. Геккеля, В.И. Вернадского, А. Тенсли, К. Тролля, В.Н. Сукачёва, Б.В. Виноградова. В отличие от геоцентризма, акцентирующего внимание на абиотических факторах, данная парадигма рассматривает живое вещество как активный агент ландшафтогенеза, а биоту и геотоп — как равноправные компоненты географических систем.

Согласно классическому определению Л.С. Берга, флора и фауна являются органической частью природного комплекса. Следовательно, биота не может быть изъята из структуры ландшафта без потери его системной целостности.

Живые организмы не только выступают индикаторами состояния среды, но и являются мощным фактором ландшафтогенеза. Аккумулируя солнечную энергию и трансформируя косное вещество в живую систему, растения формируют энергетический базис геосистем и обеспечивают в них круговорот веществ. Скопления у оснований кустов переносимого по воздуху и поверхности почвы эолового материала приводят к формированию фитогенного рельефа. Животные активно преобразуют нанорельеф и структуру почв через роющую деятельность и образование зоогенных троп.

В аридных регионах, в частности, на территории БСМ, роль биогенной составляющей в трансформации ландшафтов проявляется наиболее остро. Это диктует необходимость глубокого анализа биоты при любом изучении ландшафтной структуры.

Практическая реализация данных принципов находит отражение в экологическом подходе к классификации ландшафтов, который интегрирует биологические и абиотические данные в единую систему.

Согласно методологическим установкам В.А. Николаева [14], ключевым звеном в систематике равнинных ландшафтов является категория «группа», выделяемая на основе специфики водно-геохимического режима. В рамках данного таксона традиционно разграничиваются три единицы: элювиальные (автоморфные), полугидроморфные и гидроморфные ландшафты.

Опираясь на классическое определение экологии, в настоящем исследовании мы фокусируемся на средообразующих функциях геосистем, обеспечивающих поддержание биологической продуктивности и сохранение биоразнообразия. Данный подход лег в основу авторской экологической классификации ландшафтов БСМ. Предлагаемая систематизация базируется на комплексном анализе параметров экотопов и состава организмов-индикаторов, отражающих актуальное состояние геокомплексов

Информационную базу работы составили результаты многолетних полевых исследований, проводимых автором в регионе на протяжении последних пяти десятилетий. Основные положения и фактические результаты этих изысканий представлены в ряде публикаций [5, 15, 16, 21, 22 и др.]. Исследования реализовывались в рамках государственных научно-технических программ СССР и Республики Узбекистан, проектов ПРООН, а также в процессе экологических аудитов и мониторингов на территориях освоения месторождений полезных ископаемых. Столь продолжительный период наблюдений позволил автору зафиксировать динамику трансформации геосистем, проследить эволюционную смену экологических групп ландшафтов и провести детальный анализ экстрадинамических процессов ландшафтогенеза в Приаралье.

Методологический фундамент работы базируется на синтезе классических физико-географических и биоценологических подходов. Исследование реализовано через систему экспедиционных, сравнительно-описательных, исторических и картографических методов.

В ходе полевых работ, включавших автомобильные и пешие маршруты, приоритетное внимание уделялось анализу морфологической структуры геосистем и связанных с ними биоценозов. Сбор данных осуществлялся на ключевых участках и репрезентативных ландшафтно-экологических профилях. Обширная площадь региона исследования в ряде случаев определила необходимость предварительного аэровизуального обследования территории для обоснованного выбора эталонных участков.

На этапе камеральных работ проводилось моделирование динамики геосистем с применением картографических и графических способов интерпретации аналитических данных.

В основу построения таксономической иерархии региона положен принцип сопряжения консервативных и динамических показателей. Морфоструктурные признаки определяют положение высших таксонов, тогда как группы и подгруппы ландшафтов выделяются по функциональным признакам — гидротермическому и галохимическому режимам. Биотические компоненты в данной модели, в частности, растительные сообщества, служат надежными маркерами границ выделяемых ландшафтных подразделений.

Несмотря на значимость биогенного фактора, в современных ландшафтных исследованиях наблюдается дефицит сведений о биоте и, особенно о животном мире. В настоящей работе представлена классификация ландшафтов БСМ, интегрирующая данные о составе характерных высших растений и позвоночных животных как неотъемлемых компонентов геосистем. Систематизация строится на группировке ПТК по сходству геоморфологических, гидрологических и эдафических условий в сочетании с биотическими характеристиками, выступающими в качестве ключевого диагностического критерия.

В рамках разработанной систематизации выделены четыре экологические группы ландшафтов: гидроморфная, мезоморфная, галоморфная и ксероморфная. Каждая из них подразделяется на четыре подгруппы, что в совокупности формирует систему из 16 таксономических категорий. Настоящее исследование фокусируется на анализе базовых структур геосистем. Систематизация и диагностика их антропогенных модификаций представляют собой самостоятельную научную проблему и выходят за рамки данной работы.

Результаты и их обсуждение. Подавляющая по площади территория БСМ – это Туранская низменность. По сочетанию планетарных (морфоструктурных) и региональных (климатических) признаков в рамках ландшафтной классификации она идентифицируется как отдел суббореальных пустынных равнин. По своим морфоструктурным признакам ландшафты региона относятся к классу равнинных платформенных геосистем. На равнинах БСМ регистрируется весь спектр классификационных категорий исследованных геокомплексов.

Незначительную часть рассматриваемой территории занимают тектонические поднятия палеозойского фундамента Кызылкума, которые в иерархии региона выделяются как класс останцово-глыбовых низкогорий горного отдела. К данной территории приурочены практически только ксероморфные ландшафты.

В иерархической структуре предлагаемой классификации ниже высших таксонов (отделы и классы) в качестве основной операционной единицы выделяется экологическая группа ландшафтов. Данный таксон объединяет геосистемы по принципу сходства их гидротермического и галохимического режимов, а также, что принципиально важно, на основе видового состава биоты.

Апробация указанных принципов на территории БСМ позволила сформировать систему параметров, на которых базируется дифференциация ПТК региона.

Ниже представлена иерархия диагностических критериев, использованных при выделении экологических групп и подгрупп ландшафтов БСМ:

1. геоморфологические условия (тип мезорельефа);
2. режим увлажнения;
3. эдафические характеристики;
4. индикаторные виды высших растений.

В отличие от растений, жестко привязанных к субстрату и выступающих индикаторами локальных условий среды, представители фауны обладают высокой мобильностью. Способность животных в поисках кормовой базы и комфортных условий обитания перемещаться между различными геосистемами обуславливает освоение ими обширных территорий. Вследствие этого в предлагаемой классификации

фаунистические комплексы приурочены не к узким подгруппам (как сообщества растений), а к более крупным таксономическим единицам — группам ландшафтов.

Разработанная схема экологической классификации ПТК исследованного региона на уровне групп и подгрупп ландшафтов имеет следующий вид.

1. ГРУППА ГИДРОМОРФНЫХ ЛАНДШАФТОВ (Ну)

1.1. Подгруппа эугидроморфных ландшафтов (EuНу)

1. Побережья пресных водоемов, периодически затапливаемые понижения речных долин и дельт;

2. Поверхностные и грунтовые воды пресные или слабоминерализованные на глубине 0-0,5 м;

3. Торфяно-болотные и болотные незасоленные почвы;

4. Тростник (*Phragmites australis*), рогоз малый (*Typha minima*), рогоз узколистный (*Typha angustifolia*).

1.2. Подгруппа мезогидроморфных ландшафтов (МеНу)

1. Берега рек с постоянным течением, острова пресных водоемов, периодически затапливаемые понижения пойменных речных долин и дельт;

2. Грунтовые воды пресные или слабоминерализованные на глубине 0-0,5 м;

3. Лугово-болотные и луговые почвы незасоленные и слабозасоленные;

4. Тростник, рогоз узколистный, вейник (*Calamagrostis dubia*).

1.3. Подгруппа галогидроморфных ландшафтов (НаНу)

1. Берега и острова обсыхающих водоемов, литорали, повышения обсыхающих дельтовых равнин;

2. Грунтовые воды слабоминерализованные на глубине 0,5-1 м;

3. Опустынивающиеся болотные и лугово-болотные почвы слабо- и среднезасоленные;

4. Тростник, солерос *(Salicornia europaea*).

1.4. Подгруппа ксерогидроморфных ландшафтов (ХеНу)

1. Сильно расчлененные побережья и острова аральского типа;

2. Поверхностные и грунтовые воды слабо-и среднеминерализованные на глубине 0-3 м;

3. Сочетание мелководий с пустынно-песчаными и такырными почвами с преобладанием первых;

4. Тростник, саксаул белый (*Haloxylon persicum*), песчаная акация (*Ammodendron conolly*i), джузгун белокорый (*Calligonum leucocladum*), джузгун шерстистый (*C. eriopodum*), джузгун безлистный (*C. aphyllum*), джузгун «голова Медузы» (*C. caput-medusae*), янтак мавританский (*Alhagi maurorum*, syn. *A. pseudalhagi*), аристида *(Stipagrostis pennata*), полынь белоземельная (*Artemisia terrae-albae*).

Характерные виды позвоночных животных группы гидроморфных ландшафтов:

Млекопитающие: ондатра (*Ondatra zibethicus*), кабан (*Sus scrofa*), шакал (*Canis aureus*), лисица (*Vulpes vulpes*), камышовый кот (*Felis chaus*), тамариксовая песчанка (*Meriones tamariscinus*).

Птицы: розовый пеликан (*Pelecanus onocrotalus*), кудрявый пеликан (*Pelecanus crispus*), большой баклан (*Phalacrocorax carbo*), рыжая цапля (*Ardea purpurea*), большая выпь (*Botaurus stellaris*), розовый фламинго (*Phoenicopterus roseus*), красноносый нырок (*Netta rufina*), белоглазый нырок (*Aythya nyroca*), лысуха (*Fulica atra*), хохотунья *(Larus cachinnans*), малая чайка (*Hydrocoloeus minutus*), обыкновенная кукушка (*Cuculus canorus*), тростниковый ремез (*Remiz macronyx*).

Рептилии: водяной уж (*Natrix tessellata*).

Амфибии: озерная лягушка (*Pelophylax ridibundus*).

2. ГРУППА МЕЗОМОРФНЫХ ЛАНДШАФТОВ (Ме)

2.1. Подгруппа гидромезоморфных ландшафтов (НуМе)

1. Дельты прорыва функционирующих рек, острова пресных водоемов, повышения периодически затапливаемых пойменных равнин;

2. Грунтовые воды пресные или слабоминерализованные на глубине 1-2 м;

3. Болотно-луговые и луговые почвы незасоленные и слабозасоленные;

4. Ива Вильгельмса (*Salix wilhelmsiana*), ива джунгарская (*Salix songarica*), тростник, пырей ползучий (Elytrigia repens).

2.2. Подгруппа эумезоморфных ландшафтов (EuMe)

1. Гребни прирусловых валов функционирующих рек и проток, повышенные участки среди периодически затапливаемых современных дельтовых равнин;

2. Грунтовые воды слабоминерализованные на глубине 2-4 м;

3. Луговые и лугово-такырные тугайные почвы незасоленные и слабозасоленные;

4. Тополь арийский (*Populus euphratica*), тополь сизолистный (*P. pruinosa*), тамарикс ветвистый (*Tamarix ramosissima*), ломонос восточный (*Clematis orientalis*), тростник, солодка голая (*Glycyrrhiza glabra*), кендырь шероховатый (*Trachomitum scabrum*), пырей ползучий, свинорой пальчатый (*Cynodon dactylon*).

2.3. Подгруппа галомезоморфных ландшафтов (HaMe)

1. Склоны прирусловых валов функционирующих и пересыхающих рек и проток, современные обсыхающие дельтовые внутрипойменные и пойменные равнины;

2. Грунтовые воды слабоминерализованные и минерализованные на глубине 1,5-3 м;

3. Лугово-такырные, лугово-болотные и луговые обсыхающие слабозасоленные;

4. Лох узколистный (*Elaeágnus angustifólia*), чингиль серебристый (*Halimodendron halodendron*), тамарикс ветвистый, тамарикс рыхлый (*Tamarix laxa*), кендырь шероховатый, солодка голая, парнолистник амударьинский (*Zygophyllum oxianum*), лебеда татарская (*Atriplex tatarica*), ажрек *(Aeluropus littoralis*), янтак, свинорой пальчатый, марь красная (*Chenopodium rubrum*), пырей ползучий, осот шероховатый (*Sonchus ásper*).

2.4. Подгруппа ксеромезоморфных ландшафтов (XeMe)

1. Опустынивающиеся прирусловые валы рек и современные дельтовые пойменные равнины;

2. Грунтовые воды слабоминерализованные на глубине 3-5 м;

3. Лугово-такырные и лугово-пустынные незасоленные и слабозасоленные;

4. Тамарикс ветвистый, бассия иссополистная (*Bassia hyssopifolia*), янтак, мятлик луковичный (*Poa bulbosa*), осочка вздутая (*Carex physodes*), осочка пустынная (*Carex pachystylis*), костер кровельный (*Bromus tectorum*), крестовник мелкозубчатый (*Senecio subdentatus*), мортук восточный (*Eremopyrum orientale*).

Характерные виды позвоночных животных группы мезоморфных ландшафтов:

Млекопитающие: заяц-толай (*Lepus tolai*), тамариксовая песчанка, лисица, барсук (*Meles meles*), кабан.

Птицы: кваква (*Nycticorax nycticorax*), чеглок (*Falco subbuteo*), фазан (*Phasianus colchicus*), вяхирь (*Columba palumbus*), большая горлица (*Streptopelia orientalis*), черная ворона (*Corvus corone*), буланая совка (*Otus brucei*), ушастая сова (*Asio otus*), белокрылый дятел (*Dendrocopos leucopterus*), сорока (*Pica pica*), мелкие воробьинообразные **(***Passeriformes sp*).

Рептилии: быстрая ящурка (*Eremias velox*).

Амфибии: зеленая жаба (*Bufonts viridis*).

3. ГРУППА ГАЛОМОРФНЫХ ЛАНДШАФТОВ (Ha)

3.1. Подгруппа гидрогаломорфных ландшафтов (HyHa)

1. Обсыхающие литорали соленых водоемов и понижения современных дельтовых равнин;

2. Поверхностные и грунтовые воды минерализованные и сильноминерализованные на глубине 0-2 м;

3. Маршевые и болотные обсыхающие сильнозасоленные, мокрые солончаки;

4. Тростник, сведа лежачая (*Suaeda prostrata*), сведа мелколистная (*Suaeda microphylla*), сведа солончаковая (*Suaeda salsa*), солерос.

3.2. Подгруппа мезогаломорфных ландшафтов (МеНа)

1. Обсыхающие литорали соленых водоемов и понижения современных дельтовых равнин;

2. Грунтовые воды минерализованные и сильноминерализованные на глубине 2-4 м;

3. Луговые и лугово-такырные почвы сильно засоленные, луговые и типичные солончаки;

4. Тамарикс щетинистоволосистый (*Tamarix hispida*), селитрянка Шобера (*Nitraria schoberi*), карабарак каспийский (*Halostachys caspica*), акбаш (*Karelinia caspia*), ажрек, солянка многолистная (*Caroxylon foliosum*), сведа высокая *(Suaeda altissima*), климакоптера туркменская (*Climacoptera turcomanica*), климакоптера шерстистая (*C. lanata*), кермек ушколистный (*Limonium otolepis*), сведа мелколистная, сведа мелкосемянная (*Suaeda microsperma*).

3.3. Подгруппа эугаломорфных ландшафтов (EuНа)

1. Днища высохших соленых озер и бессточных понижений, опустынивающиеся современные дельтовые равнины;

2. Сильноминерализованные грунтовые воды на глубине 1-3 м;

3. Луговые и типичные солончаки;

4. Тамарикс щетинистоволосистый, карабарак, климакоптера шерстистая, поташник (*Kalidium caspicum*), поташник облиственный (*Kalidium foliatum*), сарсазан шишковатый (*Halocnemum strobilaceum*), сведа мясистолистная (*Suaeda crassifolia*), сведа солончаковая.

Эугаломорфные геосистемы днищ замкнутых денудационно-дефляционных впадин и наиболее пониженной плоской части обсохшего дна Аральского моря растительности лишены.

3.4. Подгруппа ксерогаломорфных ландшафтов (ХеНа)

1. Периферии солончаковых понижений, опустыненные земли древнего орошения, обсохшее днище Аральской впадины;

2. Грунтовые воды минерализованные на глубине 3-5 м;

3. Такырные почвы засоленные, остаточные солончаки;

4. Тамарикс щетинистоволосистый, селитрянка Шобера, ежовник безлистный (*Anabasis aphylla*), поташник каспийский, кейреук восточный (*Caroxylon orientale*), чогон (*Haloxylon subaphyllum*).

Характерные виды позвоночных животных группы галоморфных ландшафтов:

Млекопитающие: заяц-толай, малый тушканчик (*Allactaga elater*), лисица, сайгак (*Saiga tatarica*).

Птицы: характерные виды отсутствуют. На территории обитают вселенцы из смежных ландшафтов: курганник (*Buteo rufinus*), хохлатый жаворонок (*Galerida cristata*), серый жаворонок (*Alaudala rufescens*), белохвостая пигалица (*Vanellus leucurus*), малый зуек, толстоклювый зуек (*Anarhynchus leschenaultii*), каспийский зуек (Anarhynchus asiaticus), морской зуек (*Anarhynchus alexandrinus*), каменка-плясунья (*Oenanthe isabellina*), луговая тиркушка (*Glareola pratincola*), кулики подотряда *Charadrii* на пролете. Территорию посещают виды, обитающие на смежных ландшафтах.

Рептилии: характерные виды отсутствуют. Распространены среднеазиатская черепаха (*Agrionemys horsfieldii*), серый геккон (*Mediodactylus russowii*), песчаная круглоголовка (*Phrynocephalus interscapularis*), быстрая ящурка.

4. ГРУППА КСЕРОМОРФНЫХ ЛАНДШАФТОВ (Хе)

4.1. Подгруппа гидроксероморфных ландшафтов (НуХе)

1. Участки контакта эоловых и такырных равнин с естественными и вторичными водоемами;

2. Поверхностные и грунтовые воды различной минерализации на глубине 0-3-5 м;

3. Комплекс пустынно-песчаных, такырных, болотных и лугово-пустынных почв преимущественно незасоленных и слабозасоленных;

4. Саксаул белый, тамарикс пятитычинковый, полынь белоземельная, тростник, янтак, мятлик луковичный, осочка вздутая, костер кровельный.

4.2. Подгруппа мезоксероморфных ландшафтов (MeXe)

1. Опустынивающиеся участки аллювиально-дельтовых равнин, массивы навеянных песков среди обсыхающих дельтовых равнин и оазисов;

2. Грунтовые воды слабоминерализованные на глубине 4-6 м и более;

3. Лугово-пустынные, пустынно-песчаные и такырные почвы незасоленные и слабозасоленные;

4. Гармала (*Peganum harmala*), ежовник безлистный, терескен (*Krascheninnikovia ceratoides*).

4.3. Галоксероморфная подгруппа (HaXe)

1. Аллювиально-дельтовые равнины древних генераций, земли древнего орошения, массивы навеянных внутриоазисных и приоазисных песков, денудационные равнины, обсохшее днище Аральской впадины;

2. Грунтовые воды минерализованные и сильноминерализованные на глубине 5-8 м и более;

3. Такырные почвы слабозасоленные, остаточные солончаки, пустынно-песчаные почвы, серо-бурые почвы;

4. Саксаул черный (*Haloxylon ammodendron*), дереза русская (*Lycium ruthenicum*), эремоспартон безлистный (*Eremosparton aphyllum*), полынь белоземельная, биюргун (*Anabasis salsa*), боялыч (*Xylosalsola arbuscula*), кейреук восточный, партек (*Convolvulus hamadae*), каперс колючий (*Capparis spinosa*), галимкнемис мохнатый (*Halimocnemis villosa*), галимокнемис длиннолистный (*H. longifolia*), солянка Паульсена *(Salsola paulsenii*), бассия иссополистная, климакоптера мясистая (*Climacoptera crassa*), верблюдка Лемана (*Corispermum lehmannianum*).

4.4. Подгруппа эуксероморфных ландшафтов (EuXe)

1. Склоны островных аридных низкогорий, пролювиальные и эоловые равнины, такырные равнины древних дельтовых генераций;

2. Грунтовые воды различной минерализации на глубине 6-10 м и более;

3. Пустынно-песчаные почвы, такырные почвы слабозасоленные, такыры;

4. Саксаул белый, песчаная акация, эфедра (*Ephedra strobilacea*), солянка Рихтера (*Caroxylon richteri*), джузгун белокорый, джузгун шерстистый, джузгун безлистный, джузгун «голова Медузы», полынь белоземельная, полынь раскидистая *(Artemisia diffusa*), каперс колючий, аристида.

Для склонов аридных низкогорий характерны петрофитные комплексы с эдификаторами курчавкой колючей (*Atraphaxis spinosa*), нанофитоном ежовым (*Nanophyton erinaceum*), вьюнком трагакантовым (*Convolvulus tragacanthoides*), колючелистником колючим (*Acanthophyllum pungens*), шлемником бухарским (*Scutellaria bucharica*), зайцегубом опьяняющим (*Lagochilus inebrians*), гимнокарпусом Пржевальского (*Gymnocarpos przewalskii*), полынью Лемана (*Artemisia lehmanniana*).

Характерные виды позвоночных животных группы ксероморфных ландшафтов:

Млекопитающие: длинноиглый еж (*Paraechinus hypomelas*), пегий путорак (*Diplomesodon pulchellum*), тонкопалый суслик (*Spermophilopsis leptodactylus*), тушканчик Гептнера (*Salpingotus heptneri*), малый тушканчик, приаральский толстохвостый тушканчик *(Pygeretmus platyurus*), мохноногий тушканчик (*Dipus sagitta*), гребнепалый тушканчик (*Paradipus ctenodactylus*), тушканчик Северцова (*Allactaga*

severtzovi), полуденная песчанка (*Meriones meridianus*), краснохвостая песчанка (*Meriones libycus*), большая песчанка (*Rhombomys opimus*), обыкновенная слепушонка (Ellobius talpinus), восточная слепушонка (*E. tancrei*), корсак (*Vulpes corsac*), перевязка (*Vormela peregusna*), медоед (*Mellivora capensis*, каракал (*Caracal caracal*), барханный кот (*Felis margarita*), джейран (*Gazella subgutturosa*), сайгак.

Птицы: стервятник (*Neophron percnopterus*), белоголовый сип (*Gyps fulvus*), орлан-белохвост (*Haliaeetus albicilla*), курганник, балобан (*Falco cherrug*), кеклик (*Alectoris chukar*), дрофа-красотка (*Chlamydotis macqueenii*), авдотка (*Burhinus oedicnemus*), малый зуек (*Charadrius dubius*), каспийский зуек, морской зуек (*Anarhynchus alexandrinus*), чернобрюхий рябок *(Pterocles orientalis*), саджа (*Syrrhaptes paradoxus*), филин (*Bubo bubo*), домовый сыч (*Athene noctua*), малый жаворонок (*Calandrella brachydactyla*), серый жаворонок, двупятнистый жаворонок (*Melanocorypha bimaculata*), саксаульная сойка (*Podoces panderi*), пустынный ворон (*Corvus ruficollis*),черная ворона, скалистый поползень (*Sitta tephronota*), каменка-плясунья, пустынная каменка (*Oenanthe deserti*), каменка плешанка (*O. pleschanka*), черношейная каменка (*O. finschii*), пустынная славка (*Curruca nana*), скалистая овсянка (*Emberiza buchanani*), каменный воробей (*Petronia petronia*).

Рептилии: среднеазиатская черепаха, сцинковый геккон (*Teratoscincus scincus*), туркестанский геккон (*Tenuidactylus fedtschenkoi*), степная агама (*Trapelus sanguinolentus*), такырная круглоголовка (*Phrynocephalus helioscopus*), круглоголовка-вертихвостка (*P. guttatus*), песчаная круглоголовка (*P. interscapularis*), ушастая круглоголовка (*P. mystaceus*), быстрая ящурка, средняя ящурка (*Eremias intermedia*), сетчатая ящурка (*E. grammica*), песчаный удавчик (*Eryx miliaris*), восточный удавчик (*E. tataricus*), Палласов полоз (*Elaphe sauromates*), стрела-змея (*Psammophis lineolatus*), Палласов щитомордник (*Gloydius halys*).



Рис. 1. Модель упорядоченной системы экологических подгрупп ландшафтов БСМ

Примечание: пояснения буквенных индексов экологических подгрупп ландшафтов даны в классификационной схеме.

Рисунок составлен автором.

Разработанная классификация, базирующаяся на сочетании гидротермических, галохимических и биоценотических критериев, служит фундаментом для оценки экологического состояния ландшафтов и прогнозирования их эволюции в условиях аридизации климата. Она стала инструментом для построения графической модели систематизации геосистем БСМ, представленной ниже (рис. 1).

Модель позволяет проследить направленность развития ландшафтов при разных сценариях изменения экологических ситуаций. Так, например, вероятные процессы трансформации гидроморфных геосистем в условиях аридного климата при снижении степени обводненности территории могут проходить разными путями. Если верхняя толща рыхлых отложений сложена грунтами легкого механического состава, преобразование ПТК может выглядеть следующим порядком:

EuHy→MeHy→HyMe→EuMe→XeMe→MeXe→EuXe.

Это иногда наблюдается с высыханием озерков при артезианских скважинах в Кызылкуме после снижения дебита поступающей воды. В тех ситуациях, когда поверхностный субстрат представлен грунтами тяжелого механического состава, снижение обводненности территории влечет за собой галоморфизацию геосистем:

EuHy→MeHy→HyMe→EuMe→HaMe→MeHa→EuHa

или без мезоморфной стадии: EuHy→HaHy→HyHa→EuHa, как это произошло на участках причинковой низменности дельты Амударьи после высыхания бывшего Айбугирского залива Аральского моря.

На рисунке 2 демонстрируется пример различных подходов в отражении ландшафтной структуры и экологической ситуации в Приаралье, охватывающем довольно значительные по площади участки дельты Амударьи и Устюрта. На первой из двух сопоставляемых картосхем представлен фрагмент ландшафтной карты из Атласа Узбекской ССР, вышедшего в 1982 году [12]. Вторая выполнена автором настоящего исследования по результатам разработанной им экологической классификации геосистем БСМ.

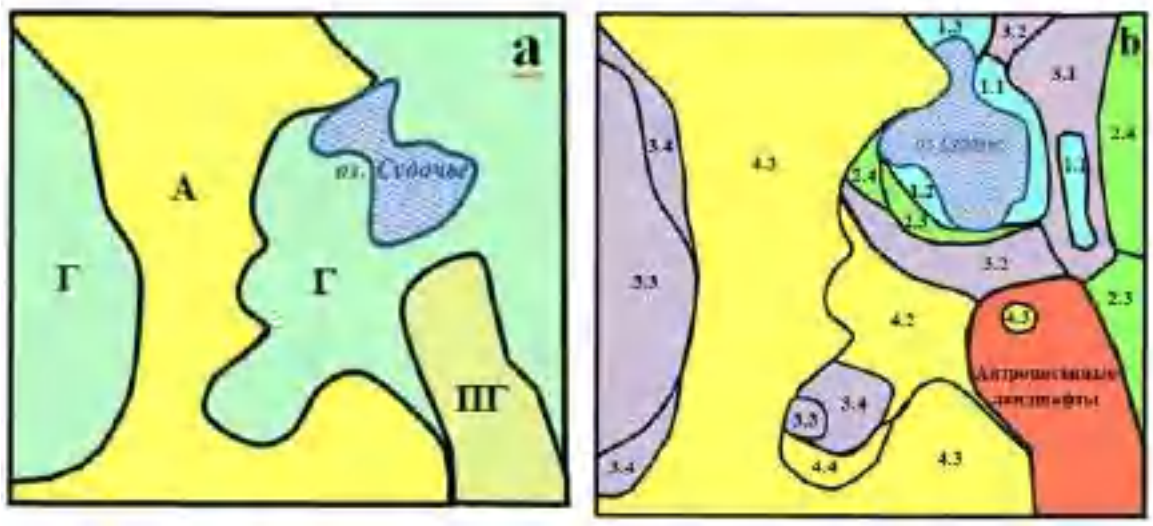


Рис. 2. Картосхемы расположения классификационных единиц таксона «группа ландшафтов» на участке Южного Приаралья:

a – по ландшафтной карте, разработанной по материалам 50-х-70 гг. прошлого века [12].

Группы ландшафтов:

А – автоморфная (элювиальная), **ПГ** – полугидроморфная, **Г** - гидроморфная;

b – по результатам исследований автора в Приаралье в 1970-х-2010-х гг.

Экологические группы ландшафтов:

гидроморфная мезоморфная галоморфная ксероморфная

Примечание: пояснения цифровых индексов представлены в описании классификационной схемы.

Разработка специализированных экологических карт аридных территорий на основе сопряженного анализа гидро-галотермических режимов и структурно-функциональной организации биоты позволяет качественно оптимизировать процессы картографического моделирования ландшафтов. Это обеспечивает формирование объективной информационной базы, необходимой для проведения комплексного экологического аудита, организации многолетнего системного мониторинга и верификации прогнозных моделей развития геосистем. Полученные карты служат фундаментом для обоснования стратегий устойчивого природопользования в условиях прогрессирующей аридизации.

Внедрение предлагаемого методического подхода к классификации ландшафтов открывает новые возможности для минимизации потенциальных угроз и обеспечения долгосрочной экологической безопасности в трансграничном пространстве БСМ.

Выводы. Применение биоцентрического подхода позволило интегрировать биоту в структуру ландшафтной классификации БСМ. Использование растений и животных в качестве классификационных критериев позволило уточнить региональную структуру ландшафтов, выделив в ней 16 типов экологических геосистем.

Сравнительный анализ представленных картосхем демонстрирует различия в подходах к отображению ландшафтной структуры региона. Традиционная классификация, базирующаяся на трех группах ПТК, может быть существенно дополнена экологическим биоцентрическим подходом, который позволяет более детально раскрыть неоднородность территории.

Выявлено, что дифференциация ландшафтов в аридной зоне определяется сочетанием гидротермического режима и галохимического состояния субстрата. Выделенные группы (гидроморфные, мезоморфные и др.) отражают экологический градиент территории: от интразональных тугаев и солончаков до эоловых равнин и аридных низкогорий зоны пустынь умеренного пояса.

Установлено различие индикаторной роли биоты: характерные виды растений отмечают локальные условия на уровне подгрупп, тогда как мобильные представители фаунистических комплексов характеризуют экологические параметры на групповом уровне.

Предложенная классификация ландшафтов и комплекс индикаторов могут быть использованы в практике экологического аудита и мониторинга, а также при разработке планов рационального природопользования в условиях аридизации региона.

Использованная литература:

1. Абдулкосимов А.А., Аббасов С.Б. Ландшафтно-экологические исследования Центрального Кызылкума. Самарканд, 2001. 124 с.

2. Алланазаров К.Ж. Ландшафты Южного Приаралья в условиях антропогенного воздействия. Ташкент: Фан, 2012. 144 с.

3. Бабушкин Л.Н., Когай Н.А. Физико-географическое районирование Узбекской ССР // Вопросы географического районирования Средней Азии и Узбекистана. Научные труды ТашГУ. Вып. 231. Кн. 27. 1964. С. 5-245.

4. Берг Л.С. Географические зоны Советского Союза. Москва: Географгиз, 1947. Т. 1. 397 с.

5. Вашетко Э.В., Ядгаров Т.Я., Попов В.А. Территориальные комплексы современного населения пресмыкающихся [Карта] // Атлас Узбекской ССР. Ч.1. Масштаб 1:3 500 000. Москва-Ташкент: ГУГК, 1982. С.100-101.

6. Вернадский В.И. Биосфера. Москва: Мысль, 1967. 376 с.

7. Виноградов Б.В. Основы ландшафтной экологии. Москва: Геос, 1998. 418 с.

8. Гранитов И.И., Гранитов А.И., Попов В.А. Растительность [Карта] // Атлас Узбекской ССР. Ч.1. Масштаб 1:2 500 000. Москва-Ташкент: ГУГК, 1982. С. 92-93.

9. Залетаев В.С, Новикова Н.М. Фитоэкологическое картографирование динамики процессов опустынивания аридных территорий (на примере Южного Приаралья) // Геоботаническое картографирование. Санкт-Петербург: Наука, 1997. С. 43-52.

10. Исаченко А.Г. Введение в экологическую географию. Санкт-Петербург: Издательство Санкт-Петербургского университета, 1993. 192 с.

11. Исаченко А.Г. Ландшафтоведение и физико-географическое районирование. Москва: Высшая школа, 1991. 366 с.

12. Когай Н.А., Гальков Ч.В., Сагатов А.А. Ландшафтная карта // Атлас Узбекской ССР. Ч.1.-Москва-Ташкент: ГУГК, 1982. С. 104-105.

13. Костин В.П. Опыт ландшафтно-экологического районирования низовьев Аму-Дарьи // Труды ТашГУ, выпуск 193. География. Ташкент, 1962. С 51-67.

14. Николаев В.А. Ландшафтоведение. Семинарские и практические занятия. Москва: Издательство МГУ, 2000. 94 с.

15. Попов В.А. Проблема Арала и ландшафты дельты Амударьи (структурно-динамическое состояние ландшафтов Южного Приаралья в связи с проблемой Арала). Ташкент: Фан, 1990. 112 с.

16. Попов В.А., Виноградов Б.В. Мелкомасштабное ландшафтное картографирование Южного Приаралья // Проблемы освоения пустынь. 1982, № 3. С. 40-48.

17. Реймов П.Р., Худайбергенов Я.Г. ГИС-технологии в мониторинге ландшафтов Южного Приаралья // Вестник ККО АН РУз. Нукус, 2005. № 4. С. 34–38.

18. Сочава В.Б. Введение в учение о геосистемах. Новосибирск: Наука, 1978. 319 с.

19. Степанов И.Н. Эколого-географический анализ почвенного покрова Средней Азии. Москва: Наука, 1975. 168 с.

20. Сукачев В.Н. Идея развития в фитоценологии // Ботанический журнал. 1942. Т. 27, № 1–2. С. 1–17.

21. Султанов Г.С., Кашкаров Д.Ю., Попов В.А. Территориальные комплексы современного населения млекопитающих и птиц. [Карта] // Атлас Узбекской ССР Ч.1. Масштаб 1:2 500 000. Москва-Ташкент: ГУГК, 1982. С. 98 -99.

22. Таджибаев К.Ш., Бешко Н.Ю., Попов В.А. Ботанико-географическое районирование Узбекистана // Ботанический журнал, 2016, том 101, № 10. С. 1105-1132.

23. Haeckel, E. Generelle Morphologie der Organismen in 2 Bd. / Ernst Haeckel. Berlin: Georg Reimer, 1866. Bd. 1: Allgemeine Anatomie der Organismen. 462 S.; Vol. 2: Allgemeine Entwickelungsgeschichte der Organismen. 462 S.

24. Tansley, A. G. The Use and Abuse of Vegetational Concepts and Terms // Ecology. 1935. Vol. 16, No. 3. P. 284–307.

25. Troll C. Luftbildplan und ökologische Bodenforschung // Zeitschrift der Gesellschaft für Erdkunde zu Berlin. 1939. № 7/8. S. 241–298.

References:

1. Abdulkasimov A.A., Abbasov S.B. (2001), *Landscape-ecological studies of the Central Kyzylkum,* Samarkand, 124 p. (In Russ.).

2. Allanazarov K.Zh. (2012), *Landscapes of the Southern Aral Sea region under conditions of anthropogenic impact*, Tashkent, 144 p. (In Russ.).

3. Babushkin L.N., Kogay N.A. (1964), Issues of geographical regionalization of Central Asia and Uzbekistan*, Scientific works of TashSU,* Vol. 231, Issue 27, pp. 5-245. (In Russ.).

4. Berg L.S. (1947), *Geographical zones of the Soviet Union,* Moscow, Vol. 1. 397 p. (In Russ.).

5. Vashetko E.V., Yadgarov T.Ya., Popov V.A. (1982), Territorial complexes of the modern reptile population [Map]*, Atlas of the Uzbek SSR,* Part 1. Scale 1 : 3500000, Moscow-Tashkent, pp. 100-101. (In Russ.).

6. Vernadsky V.I. (1967), *The Biosphere*, Moscow, 376 p. (In Russ.).

7. Vinogradov B.V. (1998), *Fundamentals of landscape ecology,* Moscow, 418 p. (In Russ.).

8. Granitov I.I., Granitov A.I., Popov V.A. (1982), Vegetation [Map], *Atlas of the Uzbek SSR,* Part 1, pp. 92-93, Scale 1 : 2500000*,* Moscow-Tashkent, pp. 92-93. (In Russ.).

9. Zaletaev V.S., Novikova N.M. (1997), Phytoecological mapping of the dynamics of desertification processes in arid territories (on the example of the Southern Aral Sea region)*, Geobotanical mapping,* St. Petersburg, pp. 43-52. (In Russ.).

10. Isachenko A.G. (1993), *Introduction to environmental geography,* St. Petersburg, 192 p. (In Russ.).

11. Isachenko A.G. (1991), *Landscape Science and Physical Geographical Regionalization,* Moscow, 366 p. (In Russ.).

12. Kogay N.A., Galkov Ch.V., Sagatov A.A. (1982), Landscape map*, Atlas of the Uzbek SSR*, Part 1, Moscow-Tashkent, pp. 104-105. (In Russ.).

13. Kostin V.P. (1962), Experience of landscape-ecological regionalization of the lower reaches of the Amu Darya*, Scientific works of TashSU,* Vol. 193, Geography*,* Tashkent, pp. 51-67. (In Russ.).

14. Nikolaev V.A. (2000), *Landscape science: Seminars and practical exercises*, Moscow, 94 p. (In Russ.).

15. Popov V.A. (1990), *The Aral problem and the landscapes of the Amu Darya delta (structural-dynamic state of the landscapes of the Southern Aral Sea region in connection with the Aral problem)*, Tashkent. 112 p. (In Russ.).

16. Popov V.A., Vinogradov B.V. (1982). Small-scale landscape mapping of the Southern Aral Sea region, *Problems of Desert Development,* No. 3, pp. 40-48. (In Russ.).

17. Reymov P.R. & Khudaybergenov Ya.G. (2005), GIS technologies in landscape monitoring of the Southern Aral Sea region, *Bulletin of the Karakalpak Branch of the Academy of Sciences of the Republic of Uzbekistan*, No. 4, pp. 34-38. (In Russ.).

18. Sochava V.B. (1978), *Introduction to the theory of geosystems*, Novosibirsk, 319 p. (In Russ.).

19. Stepanov I.N. (1975), *Ecological-geographical analysis of the soil cover of Central Asia*, Moscow, 168 p. (In Russ.).

20. Sukachev V.N. (1942), The idea of development in phytocenology, *Botanicheskiy Zhurnal,* Vol. 27, No. 1-2, pp. 1-17. (In Russ.).

21. Sultanov G.S., Kashkarov D.Yu., Popov V.A. (1982), Territorial complexes of the modern population of mammals and birds [Map], *Atlas of the Uzbek SSR,* Part 1, Scale 1 : 2500000, Moscow-Tashkent, pp. 98-99. (In Russ.).

22. Tadzhibaev K.Sh., Beshko N.Yu., Popov V.A. (2016), Botanical geographical regionalization of Uzbekistan, *Botanicheskiy Zhurnal,* Vol. 101, No. 10, pp. 1105–1132. (In Russ.).

23. Haeckel E. (1866), *Generelle Morphologie der Organismen* [General Morphology of Organisms]. 2 Vols. Berlin: Georg Reimer. 462 p. (In German).

24. Tansley A.G. (1935), The Use and Abuse of Vegetational Concepts and Terms, *Ecology,* Vol. 16, No. 3, pp. 284-307.

25. Troll C. (1939), Luftbildplan und ökologische Bodenforschung [Aerial photography and ecological soil research], *Zeitschrift der Gesellschaft für Erdkunde zu,* Berlin, No. 7/8, pp. 241-298. (In German).

Сведения об авторе:

Попов Виктор Артемьевич – независимый исследователь (Ташкент, Узбекистан), кандидат географических наук, старший научный сотрудник. E-mail: victor_popov@list.ru

Information about author:

Victor Popov – Independent researcher (Tashkent, Uzbekistan), Candidate of Geographical Sciences, Senior Researcher. E-mail: victor_popov@list.ru

Для цитирования:

Попов В.А. Опыт классификации ландшафтов Большого Среднеазиатского междуречья: экологический подход // Центральноазиатский журнал географических исследований. 2026. № 1-2. С. 4-18.

For citation:

Popov V.A. (2026), An experience in the classification of landscapes in the Great Central Asian interfluve: an ecological approach, *Central Asian Journal of Geographical Researches*, No. 1-2, pp. 4-18. (In Russ.).

UDC 911.5 https://doi.org/10.5281/zenodo.20785530

Toločka A.

CGeo – Geosciences Center, Coimbra, Portugal
Polytechnic University of Tomar, Tomar, Portugal

TOWARDS A NEW FRAMEWORK FOR ANTHROPOGENIC GEOHERITAGE: THE CASE OF OPEN-PIT MINING LANDSCAPES

Abstract. *The concept of geoheritage has traditionally focused on the appreciation of landforms and geological features shaped by natural processes over long periods of time. This study discusses a paradigm shift, proposing that large-scale mining structures, particularly open-pit mines, should be recognized as significant anthropogenic landforms that are crucial for understanding the contemporary state and future of geoheritage. As some of the most visible and extensive manifestations of humanity's ability to reshape the surface and near-surface layers of the Earth, these sites represent an accelerated form of anthropogenic geomorphology. Open-pit mines constitute not only important socioeconomic and cultural landscapes but also embody the collective memory and lifestyle of millions of people worldwide, as numerous towns and cities have developed around and been shaped by mining activity. This research examines the distinct geomorphologies and landscapes of open-pit mines, the unprecedented rates of their formation, and their long-term persistence within the geological record. Through a regional analysis of Sokolov mining site in Czechia, Central Europe, it demonstrates that these landscapes are not merely scars testifying to our technogenic activity but vital sites for interpreting the stratigraphic and anthropological signatures of the Holocene and the advanced human ability to exploit natural resources. The study concludes by proposing a new typology for classifying anthropogenic mining geoheritage, arguing that such a framework is essential for a comprehensive understanding of the transformation of terrestrial landscapes during the Holocene.*

Key words: *open-pit mining, anthropogenic geoheritage, mining geoheritage, cultural landscapes, Sokolov coal basin*.

Толочка А.

CGeo – Центр геонаук, Коимбра, Португалия,
Политехнический университет Томара, Томар, Португалия

К РАЗРАБОТКЕ НОВОЙ КОНЦЕПЦИИ АНТРОПОГЕННОГО ГЕОНАСЛЕДИЯ: НА ПРИМЕРЕ ЛАНДШАФТОВ ОТКРЫТЫХ ГОРНЫХ РАЗРАБОТОК

Аннотация. *Традиционно концепция геокультурного наследия фокусировалась на оценке форм рельефа и геологических особенностей, сформированных природными процессами в течение длительных периодов времени. В данном исследовании рассматривается смена парадигмы, предлагающая признать крупномасштабные горнодобывающие сооружения, особенно карьеры, значимыми антропогенными формами рельефа, имеющими решающее значение для понимания современного и будущего состояния геокультурного наследия. Как одни из наиболее наглядных и масштабных проявлений способности человечества изменять поверхность и приповерхностные слои Земли, эти объекты представляют собой антропогенные геоморфологические структуры. Карьеры являются не только важными социально-экономическими и культурными ландшафтами, но и воплощают коллективную память и образ жизни миллионов людей во всем мире, поскольку многочисленные города и поселки развивались вокруг горнодобывающей деятельности и формировались под ее влиянием. В данном исследовании рассматриваются отличительные геоморфологические особенности и ландшафты карьеров, беспрецедентные темпы их образования и их долгосрочное сохранение в геологической летописи. На основе регионального анализа горнодобывающего участка Соколов в Чехии показано, что эти ландшафты являются не просто «шрамами» на земной поверхности, свидетельствующими о техногенной деятельности, но и жизненно важными местами для*

интерпретации стратиграфических и антропологических признаков голоцена и практики человека по эксплуатации природных ресурсов. В заключение исследования предлагается новая типология классификации антропогенного горнодобывающего геокультурного наследия и утверждается, что такая структура необходима для всестороннего понимания трансформации наземных ландшафтов в течение голоцена.

Ключевые слова: *открытые горные разработки, антропогенное геонаследие, горнопромышленное геонаследие, культурные ландшафты, Соколовский угольный бассейн*.

Introduction and problem statement. Industrial and postindustrial landscapes increasingly occupy a critical position at the intersection of ecological restoration, land-use transformation, and heritage conservation [3]. Processes of planning and remediation often generate tension between the recovery of ecological functions and the preservation of historically significant landforms, spatial configurations, and material traces of industrial activity [16]. In this context, the concepts of authenticity and integrity are essential, as they enable industrial landscapes to be interpreted as material evidence of historical processes, technological development, and landscape transformation [3].

Traditionally in the Western Europe geoheritage has focused on natural geological and geomorphological features formed over long temporal scales. However, human made landforms also represent a significant component of geodiversity. From a geomorphological perspective, anthropogenic landforms can be understood as a form of secondary geodiversity, comprising human-made landforms, their assemblages, and associated systems that may hold scientific, educational, cultural, and heritage value [6; 16]. These elements may therefore be conceptualized as anthropogenic geoheritage.

Within this framework, a key problem emerges: despite their scale, visibility, and scientific significance, large-scale anthropogenic landforms, particularly those produced by open-pit mining, remain insufficiently recognized and systematically classified within geoheritage studies.

Study of the problem. Open-pit mining landscapes represent some of the most extensive and clearly expressed forms of anthropogenic geomorphology (Fig. 1). Their terraced slopes, benches, excavation voids, spoil heaps, and reconfigured drainage systems are generated through extremely rapid geomorphological processes, transforming relief at rates and scales that often exceed those of natural surface dynamics [22].

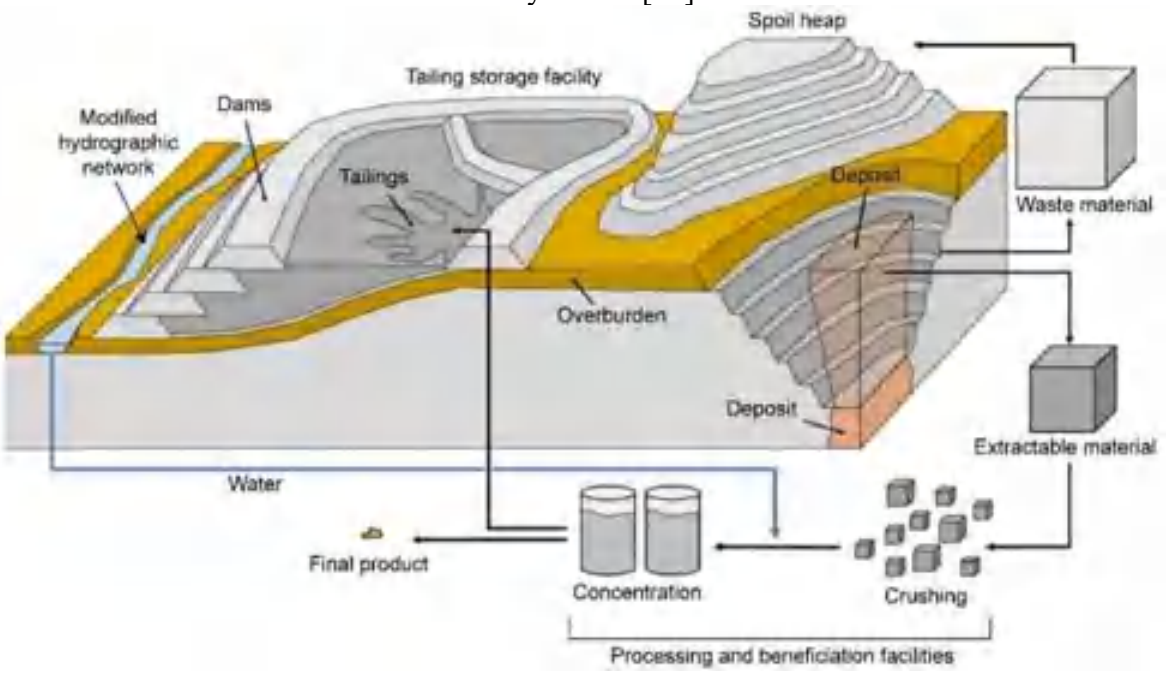


Fig. 1. Simplified schematic representation of the principal functional elements of an open-pit mining system (modified after [17; 22])

These landscapes function not only as sites of resource extraction but also as distinctive geomorphic systems that expose deep geological sequences, reveal stratigraphic relationships, and generate new landform assemblages [16]. Moreover, open-pit mining areas are frequently embedded within broader cultural and social landscapes. Mining regions commonly influence settlement patterns, shape local identity, and contribute to collective memory [8; 18]. They form part of a wider spectrum of mining geoheritage, encompassing extraction structures, technical infrastructure, waste deposits, hydraulic systems, transport networks, and intangible cultural elements.

Despite these characteristics, the role of open-pit mining landscapes as anthropogenic geoheritage remains underexplored. There is a lack of integrative approaches that combine geomorphological, geological, industrial, and cultural perspectives, as well as a need for clearer conceptual frameworks and classification systems.

Open-pit mining landscapes are also associated with a range of environmental and social consequences that have become an important focus of recent research [3; 6; 8; 16; 18]. The removal of overburden, modification of drainage systems, and creation of extensive excavation voids can strongly alter existing geomorphological and ecological conditions [3; 16]. Consequently, considerable attention has been devoted to the restoration of post mining landscapes, particularly with regard to ecosystem recovery, biodiversity conservation, hydrological rehabilitation, and the development of new land uses [19]. Mining activities may affect local communities through changes in settlement structure, land use patterns, and economic dependency on extractive industries [18]. These impacts are not necessarily uniform in space or time and may persist long after extraction has been stopped. Therefore, contemporary approaches increasingly consider mining landscapes as environments where heritage conservation, ecological restoration, and social development must be evaluated together rather than as separate processes [3; 8; 16].

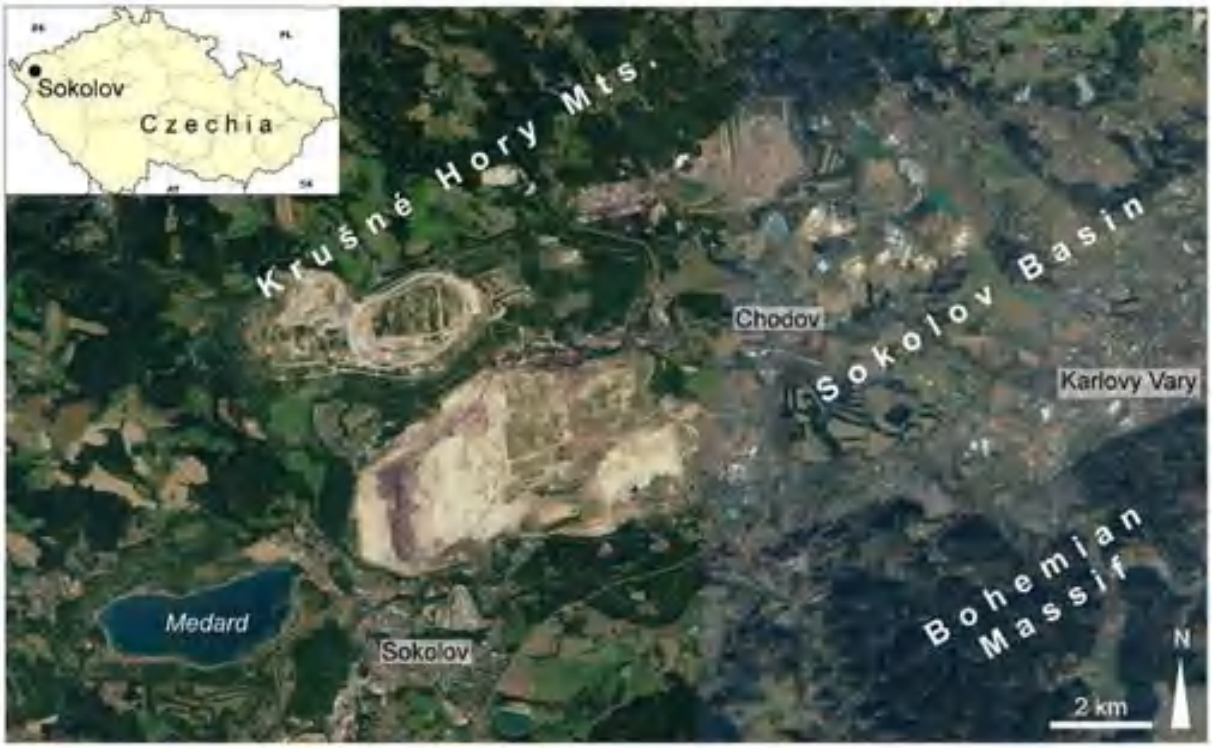


Fig. 2. Orthophoto map of the Sokolov area showing clearly visible open-pit mining sites and water reservoirs formed in reclaimed former pits [13]

Aim and objectives of the research. This study argues that large-scale open-pit mining complexes should be recognized as a distinct category of anthropogenic geoheritage, capable

of preserving stratigraphic, geomorphological, industrial, and cultural signatures of the Holocene. The research focuses on the Sokolov brown coal basin in Czechia, Central Europe (Fig. 2), as a case study to examine the impacts of open-pit mining on landform development, geological exposure, and settlement patterns. The main objectives of the study are: (1) to analyze the geomorphological forms and processes associated with open-pit mining; (2) to assess their significance within the framework of anthropogenic geoheritage; (3) to develop a functional classification of mining related geoheritage elements.

Matherials and methods. The methodology combines theoretical and empirical approaches to examine open-pit mines as elements of anthropogenic geoheritage, following the frameworks proposed by Chen et al. (2015) [7] and Bian et al. (2026) [3]. A review of classical concepts of mining heritage and geoheritage is first undertaken. Traditionally, mining has been interpreted primarily as a means of exposing natural geological features of scientific value [12; 14]. This perspective is compared with more recent approaches [15; 16; 19], which recognize mining landscapes as complex systems encompassing both tangible and intangible geoheritage.

Table 1

Functional classification of the anthropogenic mining geoheritage (based on [20; 22])

Functional type	Subtype	Description	Examples
Extraction Structures	Open-pit mines	Large surface excavations created by removal of overburden and ore	Open-pit copper or iron mines
	Underground mines	Subsurface extraction networks including galleries, shafts, and stopes	Medieval silver mines, coal mines
	Quarries	Surface extraction sites for building stone or industrial minerals	Limestone, granite quarries
Mining Infrastructure	Shafts and adits	Vertical or horizontal access structures to underground workings	Ventilation shafts, drainage adits
	Galleries and tunnels	Excavated passages for extraction, transport, or drainage	Roman mining tunnels
	Pillars and chambers	Structural features left to support underground excavations	Room-and-pillar systems
Processing and Beneficiation Sites	Ore dressing facilities	Areas for crushing, grinding, washing, or sorting ore	Stamp mills, washing floors
	Smelting sites	Locations where ores were metallurgically processed	Iron bloomeries, copper smelters
	Slag heaps	Waste accumulations from smelting activities	Ancient slag mounds
Waste and By-products	Spoil heaps	Piles of waste rock from mining operations	Mine dumps
	Tailings	Fine-grained waste from ore processing	Tailings ponds
Hydraulic Mining Systems	Water channels and aqueducts	Engineered systems for water supply to mining areas	Roman aqueducts for gold mining
	Reservoirs and tanks	Water storage for mining and ore processing	Settling tanks
	Drainage systems	Structures controlling groundwater and mine water	Cuniculi, drainage galleries
Transport and Logistics	Haulage roads	Roads built for transporting ore or waste	Mine access roads
	Railways and inclines	Fixed transport systems for ore movement	Narrow-gauge mining railways
	Loading platforms	Areas for transferring material	Ore loading docks
Mining Landscapes	Cultural mining landscapes	Integrated mining areas shaped by long-term human activity	Historic mining districts
	Reclaimed mining areas	Landscapes altered by restoration or abandonment	Post-mining landscapes
Intangible Mining Heritage	Technical knowledge	Traditional mining methods and skills	Hand-drilling techniques
	Social and economic practices	Mining-related community organization	Miners' settlements

A functional classification of anthropogenic mining geoheritage (Table 1) is based on classification which synthesizes established typologies [20; 22] and organizes mining related features into categories including extraction structures, mining infrastructure, processing and beneficiation sites, waste and by-products, hydraulic systems, transport and logistics, mining landscapes, and associated intangible heritage. Open-pits are analysed as integrated systems rather than isolated elements, enabling the identification and assessment of features with geoheritage significance.

The empirical part of this study is based on a case of the Sokolov coal basin (Czechia). Spatial and temporal analyses of landscape transformation are conducted using remote sensing and geospatial datasets (historical maps, archival and contemporary orthophotographs) obtained from Czech Geological Survey [9; 10], State Administration of Land Surveying and Cadastre of Czechia [11] and Google Earth [13]. Landscape change is analysed through a comparative approach, examining successive periods to identify the evolution of mining landforms, the expansion of open-pit excavations, the development of spoil heaps, and changes in drainage systems and infrastructure.

Spatial and temporal analyses of landscape transformation in the Sokolov area were conducted using remote sensing and geospatial datasets, including historical maps, archival and contemporary orthophotographs, and digital elevation models obtained from the Czech Geological Survey [9; 10], the State Administration of Land Surveying and Cadastre of Czechia [11], and Google Earth [13]. Landscape change was analysed through a comparative approach, in which successive time periods were examined to identify the evolution of mining landforms, the expansion of open-pit excavations, the development of spoil heaps, and changes in drainage systems and infrastructure. This procedure also enabled the assessment of spatial relationships between individual mining elements within the wider mining system. The inventory of anthropogenic mining geoheritage was subsequently conducted through the systematic identification and interpretation of mining related features visible in the analysed datasets. Individual features were classified according to the functional framework presented in Table 1, with particular attention devoted to extraction structures, spoil deposits, hydraulic modifications, transport infrastructure, reclaimed areas, and mining settlement patterns. In addition to the identification of individual geoheritage elements, the analysis focused on their spatial distribution, mutual relationships, and functional interactions within the mining landscape. This approach made it possible to evaluate the Sokolov basin as an integrated anthropogenic geomorphic system shaped by successive phases of extraction, transport, deposition, and reclamation, rather than as a collection of isolated features.

Results and discussion. *Functional classification of mining geoheritage.* The main issue in the interpretation of mining geoheritage concerns the scale and object of analysis. In traditional geoconservation approaches, mining sites were mainly valued for the geological features they expose, such as stratigraphic sections or mineral occurrences [12; 14]. In this perspective, mining activity was treated primarily as a means of access to natural features, while the anthropogenic landforms and associated infrastructure were considered of secondary importance [12; 21]. This reflects an early stage in the development of geoheritage studies, when attention was focused largely on natural geodiversity and its scientific significance [14].

More recent research [3; 15; 16; 19] has expanded this view, recognising that anthropogenic landforms can form an integral part of geodiversity. In open-pit mining areas, large-scale surface modifications create new geomorphological configurations, often exposing geological structures while simultaneously generating distinctive landforms. These landscapes could be analysed in terms of their internal complexity and in relation to their contrast with surrounding natural environments. Such an approach highlights the need for a clearer framework to describe and evaluate mining geoheritage.

The functional classification proposed in this study (Table 1) addresses this need by organising mining related features into 8 categories: extraction structures, mining infrastructure, processing and beneficiation sites, waste and by-products, hydraulic systems, transport and

logistics, mining landscapes, and intangible mining heritage. The purpose of this classification is not simply to list elements, but to emphasise the relationships between them. Mining landscapes are therefore understood as systems in which different components operate together and cannot be fully interpreted in isolation [3; 16].

Open-pit mining complexes provide a clear example of this approach of system with interconnected elements. Their morphology, characterised by terraced slopes, excavation voids, spoil heaps, and modified drainage networks, results from rapid and large-scale transformations of the land surface. These features are closely linked to technical infrastructure, material flows, and patterns of land use, forming a coherent spatial and functional unit [20; 22; 25]. This has direct implications for geoheritage assessment. When individual elements are considered separately, their significance may be reduced, as the relationships that explain their formation and function are not taken into account [25]. A pit wall, a spoil heap, or a drainage structure acquires meaning within the broader system of extraction, processing, and landscape transformation. The classification used here makes it possible to identify these connections and to evaluate mining areas as integrated geoheritage units.

The approach proposed in this paper supports a shift from the protection of isolated features to the conservation of mining systems. This is particularly important in open-pit mining regions, where recultivation and land use change may alter or remove important geomorphological and technical elements. This functional classification also provides a practical framework for analysing mining geoheritage and supports a more consistent approach to its conservation.

Sokolov in the context of mining geoheritage. The Sokolov Basin (NW Czechia) represents a typical large-scale open-pit lignite mining landscape in Central Europe, where mining activity and settlement development is closely interconnected. The basin is part of a Neogene tectonic depression associated with the Ohře Rift and is filled with Eocene to Miocene sediments, including fluvial and lacustrine deposits [5]. Within this sequence, economically significant lignite seams were formed under swamp conditions and later covered by thick claystone overburden [4].

The development of mining in the region shows a clear transition from small-scale underground extraction to large open-pit operations (Fig. 3b-c). Early mining activity, recorded from XVIII and XIX centuries, was spatially limited and closely associated with local settlements.

The second half of XX century was characterised by rapid expansion of surface mining, resulting in the formation of extensive open pits such as the Jiří and Družba mines [23] (Fig. 4c). These sites represent the dominant geomorphological elements of the basin, with large excavation voids, terraced slopes, and internal spoil heaps defining the current landscape.

Functional components of the mining system are clearly identifiable within the Sokolov Basin and together constitute a complete mining geoheritage assemblage. Extraction structures are represented by open-pit excavations, which form the core of the landscape (Figs. 2, 3). Around these, mining infrastructure such as conveyor systems, access roads, and operational facilities developed as integral elements supporting material extraction and transport. Processing and energy production sites are directly connected to the pits, reflecting the integration of extraction and industrial use. Waste and by-product features, particularly spoil heaps and reworked overburden deposits, occupy large areas and significantly modify the original topography. Hydraulic systems, including drainage networks and post mining water bodies, illustrate the reorganisation of natural hydrological processes. Rail connections, link different parts of the mining system and contribute to its spatial coherence. Post-mining landscapes represent a later stage in the evolution of the system, where new land uses are superimposed on the original mining geomorphology.

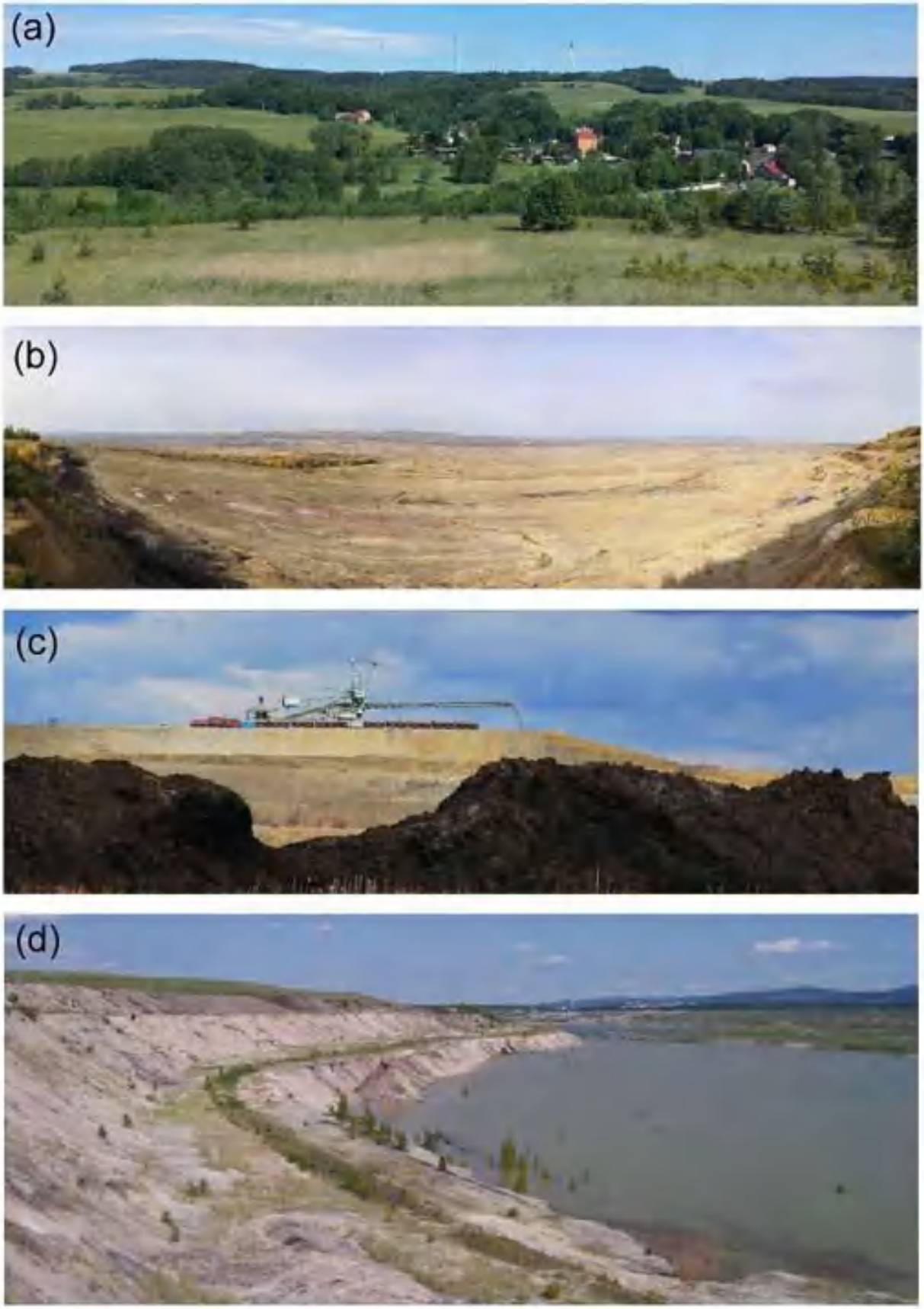


Fig. 3. Landscape transformations around Sokolov, NW Czechia: (a) agricultural and forest areas unaffected by mining; (b) Lom Jiří, the main open-pit coal mine near Sokolov; (c) brown coal transported by train from the open pit; (d) former open-pit mine now submerged under the Medard reservoir

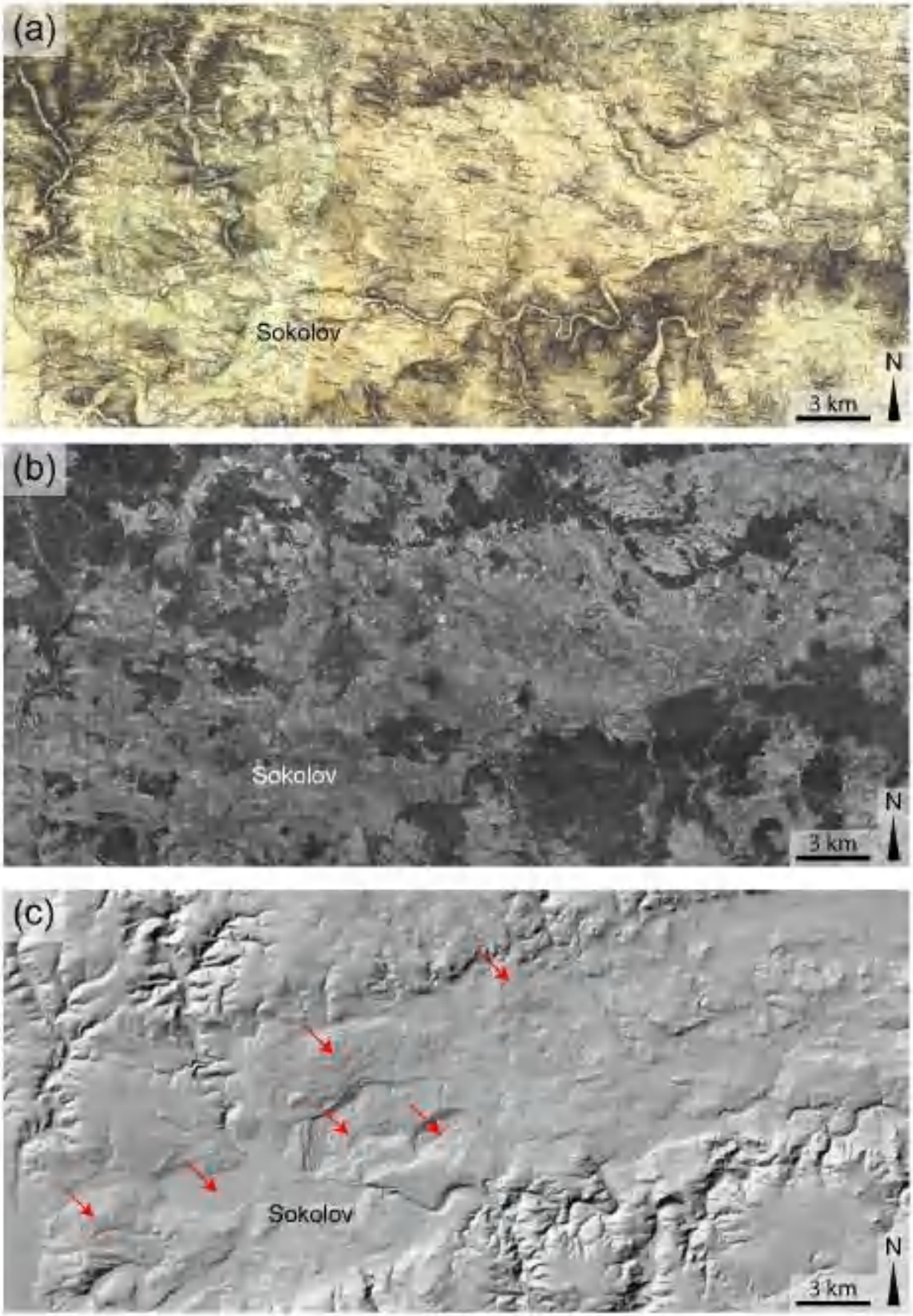


Fig. 4. Historical landscape changes of Sokolov area: (a) military map from the 1830s [9]; (b) historical orthophoto from the 1950s [10]; (c) DEM-derived hillshade map highlighting open-pit mining structures and anthropogenic landforms by red arrows [11]

The spatial distribution of these elements demonstrates that the Sokolov Basin functions as an integrated mining landscape rather than a collection of isolated features. The relative extent of individual components has changed over time. During the period of intensive extraction in the late XX century, the area occupied by open-pits and active industrial surfaces increased significantly, while agricultural and semi natural landscapes declined [23] (Fig. 3a). In XXI century the extent of active mining areas has stabilised or decreased locally, while reclaimed areas, water bodies, and new land uses have expanded [1]. These changes reflect a shift from extraction dominated to post mining landscape structures (Fig. 3d), although the geomorphological imprint of mining remains significant.

The category of mining landscapes is particularly well represented within the Sokolov basin [1; 2]. Rather than occurring as isolated landforms, extraction pits, spoil heaps, transport corridors, industrial facilities, reclaimed surfaces, and newly formed water bodies occur as interconnected elements of a single spatial system. Figure 2 shows the scale of these transformations, where former extraction areas coexist with reclaimed reservoirs and newly established land uses. Such spatial relationships indicate that the geomorphological significance of the basin cannot be understood just through individual mining features. The landscape represents the cumulative result of successive phases of extraction, deposition, reclamation, and redevelopment that have progressively reshaped the original terrain.

Sokolov region is characterised by a strong presence of intangible mining heritage. Settlement patterns in the region developed largely in response to mining activity. New towns, housing estates, industrial zones, and transport corridors were established in direct relation to open-pit operations, forming a spatial structure oriented towards extraction sites [24] (Fig. 4a-b). This differs from many historic mining regions in Czechia where extraction activities were superimposed onto existing settlement networks. In the Sokolov basin, urban development and mining progressed in parallel during the socialist period, resulting in a landscape in which social and industrial structures became closely interconnected. As a consequence, the organisation of settlements, transport infrastructure, and public services can be interpreted as part of a broader mining system rather than as independent components of regional development.

The influence of mining extended beyond the physical transformation of the landscape and contributed to the formation of a distinct social and professional environment. Universities, vocational schools, and specialised training institutions historically supported the workforce required for lignite extraction and processing [2; 24]. At the same time, mining activities shaped patterns of employment, labour organisation, and community development throughout the basin. The transmission of technical knowledge, professional skills, and occupational traditions between generations contributed to the formation of a mining identity that remained closely associated with regional development. Although such relationships are less visible than the physical landforms produced by mining, they provide an important interpretative framework for understanding the landscape.

In this context, intangible mining heritage may be understood as the collective expression of knowledge systems, professional practices, social memory, and community identity associated with long term resource extraction. These elements persist through educational institutions, museums, archival collections, local narratives, and place-based cultural traditions, even where the original economic functions of mining have diminished. Consequently, the geoheritage significance of the Sokolov basin is not limited to its anthropogenic landforms and mining infrastructure, but also encompasses the social and cultural processes that developed in response to sustained interaction between society and the mining environment. Such relationships indicate that mining landscapes may be interpreted not only as products of geomorphological transformation but also as cultural landscapes shaped by the co-evolution of extractive activities and human communities.

Conclusion. Open-pit mining landscapes, such as areas in Sokolov Basin, present a complex record of human interaction with the Earth's geological environment, where rapid extraction and industrial activity have reshaped relief, exposed stratigraphic sequences, and

generated new geomorphic forms. Though often approached primarily for their geological value, these landscapes encompass more than scientific interest: terraced pit walls, spoil heaps, hydraulic modifications, transport networks, and associated infrastructure together form a coherent system, whose significance is only fully appreciated when considered in relation to one another. The case of Sokolov mining area demonstrates that these features are conected to broader social and cultural contexts, where settlement patterns, professional practices, and community identity evolved alongside industrial operations. In this sense, the landscape is a material expression of a modified environment, where technological ambition, resource use, and social organization intersect. Recognizing open-pit mining complexes as anthropogenic geoheritage allows us to deepen the interpretation that integrates geomorphology, industrial history, and cultural meaning, providing a framework for their assessment, conservation, and post mining transformation.

Acknowledgments. *This study was supported by the research project UIDB/00073/2025 at the CGeo – Geosciences Centre and by the Erasmus Mundus International Master in Quaternary and Prehistory (IMQP) programme (2025–2027) at the Polytechnic University of Tomar. The author thanks anonymous reviewers for their constructive comments and valuable suggestions, which contributed substantially to improving the manuscript.*

References:

1. Barra M., Efler T. (2024), Challenges of heritage conservation in the lignite mining area below the Ore Mountains, Czech Republic, *Proceedings of the IX EAAE Conservation Network Workshop 2024*. https://doi.org/10.13140/RG.2.2.33003.66087

2. Beran P. (2011), O dobývání nerostných surovin v Chodově do roku 1945, *Zpravodaj Hnědé uhlí,* 51(2):31–40. (In Czech).

3. Bian X., Brown A., Marques B. (2026), Balancing ecological restoration and industrial landscape heritage values through a digital narrative approach: A case study of the Dagushan Iron Mine, China, *Land*, 15(1):155. https://doi.org/10.3390/land15010155

4. Bouška V., Pešek J. (1999), Quality parameters of lignite of the North Bohemian Basin in the Czech Republic in comparison with the world average lignite, *International Journal of Coal Geology*, 40(2–3):211–235. https://doi.org/10.1016/S0166-5162(98)00070-6

5. Cajz V., Valečka J. (2010), Tectonic setting of the Ohře/Eger Graben between the central part of the České středohoří Mts. and the Most Basin, a regional study, Journal of Geosciences, 55:201–215. https://doi.org/10.3190/jgeosci.075

6. Castro P.T.A., Dardenne M.A., Maia J.S.S., Lobato L.M. (2021), Classification of geo-mining heritage based on anthropogenic geomorphology, *Journal of the Geological Survey of Brazil*, 4(1):13–20. https://doi.org/10.29396/jgsb.2021.v4.SI1.4

7. Chen J., Li K., Chang K.J., Sofia G., Tarolli P. (2015), Open-pit mining geomorphic feature characterisation, *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 42:76–86. https://doi.org/10.1016/j.jag.2015.05.001

8. Cherenev A.A. (2019), The use of land resources for the organization of tourism and recreation in the Central ecological zone of the Baikal natural territory (on the example of the Irkutsk region), *Service and Tourism: Current Challenges*, 13(1):107–116. https://doi.org/10.24411/1995-0411-2019-10112 (in Russian)

9. ČGS (2026a), *Služba zobrazuje rastrové dlaždice II. vojenského (Františkova) mapování, které probíhalo v letech 1836-1852*, Česká geologická služba. URL: https://mapy.geology.cz/ (accessed 2026-04-04)

10. ČGS (2026b), *Historická ortofotomapa 50.léta*, Česká geologická služba. URL: https://mapy.geology.cz/ (accessed 2026-04-04)

11. ČÚZK (2026), *Digitální model reliéfu*, Státní správa zeměměřictví a katastru. URL: https://cuzk.gov.cz/ (accessed 2026-04-04)

12. Duff K. (1994), Natural Areas: An Holistic Approach to Conservation Based on Geology. In: O'Halloran D, et al (eds) *Geological and Landscape Conservation*, Geological Society, London, pp. 121–126.

13. Google Earth Pro (2026), *Orthophoto imagery and geospatial data*. Google. URL: https://earth.google.com (accessed 2026-04-04)

14. Gray M. (2008), Geodiversity: developing the paradigm, *Proceedings of the Geologists' Association*, 119:287–298. https://doi.org/10.1016/S0016-7878%2808%2980307-0

15. Gray M. (2019), Geodiversity, geoheritage and geoconservation for society, *International Journal of Geoheritage and Parks,* 7(4):226–236. https://doi.org/10.1016/j.ijgeop.2019.11.001

16. Kubalíková L. (2017), Mining Landforms: An Integrated Approach for Assessing the Geotourism and Geoeducational Potential, *Czech Journal of Tourism*, 6(2):131–154. https://doi.org/10.1515/cjot-2017-0007

17. Martin D., Stacey P. (2018), *Guidelines for Open Pit Slope Design in Weak Rocks*, CSIRO Publishing, Melbourne, 416 p. ISBN 978-1486303489

18. Melelli L., Palombo M., Nazzareni S. (2023), Ghost mines for geoheritage enhancement in the Umbria Region (Central Italy), *Geosciences*, 13(7):208. https://doi.org/10.3390/geosciences13070208

19. Prosser C.D. (2019), Communities, quarries and geoheritage – making the connections, *Geoheritage*, 11:1277–1289. https://doi.org/10.1007/s12371-019-00355-4

20. Rzhevsky V. (1980), *Technology and comprehensive mechanization of open-pit mining* [Технология и комплексная механизация открытых горных работ], 3rd ed. Nedra, Moscow, 631 pp. (in Russian).

21. Tarolli P., Sofia G. (2016), Human topographic signatures and derived geomorphic processes across landscapes, *Geomorphology*, 255:140–161. https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2015.12.007

22. Tatiya R.R. (2013), *Surface and underground excavations: methods, techniques and equipment*, 2nd ed. CRC Press/Balkema, Leiden, 624 p. ISBN 978-0-415-62119-9

23. Vaishar A., Šťastná M., Lipovská Z. (2010) Possibilities for development of regions after mining: Restoration of rural environment in the Czech-Saxon borderland, *Rural Areas and Development*, 7. https://ssrn.com/abstract=3719984

24. Zdař Bůh (2026), *Historie hornictví na Sokolovsku, Chebsku a Karlovarsku. Zdař Bůh project.* URL: https://www.zdarbuh.cz/reviry/su/hdb/historie-hornictvi-na-sokolovsku-chebsku-a-karlovarsku-1/?utm_source=chatgpt.com (in Czech) (accessed 2026-04-04).

25. Zhang L., Zhai Z., Zhou Y., Liu S., Wang L. (2022), The landscape pattern evolution of typical open-pit coal mines based on land use in Inner Mongolia of China during 20 years, *Sustainability*, 14(15):9590. https://doi.org/10.3390/su14159590

Information about the author:

Andrius Toločka – CGeo – Geosciences Center (Coimbra, Portugal), Polytechnic University of Tomar (Tomar, Portugal), a researcher. E-mail: andrius.tolocka@yandex.kz

ORCID ID: https://orcid.org/0009-0003-6254-9197

Сведения об авторе:

Толочка Андрюс – CGeo – Центр геонаук (Коимбра, Португалия), Политехнический университет Томара (Томар, Португалия), исследователь. E-mail: andrius.tolocka@yandex.kz

ORCID ID: https://orcid.org/0009-0003-6254-9197

For citation:

Toločka A. (2026), Towards a new framework for anthropogenic geoheritage: the case of open-pit mining landscapes, *Central Asian Journal of Geographical Researches*, No. 1-2, pp. 19-29.

Для цитирования:

Толочка А. К разработке новой концепции антропогенного геонаследия: на примере ландшафтов открытых горных разработок // Центральноазиатский журнал географических исследований. 2026. № 1-2. С. 19-29. (На англ. яз.)

УДК 631.587 (575.1) https://doi.org/10.5281/zenodo.20786519

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

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

ИЗМЕНЕНИЕ НЕКОТОРЫХ ХАРАКТЕРИСТИК МЕЛИОРАТИВНОГО СОСТОЯНИЯ ОРОШАЕМЫХ ЗЕМЕЛЬ КАРАКАЛПАКСТАНА В 2015–2025 гг. (НА ПРИМЕРЕ БЕРУНИЙСКОГО РАЙОНА)

Аннотация. *В статье рассмотрена динамика изменения мелиоративного состояния орошаемых земель Берунийского района Республики Каракалпакстан за 2015–2025 гг. Исследование основано на анализе данных по водозабору, минерализации оросительных и дренажно-сбросных вод, солевому балансу, степени засоленности почв и урожайности хлопчатника. Установлено, что объемы водозабора и показатели минерализации оросительных вод в различные годы существенно колебались, оказывая непосредственное влияние на процессы засоления земель и вымывания солей. В большинстве лет наблюдался отрицательный солевой баланс, что свидетельствует об эффективном функционировании коллекторно-дренажной сети. Наиболее благоприятное мелиоративное состояние отмечено в 2015–2017 гг., когда доля сильнозасоленных земель снизилась до 5%. Выявлена тесная корреляционная связь между мелиоративным состоянием земель и урожайностью хлопчатника. Установлено, что благодаря сокращению степени засолённости почв района урожайность хлопчатника увеличилась с 20,0 ц/га в 2015 г. до 50,9 ц/га в 2025 г. Значительное сокращение посевных площадей культуры на этом фоне не повлекло за собой снижение валового сбора хлопка-сырца.*

Ключевые слова: *Республика Каракалпакстан, Берунийский район, мелиоративное состояние, орошаемые земли, засоление почв, водно-солевой режим, урожайность хлопчатника, корреляционно-регрессионный анализ, коллекторно-дренажный сток.*

Chembarisov E.I.[1], Reimova G.B.[1], Balliev A.I.[2]

[1]Irrigation and Water Problems Research Institute, Tashkent, Uzbekistan
[2]International Center for Strategic Developments in Food and Agricultural Research (I-SCAD), Tashkent, Uzbekistan

CHANGES IN SOME CHARACTERISTICS OF THE MELIORATIVE CONDITION OF IRRIGATED LANDS IN KARAKALPAKSTAN DURING 2015–2025 (ON THE EXAMPLE OF BERUNIY DISTRICT)

Abstract. *This article examines the dynamics of changes in the meliorative status of irrigated lands in the Beruni district of the Republic of Karakalpakstan for 2015–2025. The study is based on an analysis of data on water intake, irrigation and drainage water mineralization, salt balance, soil salinity, and cotton yield. It was found that water intake volumes and irrigation water mineralization fluctuated significantly over the years, directly influencing land salinization and salt leaching. A negative salt balance was observed in most years, indicating the effective functioning of the collector and drainage network. The most favorable meliorative status was observed in 2015–2017, when the share of highly saline lands decreased to 5%. A close correlation was revealed between the meliorative status of lands and cotton yield. It was established that, thanks to a reduction in the degree of salinity of the region's soils, the cotton yield increased from 20.0 c/ha in 2015 to 50.9 c/ha in 2025. A significant reduction in the area sown with the crop against this background did not entail a decrease in the gross harvest of raw cotton.*

Key words: *Republic of Karakalpakstan, Beruni district, melioration status, irrigated lands, soil salinization, water-salt regime, cotton yield, correlation and regression analysis, collector and drainage flow.*

Введение и постановка проблемы. Орошаемое земледелие является основой сельскохозяйственного производства в аридных районах Республики Каракалпакстан [6, 11, 16]. Однако длительное использование орошаемых земель в условиях дефицита водных ресурсов, высокой испаряемости и слабой естественной дренированности территории способствует развитию процессов вторичного засоления почв и ухудшению мелиоративной обстановки территории [1, 7, 10]. Особенно остро данные проблемы проявляются в Берунийском районе, где эффективность сельскохозяйственного производства напрямую зависит от состояния коллекторно-дренажной сети и качества оросительных вод [7, 11].

В современных условиях изменения гидрологического режима, повышение минерализации оросительных и дренажных вод, а также климатические изменения оказывают существенное влияние на почвенно-мелиоративные процессы [8, 12, 15]. В связи с этим особую актуальность приобретает изучение многолетней динамики засоленности почв, солевого баланса и продуктивности сельскохозяйственных культур.

Изученность вопроса. Проблемы мелиоративного состояния орошаемых земель Республики Каракалпакстан, процессов вторичного засоления почв и изменения водно-солевого режима в условиях Южного Приаралья изучались и изучаются многими исследователями.

А.Ж. Арзымбетов исследовал вопросы улучшения эколого-мелиоративного состояния орошаемых почв Южного Приаралья на примере Ходжейлийского и Тахиаташского районов. В его работе [1] рассмотрены вопросы улучшения агрофизических свойств почв, повышения плодородия и применения ресурсосберегающих агротехнологий в условиях засоленных земель Южного Приаралья. М.М. Даулетмуратов проводил агрохимическое обследование почв и разработал информационно-аналитическую систему с использованием ГИС-технологий для оценки состояния орошаемых земель Каракалпакстана. В исследованиях автора [3] рассмотрены вопросы применения геоинформационных технологий при оценке агрохимического состояния почв и рационального использования земельных ресурсов. А.Б. Мирзамамбетов изучал эколого-мелиоративное состояние орошаемых земель Южного Каракалпакстана и пути улучшения мелиоративной обстановки территории на примере Берунийского района. В исследованиях автора [7] рассмотрены процессы вторичного засоления, динамика токсичных солей и особенности мелиоративного состояния орошаемых почв района. Ж.Б. Отеулиев исследовал оптимальные режимы орошения хлопчатника в почвенно-климатических условиях Республики Каракалпакстан. В частности, им установлено, что поддержание предполивной влажности почвы на уровне 60–80 % от ППВ способствует снижению процессов вторичного засоления и повышению урожайности хлопчатника [9]. Б.М. Георгиевский изучал гидрогеологические процессы и закономерности динамики грунтовых вод Южно-Хорезмского оазиса [2]. А.Ж. Исманов с соавторами [4] исследовали земельный фонд Республики Каракалпакстан и вопросы его рационального использования. Д.У. Исмайлов изучал вопросы совершенствования схем севооборотов в условиях засоленных земель Республики Каракалпакстан [5]. В.А. Ковда исследовал теоретические основы почвообразования, процессов засоления и мелиорации почв аридных территорий [6]. З.Ш. Наурызбаева исследовала процессы снижения плодородия засоленных почв Каракалпакстана, а также влияние экологического кризиса Приаралья на состояние земельных ресурсов региона [8]. Ф.Т. Отенова исследовала современные показатели засоленности почв Каракалпакстана с использованием ГИС-технологий и индекса NDSI для оценки деградации земель [10]. А.Р. Рамазанов и Ф.М. Рахимбаев изучали влияние

грунтовых вод на мелиоративное состояние орошаемых земель низовьев Амударьи и особенности формирования водно-солевого режима территории [11]. О.Г. Султашева исследовала влияние изменения климата на плодородие деградированных почв низовьев Амударьи [12]. А.Г. Файзуллаева изучала особенности засоленности почв отдельных районов Каракалпакстана и современные тенденции изменения почвенно-мелиоративных условий [13]. Б.У. Халмуратова исследовала оптимальные режимы орошения сельскохозяйственных культур в условиях маловодья Республики Каракалпакстан [14]. Э.И. Чембарисов и А.И. Баллиев привели сведения о многолетнем изменении уровней и минерализации грунтовых вод орошаемой зоны Республики Каракалпакстан, а также охарактеризовали особенности гидрологического и мелиоративного мониторинга территории [15]. Н. Шамуратова, К. Айтбаев исследовали почвенно-климатические особенности Каракалпакстана [16].

Несмотря на наличие многочисленных исследований, вопросы многолетней динамики мелиоративного состояния орошаемых земель Берунийского района, влияния водно-солевого баланса на урожайность сельскохозяйственных культур данной территории остаются недостаточно изученными, что обусловило необходимость проведения настоящего исследования.

Цель и задачи работы. Целью исследования является анализ многолетних изменений мелиоративного состояния орошаемых земель Берунийского района Республики Каракалпакстан и оценка их влияния на урожайность хлопчатника методом корреляционного анализа.

Основными задачами исследования явились:

– анализ динамики водозабора и солевого баланса орошаемых земель Берунийского района;

– оценка многолетних изменений площадей земель района с различной степенью засоленности почв;

– определение современных тенденций изменения мелиоративного состояния территории;

– исследование влияния мелиоративного состояния земель района на урожайность хлопчатника;

– анализ многолетнего изменения мелиоративного состояния орошаемых земель района посредством выявления корреляционной связи между перечисленными ирригационно-мелиоративными параметрами и урожайностью хлопчатника по годам.

Объектом исследования являются орошаемые земли Берунийского района Республики Каракалпакстан.

Предмет исследования составляет многолетнее изменение мелиоративного состояния орошаемых земель района и анализ его воздействия на урожайность хлопчатника.

Материалы и методы. Берунийский район расположен в южной части Республики Каракалпакстан и характеризуется преобладанием равнинного рельефа, слабой естественной дренированностью территории и близким залеганием минерализованных грунтовых вод. Основным источником орошения является река Амударья.

Климат территории резко континентальный и характеризуется жарким сухим летом и сравнительно холодной зимой. Среднегодовое количество атмосферных осадков составляет около 140 мм. Средняя температура воздуха в июле достигает +28,7 °С, а максимальная +43,9 °С. Высокая испаряемость и ограниченность водных ресурсов способствуют развитию процессов вторичного засоления почв.

Водохозяйственные условия района формируются под влиянием орошаемого земледелия, минерализованных грунтовых вод и работы коллекторно-дренажной сети. Минерализация оросительных вод в различные годы изменялась в пределах 0,8–1,4 г/л, а минерализация дренажно-сбросных вод — 3,4–5,4 г/л.

Материалами исследования послужили многолетние данные гидромелиоративного мониторинга Берунийского района за 2015-2025 гг. В работе использованы методы сравнительного анализа, статистической обработки, корреляционного анализа и оценки многолетней динамики показателей водно-солевого режима, степени засоленности почв и урожайности хлопчатника.

Результаты и их обсуждение. *Динамика водно-солевого баланса орошаемых земель Берунийского района.* Результаты исследования показали, что за 2015-2025 гг. мелиоративное состояние орошаемых земель Берунийского района изменялось неравномерно. Установлены значительные изменения объемов водозабора и минерализации оросительных вод, оказывающие непосредственное влияние на процессы засоления почв (табл. 1).

Таблица 1

Динамика показателей водно-солевого баланса орошаемых земель Берунийского района Республики Каракалпакстан за 2015-2025 гг.

Годы	Приходная часть		Поступление солей, тыс. тонн	Расходная часть			Вынос солей, тыс. тонн	Изменение количества солей, тыс. т
	Суммарный водозабор на орошение, млн м³	Минерализация оросительной воды, г/л		Сток дренажно-сбросных вод		Минерализация дренажно-сбросных вод, г/л		
				млн м³	км³			
2015	620,9	0,9	560,1	337,5	0,338	4,7	1574,8	-1014,72
2016	642,3	1,0	662,2	296,5	0,297	4,6	1374,3	-712,08
2017	653,1	1,0	632,8	352,8	0,353	5,0	1772,5	-1139,69
2018	518,8	1,1	553,6	225,0	0,225	4,9	1103,2	-549,60
2019	597,4	0,9	541,9	285,5	0,285	4,6	1304,2	-762,34
2020	654,6	1,0	686,7	212,2	0,212	5,0	1059,5	-372,77
2021	406,7	1,1	442,5	166,7	0,167	5,4	904,1	-461,64
2022	421,6	0,9	396,7	218,9	0,219	4,9	1083,1	-686,39
2023	508,6	0,9	435,6	190,9	0,191	4,3	823,0	-387,36
2024	469,7	1,0	446,6	200,6	0,201	4,0	798,7	-352,13
2025	484,8	0,9	424,3	163,1	0,163	4,7	763,4	-339,08

Таблица составлена авторами на основе материалов мелиоративной экспедиции Республики Каракалпакстан за 2015–2025 гг.

Динамика площадей в различной степени засоленных орошаемых земель. Динамика степени засоленности орошаемых земель Берунийского района за 2015-2025 гг. приведена в таблице 2. Общая площадь орошаемых земель за рассматриваемый период оставалась относительно стабильной и составляла около 33 тыс. га. Вместе с тем, структура засоленности земель существенно изменялась. Площадь незасоленных земель в 2015–2017 гг. составляла 11,30 тыс. га, или 34,0% общей площади орошаемых земель. Однако после 2018 г. наблюдается сокращение площади незасоленных земель до 7,25–8,44 тыс. га (21,6–25,1%), что указывает на ухудшение мелиоративного состояния территории. В 2025 г. площадь незасоленных земель вновь увеличилась до 11,31 тыс. га, что составляет 33,6% всей площади орошаемых земель района.

Площадь слабозасоленных земель в течение рассматриваемого периода изменялась в пределах 10,12–12,34 тыс. га. Наиболее высокие показатели отмечены в 2022–2023 гг., когда доля слабозасоленных земель достигала 36,7% общей площади орошаемых земель. Это свидетельствует о переходе части средне- и сильнозасоленных земель в более благоприятную категорию засоленности.

Среднезасоленные земли характеризовались сравнительно стабильными значениями — в пределах 30,0–33,0% общей площади. Наиболее благоприятные

показатели отмечены в 2015–2017 гг., когда доля среднезасоленных земель составляла около 30%.

Таблица 2

Многолетние изменения степени засоленности орошаемых земель Берунийского района Республики Каракалпакстан за 2015-2025 гг.

Годы	Общая орошаемая площадь, тыс. га	В том числе по степени засоленности:							
		незасоленные		слабозасоленные		среднезасоленные		сильнозасоленные	
		тыс. га	%	тыс. га	%	тыс. га	%	тыс. га	%
2015	33,02	11,30	34,0	10,12	31,0	9,93	30,0	1,66	5,0
2016	33,04	11,30	34,0	10,12	31,0	9,96	30,0	1,66	5,0
2017	33,11	11,30	34,0	10,12	31,0	10,02	30,0	1,66	5,0
2018	33,10	8,55	26,0	10,81	33,0	10,85	33,0	2,89	9,0
2019	33,10	8,55	26,0	10,81	33,0	10,85	33,0	2,89	9,0
2020	33,10	8,55	26,0	10,81	33,0	10,85	33,0	2,89	9,0
2021	33,62	7,25	21,6	12,28	36,5	11,06	32,9	3,04	9,0
2022	33,62	7,25	21,6	12,34	36,7	10,99	32,7	3,04	9,0
2023	33,61	7,25	21,6	12,34	36,7	10,98	32,7	3,04	9,0
2024	33,61	8,44	25,1	11,82	35,2	10,44	31,1	2,91	8,6
2025	33,60	11,31	33,6	11,81	33,3	10,33	30,7	0,78	2,3

Таблица составлена авторами на основе материалов мелиоративной экспедиции Республики Каракалпакстан за 2015–2025 гг.

Особенно важной является динамика сильнозасоленных земель. В 2015–2017 гг. их площадь составляла 1,66 тыс. га, или 5,0% общей площади орошаемых земель района. Однако, начиная с 2018 г., данный показатель увеличился до 2,89–3,04 тыс. га (8,6–9,0%), что указывает на ухудшение мелиоративной обстановки. В 2025 г. площадь сильнозасоленных земель сократилась до 0,78 тыс. га, или 2,3% от всех орошаемых земель района, что свидетельствует об улучшении состояния последних.

В целом, многолетняя динамика показывает, что наиболее благоприятная мелиоративная обстановка наблюдалась в 2015–2017 гг. и в 2025 г. В отдельные годы отмечалось ухудшение структуры засоленности, связанное с дефицитом водных ресурсов, изменением гидрогеологических условий и снижением эффективности промывных мероприятий.

Таблица 3

Динамика урожайности и валового сбора хлопка-сырца в Берунийском районе Республики Каракалпакстан за 2015–2025 гг.

Годы	Площадь хлопчатника (га)	Урожайность, в ц/га		Валовый сбор, т		% к плану
		план	факт	план	факт	
2015	13140	21,2	20,0	25375	26301	104
2016	12836	21,2	21,9	25375	28083	111
2017	11750	21,4	20,0	25120	26187	104
2018	10575	21,9	18,5	23165	19614	85
2019	10275	22,8	25,5	23465	26218	112
2020	10275	24,2	25,2	24880	25910	104
2021	10030	30,5	30,5	30550	30558	100
2022	9200	32,5	32,5	29905	29924	100
2023	9200	32,3	34,0	31258	30628	98
2024	9000	32,4	36,0	31000	32396	105
2025	8500	44,0	50,9	37390	43258	116

Таблица составлена авторами на основе статистических данных Министерства сельского хозяйства Республики Каракалпакстан за 2015-2025 гг.

Динамика урожайности хлопчатника. Сведения об изменении площади посевов хлопчатника, урожайности и валового сбора за 2015–2025 гг. приведены в таблице 3. За рассматриваемый период площадь посевов хлопчатника постепенно сокращалась — с 13,1 тыс. га в 2015 г. до 8,5 тыс. га в 2025 г. На этом фоне урожайность культуры демонстрировала устойчивую тенденцию роста. В 2015–2018 гг. фактическая урожайность хлопка-сырца изменялась в пределах 18,5–21,9 ц/га. Наиболее низкий показатель отмечен в 2018 г. – 18,5 ц/га, что было связано с ухудшением мелиоративного состояния земель и недостаточной водообеспеченностью.

Начиная с 2019 г., наблюдалось устойчивое повышение урожайности культуры. В 2021–2023 гг. фактическая её урожайность составила 30,5–34,0 ц/га, а в 2024–2025 гг. увеличилась до 36,0–50,9 ц/га. Наиболее высокий показатель урожайности был отмечен в 2025 г., когда урожайность хлопка-сырца достигла 50,9 ц/га.

Одновременно увеличивался и валовый сбор хлопка. Если в 2018 г. фактический валовый сбор составлял 19,6 тыс. т, то в 2025 г. он достиг 43,3 тыс. т, несмотря на сокращение площади посевов хлопчатника. Это свидетельствует о повышении эффективности сельскохозяйственного производства и продуктивности орошаемых земель.

Следует отметить, что в отдельные годы выполнение плановых показателей было сравнительно низким. Так, в 2018 г. выполнение плана составило 85 %, тогда как в 2019, 2024 и 2025 гг. показатели превысили плановые значения и достигли 105–116 %.

В целом, динамика урожайности хлопчатника показывает тесную взаимосвязь между улучшением состояния орошаемых земель и повышением эффективности сельскохозяйственного производства.

На основе показателей водно-солевого баланса (табл. 1), многолетней динамики засоленности земель (табл. 2) и урожайности хлопчатника (табл. 3) выполнен корреляционно-регрессионный анализ (табл. 4). Результаты корреляционно-регрессионного анализа показали наличие статистически выраженной связи между ирригационно-мелиоративными параметрами и урожайностью хлопчатника. Наиболее сильная отрицательная зависимость выявлена между долей сильнозасоленных земель и урожайностью культуры ($r = -0,76$; $p = 0,007$). Это свидетельствует о снижении продуктивности хлопчатника при ухудшении мелиоративного состояния орошаемых земель.

Таблица 4

Результаты корреляционно-регрессионного анализа связи мелиоративных показателей и урожайности хлопчатника (2015-2025 гг.)

Показатель	Pearson r	R^2	p-value
Доля сильнозасоленных земель (%)	−0,76	0,58	0,007
Доля незасоленных земель (%)	+0,63	0,40	0,037
Минерализация оросительной воды	−0,34	0,12	0,309
Солевой баланс	+0,69	0,47	0,019

Таблица рассчитана авторами по данным табл. 1–3 за 2015–2025 гг.

Для незасоленных земель установлена статистически значимая положительная связь ($r = +0,63$; $p = 0,037$), подтверждающая положительное влияние улучшения почвенно-мелиоративных условий на продуктивность сельскохозяйственного производства. Между солевым балансом и урожайностью также выявлена выраженная положительная зависимость ($r = +0,69$; $p = 0,019$), тогда как минерализация оросительной воды показала сравнительно слабую отрицательную связь ($r = -0,34$; $p > 0,05$).

Полученные зависимости дополнительно визуализированы на рис.1. Графический анализ подтверждает наличие сильной отрицательной связи между долей сильнозасоленных земель и урожайностью хлопчатника, а также положительной

зависимости между увеличением площади незасоленных земель и продуктивностью сельскохозяйственного производства.

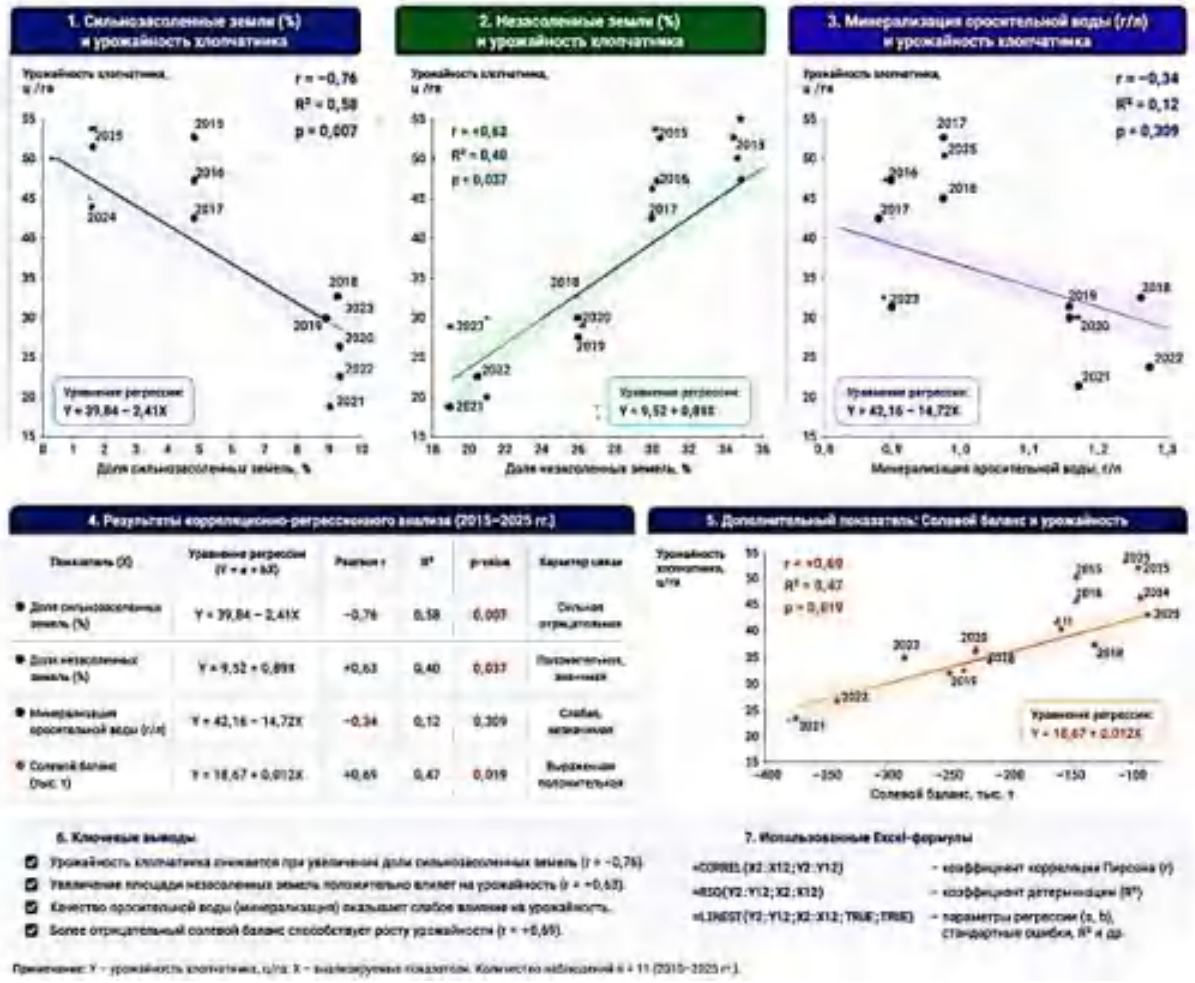


Рис. 1. Корреляционно-регрессионные зависимости между ирригационно-мелиоративными показателями и урожайностью хлопчатника (на фрагментах 1,2,3,4,5,6,7) в Берунийском районе Республики Каракалпакстан за 2015–2025 гг.

Графики рассчитаны авторами по данным таблиц 1–3.

Практические рекомендации по улучшению мелиоративного состояния. Полученные результаты корреляционно-регрессионного анализа показали, что наиболее существенное влияние на урожайность хлопчатника оказывают степень засоленности земель и показатели водно-солевого режима территории. В связи с этим для улучшения состояния орошаемых земель Берунийского района рекомендуется повышение эффективности функционирования коллекторно-дренажной сети, проведение своевременных промывных мероприятий на засоленных землях и рациональное использование оросительных вод.

Особое внимание необходимо уделять сокращению площади сильнозасоленных земель, поскольку статистический анализ выявил сильную отрицательную связь между данным показателем и урожайностью хлопчатника (r = −0,76). Одновременно целесообразно расширение площадей незасоленных земель за счёт совершенствования агромелиоративных мероприятий, что способно положительно влиять на продуктивность сельскохозяйственного производства.

В целях предотвращения процессов вторичного засоления рекомендуется осуществлять регулярный мониторинг уровня и минерализации грунтовых вод, степени засоленности почвенного покрова и показателей солевого баланса территории. Необходимо внедрение водосберегающих технологий орошения, снижение потерь воды

при транспортировке и распределении, а также повышение эффективности использования земельных и водных ресурсов.

Реализация указанных мероприятий позволит улучшить мелиоративное состояние орошаемых земель, повысить урожайность хлопчатника и обеспечить устойчивое развитие сельскохозяйственного производства в условиях Южного Приаралья.

Выводы. В результате проведенного исследования установлено, что мелиоративная обстановка орошаемых земель Берунийского района за 2015–2025 гг. характеризовалась значительными изменениями водно-солевого режима и степени засоленности почв. В большинстве лет наблюдался отрицательный солевой баланс, свидетельствующий о преобладании процессов вымывания солей с территории района. Наиболее благоприятное мелиоративное состояние отмечено в 2015–2017 гг., когда произошло сокращение площади сильнозасоленных земель и увеличение доли незасоленных почв.

Установлено, что улучшение мелиоративного состояния земель способствовало повышению урожайности хлопчатника. Несмотря на сокращение посевных площадей, урожайность культуры увеличилась с 20,0 ц/га в 2015 г. до 50,9 ц/га в 2025 г.

Проведены исследования многолетнего изменения мелиоративного состояния орошаемых земель по выявлению связи между перечисленными ирригационно-мелиоративными параметрами и урожайностью хлопчатника по годам, на основе выполненного корреляционного анализа.

Для незасоленных земель установлена статистически значимая положительная связь ($r = +0,63$; $p = 0,037$), подтверждающая положительное влияние улучшения почвенно-мелиоративных условий на продуктивность сельскохозяйственного производства. Между солевым балансом и урожайностью также выявлена выраженная положительная зависимость ($r = +0,69$; $p = 0,019$), тогда как минерализация оросительной воды показала сравнительно слабую отрицательную связь ($r = −0,34$; $p > 0,05$).

Полученные результаты подтверждают необходимость дальнейшего совершенствования мелиоративных мероприятий, рационального использования водных ресурсов и повышения эффективности орошаемого земледелия в условиях Южного Приаралья.

Использованная литература:

1. Арзымбетов А.Ж. Улучшение эколого-мелиоративного состояния и плодородия орошаемых почв Южного Приаралья (на примере Ходжейлийского и Тахиаташского районов): автореф. дисс. ... д. ф. (PhD) с-х. н. Ташкент, 2022. 43 с.
2. Георгиевский Б.М. Гидрогеологические процессы и основные закономерности динамики грунтовых вод в Южно-Хорезмском оазисе // Материалы по гидрогеологии и инженерной геологии УзССР. Вып. 1. Ташкент, 1935. С. 62-74.
3. Даулетмуратов М.М. Агрохимическое обследование почв и разработка информационно-аналитической системы с использованием ГИС-технологий (на примере орошаемых почв Тактакупырского тумана Республики Каракалпакстан): автореф. дисс. ... д. ф. (PhD) с-х. н. Ташкент, 2021. 44 с.
4. Исманов А.Ж., Каттаева Г.Н. и др. Земельный фонд почв Республики Каракалпакстан и их рациональное использование // Материалы международной научно-практической конференции, посвященной 90-летию почвоведения на Урале. Уфа, 2021. С. 25-32.
5. Исмайлов Д.У. Разработка короткоротационных схем севооборотов, повышающих плодородие почвы в условиях засоленных земель (в условиях Республики Каракалпакстан): автореф. дисс. ... д. ф. (PhD) с-х. н. Ташкент, 2021. 35 с.
6. Ковда В.А. Основы учения о почвах. Москва: Наука, 1973. 447 с.
7. Мирзамамбетов А.Б. Эколого-мелиоративное состояние орошаемых почв Южного Каракалпакстана и их улучшение (на примере Берунийского района): автореф. дисс. ... д. ф. (PhD) с-х. н. Ташкент, 2022. 46 с.

8. Наурызбаева З.Ш. Анализ деградированных почв в условиях Каракалпакстана // Universum: химия и биология. 2021. № 9(87). URL: https://7universum.com/ru/nature/archive/item/12251

9. Отеулиев Ж.Б. Разработка оптимальных режимов орошения сортов хлопчатника в почвенно-климатических условиях Республики Каракалпакстан: автореф. дисс. ... д. ф. (PhD) с-х. н. Ташкент, 2021. 44 с.

10. Отенова Ф.Т. Проблемы засоления почв орошаемых земель Южного Приаралья // Universum: химия и биология. 2024. № 12(126). URL: https://7universum.com/ru/nature/archive/item/18795

11. Рамазанов А.Р., Рахимбаев Ф.М. Грунтовые воды и мелиоративное состояние орошаемых земель низовьев Амударьи. Нукус: Каракалпакстан, 1988. 214 с.

12. Султашева О.Г. Оценка влияния изменения климата на плодородие деградированных почв нижнего течения Амударьи: автореф. дисс. ... д. (DSc) с.-х.н. Ташкент, 2025. 62 с.

13. Файзуллаева А.Г. Изучение засоленности некоторых почв районов Каракалпакстана // Среднеазиатский журнал теоретических и прикладных наук. 2021. Т. 2. № 9. С. 90–94.

14. Халмуратова Б.У. Разработка оптимального режима орошения основных культур в условиях маловодья (на примере Республики Каракалпакстан): автореф. дисс. ... д. ф. (PhD) с-х. н. Ташкент, 2021. 46 с.

15. Чембарисов Э.И., Баллиев А.И. Общая характеристика залегания грунтовых вод орошаемой зоны Республики Каракалпакстан // Вестник мелиоративной науки. 2025. № 2. С. 42–51.

16. Шамуратова Н., Айтбаев К., Шамуратова Н. Каракалпакстан: почвенно-климатические особенности // O‘zbekiston qishloq xo‘jaligi. 2009. № 10. С. 33–34.

References:

1. Arzymbetov A.Zh. (2022), *Improvement of ecological and meliorative condition and fertility of irrigated soils of the Southern Aral Sea region (on the example of Khojeyli and Takhiatash districts): abstract of diss. ... PhD in agricultural sciences*, Tashkent, 43 p. (In Russ.).

2. Georgievskiy B.M. (1935), Hydrogeological processes and basic regularities of groundwater dynamics in the South Khorezm oasis, *Materials on hydrogeology and engineering geology of the Uzbek SSR*, issue 1, Tashkent. pp. 62–74. (In Russ.).

3. Dauletmuratov M.M. (2021), *Agrochemical soil survey and development of an information-analytical system using GIS technologies (on the example of irrigated soils of Takhtakupyr district of the Republic of Karakalpakstan): abstract of diss. ... PhD in agricultural sciences*, Tashkent, 44 p. (In Russ.).

4. Ismanov A.Zh., Kattaeva G.N. et al. (2021), Soil land fund of the Republic of Karakalpakstan and their rational use, *Materials of the international scientific-practical conference dedicated to the 90th anniversary of soil science in the Urals*, Ufa, pp. 25–32. (In Russ.).

5. Ismailov D.U. (2021), *Development of short-rotation crop rotation schemes increasing soil fertility under saline land conditions (in the conditions of the Republic of Karakalpakstan): abstract of diss. ... PhD in agricultural sciences*, Tashkent, 35 p. (In Russ.).

6. Kovda V.A. (1973), *Fundamentals of soil science*, Moscow, Nauka, 447 p. (In Russ.).

7. Mirzamambetov A.B. (2022), *Ecological and meliorative condition of irrigated soils of Southern Karakalpakstan and their improvement (on the example of Beruniy district): abstract of diss. ... PhD in agricultural sciences*, Tashkent, 46 p. (In Russ.).

8. Nauryzbaeva Z.Sh. (2021), Analysis of degraded soils in the conditions of Karakalpakstan, *Universum: Chemistry and Biology*, no. 9(87). (In Russ.). URL: https://7universum.com/ru/nature/archive/item/12251

9. Oteuliev Zh.B. (2021), *Development of optimal irrigation regimes for cotton varieties in the soil-climatic conditions of the Republic of Karakalpakstan: abstract of diss. ... PhD in agricultural sciences*, Tashkent, 44 p. (In Russ.).

10. Otenova F.T. (2024), Problems of soil salinity of irrigated lands in the Southern Aral Sea region, *Universum: Chemistry and Biology*, no. 12(126). (In Russ.). URL: https://7universum.com/ru/nature/archive/item/18795

11. Ramazanov A.R., Rakhimbaev F.M. (1988), *Groundwater and meliorative condition of irrigated lands in the lower reaches of the Amu Darya*, Nukus, Karakalpakstan, 214 p. (In Russ.).

12. Sultasheva O.G. (2025), *Assessment of climate change impact on fertility of degraded soils in the lower reaches of the Amu Darya: abstract of diss. ... DSc in agricultural sciences*, Tashkent, 62 p. (In Russ.).

13. Fayzullaeva A.G. (2021), Study of salinity of some soils in the districts of Karakalpakstan, *Central Asian Journal of Theoretical and Applied Sciences*, vol. 2, no. 9, pp. 90–94. (In Russ.).

14. Khalmuratova B.U. (2021), *Development of the optimal irrigation regime for major crops under water scarcity conditions (on the example of the Republic of Karakalpakstan): abstract of diss. ... PhD in agricultural sciences*, Tashkent, 46 p. (In Russ.).

15. Chembarisov E.I., Balliev A.I. (2025), General characteristics of groundwater occurrence in the irrigated zone of the Republic of Karakalpakstan, *Bulletin of Meliorative Science*, no. 2, pp. 42–51. (In Russ.).

16. Shamuratova N., Aitbaev K., Shamuratova N. (2009), Karakalpakstan: soil and climatic features, *Agriculture of Uzbekistan*, No. 10, pp. 33–34. (In Russ.).

Сведения об авторах:

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

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

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

Information about the authors:

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

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

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

Для цитирования:

Чембарисов Э.И., Реймова Г.Б., Баллиев А.И. Изменение некоторых характеристик мелиоративного состояния орошаемых земель Каракалпакстана в 2015-2025 гг. (на примере Берунийского района) // Центральноазиатский журнал географических исследований. 2026. № 1-2. С. 30-39.

For citation:

Chembarisov E.I., Reimova G.B., Balliev A.I. (2026), Changes in some characteristics of the meliorative condition of irrigated lands in Karakalpakstan during 2015–2025 (on the example of Beruniy district), *Central Asian Journal of Geographical Researches*, No. 1-2, pp. 30-39. (In Russ.).

ЭКОНОМИЧЕСКАЯ И СОЦИАЛЬНАЯ ГЕОГРАФИЯ

ECONOMIC AND SOCIAL GEOGRAPHY

UDC 913 (574) https://doi.org/10.5281/zenodo.20786467

Celtikoglu S. [1,2,3], Cankurt M.[4], Reck A.[2], Oskenbayev Y.[5], Thomas T.[4]

[1]Independent Institute for Environmental Issues (UfU e.V.), Berlin, Germany
[2]Leibniz Institute of Agricultural Development in Transition Economies (IAMO), Halle (Saale), Germany
[3]Humboldt-Universität zu Berlin, Berlin, Germany
[4]North Carolina Agricultural and Technical State University, North Carolina, USA
[5]Narxoz University, Almaty, Kazakhstan

A DATA-DRIVEN SPATIAL TYPOLOGY OF AGRICULTURAL REGIONS IN KAZAKHSTAN: A PCA AND AFFINITY PROPAGATION APPROACH

Abstract. *This article develops a spatial typology of agricultural regions in Kazakhstan using principal component analysis and affinity propagation clustering. The study covers 16 territorial units and draws on regional data for 2015–2023, including demographic, climatic, geographic, and agricultural indicators. In the optimized four-variable PCA used for the main clustering stage, the first two principal components explained 99% of the variance. The analysis identified three interpretable clusters: lower-intensity dryland-oriented regions, high-capacity grain regions, and a distinct southern cluster with a differentiated production profile. The resulting typology provides a transparent regional classification that supports regional comparison and differentiated planning in Kazakhstan.*

Key words: *Kazakhstan, agricultural regionalization, spatial typology, principal component analysis, affinity propagation, regional planning, agricultural geography.*

Челтикоглу С. [1,2,3], Джанкурт М.[4], Рек А.[2], Оскенбаев Е.[5], Томас Т.[4]

[1]Независимый институт экологических проблем (UfU e.V.), Берлин, Германия
[2]Институт сельскохозяйственного развития в странах с переходной экономикой имени Лейбница (IAMO), Халле (Заале), Германия
[3]Гумбольдтский университет в Берлине, Берлин, Германия
[4]Государственный сельскохозяйственный и технический университет Северной Каролины, Северная Каролина, США
[5]Университет Нархоз, Алматы, Казахстан

ПРОСТРАНСТВЕННАЯ ТИПОЛОГИЯ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ РЕГИОНОВ КАЗАХСТАНА, ОСНОВАННАЯ НА ДАННЫХ: ПОДХОД С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МЕТОДА ГЛАВНЫХ КОМПОНЕНТ И РАСПРОСТРАНЕНИЯ СХОДСТВА

Аннотация. *В статье разработана пространственная типология сельскохозяйственных регионов Казахстана с использованием метода анализа главных компонентов и кластеризации методом распространения сходства. Исследование охватывает 16 территориальных единиц и основано на региональных данных за 2015–2023 годы, включая демографические, климатические, географические и сельскохозяйственные показатели. В оптимизированном четырехфакторном анализе главных компонентов, использованном на этапе основной кластеризации, первые два главных компонента объяснили 99% дисперсии. Анализ выявил три интерпретируемых кластера: регионы с низкой интенсивностью засушливых земель, регионы с высокой производительностью зерновых культур и отдельный южный кластер с дифференцированным профилем производства. Полученная типология обеспечивает*

прозрачную региональную классификацию, которая поддерживает региональное сравнение и дифференцированное планирование в Казахстане.

Ключевые слова: *Казахстан, сельскохозяйственное районирование, географическая типология, анализ главных компонентов, группировка по сходству, региональное планирование, география сельского хозяйства.*

Introduction and problem statement. Agricultural planning in large countries is fundamentally a spatial problem. When regional differences in production structure, environmental conditions, and settlement patterns are collapsed into national averages, planning instruments become less effective because they are applied to territories that do not share the same constraints or development potentials [1,2,8]. From a regional geographic perspective, the central challenge is therefore not only to describe territorial variation, but to identify spatially meaningful regional groupings that can support differentiated resource planning and allocation.

Study of the problem. Existing approaches to agricultural regionalization broadly fall into two categories. The first includes expert-based agro-ecological frameworks, such as AEZ and GAEZ, which provide valuable benchmarks for broad-scale land suitability and production potential [6]. The second includes data-driven regional typologies that use multivariate statistics and clustering to identify similarities among territorial units on the basis of observed characteristics [12,13,16]. The first approach is strong in biophysical standardization, whereas the second is better suited to detecting subnational heterogeneity in realized agricultural structure. For geographically extensive countries with strong internal variation, the two approaches should be understood as complementary rather than competing.

Kazakhstan provides a compelling case for such an analysis. As one of the world's largest countries, it contains major contrasts between northern grain-producing regions, arid and semi-arid dryland territories, and more diversified southern production systems. Although these broad contrasts are widely recognized, a transparent and reproducible region-level typology that integrates agricultural, climatic, geographic, and demographic information remains limited in the national literature. Existing studies are often sector-specific, environmentally narrow, or geographically restricted to selected parts of the country [3,15].

The aim and objectives of the work. The aim of this study is to develop a data-driven spatial typology of agricultural regions in Kazakhstan using principal component analysis and affinity propagation clustering. The specific objectives are: (1) to assemble a comparable regional dataset covering demographic, climatic, geographic, and agricultural indicators for 2015–2023; (2) to identify interpretable regional clusters based on the main dimensions of agricultural differentiation; and (3) to assess how the resulting typology can support regional comparison and differentiated planning discussions.

This article addresses that gap by developing a data-driven spatial typology of Kazakhstan's agricultural regions using principal component analysis (PCA) and affinity propagation (AP) clustering. The objective is not to propose a new agro-ecological theory, but to construct an empirically grounded regional classification that can support comparison across territories and inform regionally differentiated planning. In this sense, the article uses geographic methods to address practical problems of spatial differentiation, regional comparison, and territorial planning.

The article makes three specific contributions. First, it provides a transparent region-level classification of agricultural heterogeneity across Kazakhstan. Second, it demonstrates how a parsimonious PCA–AP workflow can be used to generate interpretable regional clusters in a data-constrained setting. Third, it shows how these clusters can serve as a spatial baseline for differentiated planning discussions in relation to grain-system concentration, production intensity, and broader territorial variation. More broadly, the study shows how geographically informed typologies can convert familiar regional contrasts into an operational framework for comparison and planning. The object of the study is the regional agricultural geography of

Kazakhstan as represented by 16 territorial units under the stable pre-2022 administrative configuration. The subject of the study is the spatial differentiation of agricultural production structures and their broader demographic, climatic, and geographic context as captured through the selected indicator set.

Materials and methods. This study develops a region-level spatial typology of agricultural production structures in Kazakhstan. The clustering sample consists of 16 territorial units drawn from the stable pre-2022 reporting geography: 13 regions plus the three republican cities of Astana, Almaty, and Shymkent. Mangystau is excluded from the clustering sample because agriculture occupies a comparatively marginal position in its regional economic structure and because its inclusion would contribute limited interpretive value to a production-oriented typology while increasing structural asymmetry within the analytical sample. The exclusion is therefore methodological rather than territorial: Mangystau is not omitted from the geography of Kazakhstan as such, but from the clustering model used to derive comparable agricultural production profiles. Newly established regions created in 2022 (Abai, Ulytau, and Zhetysu) are presented descriptively where relevant but are not included in the clustering model so that the analytical sample remains temporally consistent over 2015–2023.

The analytical objective is to derive an information-dense representation of regional agricultural heterogeneity from multiple correlated indicators and to identify territorially meaningful clusters without imposing conventional administrative groupings on the results. The workflow combines data harmonization, dimensionality reduction, clustering, and post hoc interpretation of the resulting regional patterns.

Data. The empirical basis of the study is an annual region-level dataset covering the period 2015–2023. For the purposes of clustering, these data are not used to model temporal trajectories directly; instead, they are harmonized and aggregated into comparable regional profiles that capture average structural characteristics over the observation period. The inferential logic of the study is therefore cross-sectional rather than longitudinal. Twelve indicators were assembled to capture key dimensions of regional variation, including agricultural scale, production structure, demographic context, and selected climatic and geographic conditions. Definitions, units, and sources are reported in Appendix A, Table A2.

The dataset combines official agricultural and demographic statistics from KazStat with climatic and geographic information obtained from Kazhydromet, NASA, FAO, and OECD-related sources.

Variables, units, and preprocessing. All indicators were harmonized in terms of definition, unit, temporal aggregation, spatial aggregation, and transformation. The observation window is 2015–2023, and the clustering inputs were constructed from region-level means or totals, as appropriate. Units were standardized across the dataset, including wheat production (10^3 t), precipitation (mm/year), mean daily sunshine duration (h/day), temperature (°C), agricultural land area (ha), and production value (million KZT). This standardization was carried through to all figures and tables to avoid ambiguity in interpretation.

The raw data underwent a structured preprocessing pipeline. First, missing values within each region's 2015–2023 series were imputed using forward-fill and linear interpolation, never across regions. Second, potential outliers were identified using the Tukey rule (1.5 × IQR), and variables were winsorized at p1–p99 on the region-year panel used to construct the clustering sample (16 regions × 9 years = 144 observations before missingness). Third, all clustering inputs were standardized as z-scores prior to PCA, while min–max normalization was used only for map visualization.

Treatment of post-2022 administrative changes. To preserve temporal comparability, the clustering analysis uses the stable territorial configuration that was consistently reported over most of the 2015–2023 period. The post-2022 administrative units Abai, Ulytau, and Zhetysu are therefore not included in the clustering model. Where these units appear in descriptive appendix materials, they are shown only for contextual reference and are not used in estimating the PCA or affinity propagation solution.

Analytical framework. The analytical design follows the ISAC framework—Identification, Segmentation, and Characterization—as a structured way of moving from regional data assembly to interpretable territorial groupings [18]. In the Identification stage, candidate variables were screened, harmonized, and reduced to a set of twelve indicators suitable for region-level comparison. In the Segmentation stage, dimensionality reduction was conducted through principal component analysis, followed by affinity propagation clustering. In the Characterization stage, the resulting clusters were interpreted in relation to their agricultural structure, environmental context, and planning relevance.

PCA was used to reduce multicollinearity, preserve the main variance structure of the dataset, and generate a lower-dimensional feature space suitable for clustering. Indicators were winsorized and standardized before PCA. The main specification uses the first two principal components (PC1–PC2) because they offer a parsimonious and interpretable representation of regional variation. As sensitivity checks, additional PCA spaces based on PC1–PC3 and PC1–PC4 were also examined.

Affinity propagation was then applied to the PCA scores. Similarity between regions was defined using negative squared Euclidean distance, $s(i,k) = -||x_i - x_k||^2$, where x_i and x_k denote the PCA coordinates of regions i and k. Although affinity propagation does not require the analyst to pre-specify the number of clusters, the number of resulting exemplars is sensitive to the preference parameter. We therefore treat cluster number as data-guided but analyst-conditioned rather than fully automatic.

In the main specification, the preference parameter was set to -10 because this value produced the most stable and substantively interpretable three-cluster solution across repeated runs and alternative PCA spaces. The damping parameter was set to 0.90, the maximum number of iterations to 1000, and the convergence criterion to 50 iterations with a fixed random seed. This parameterization was chosen to prioritize stability, interpretability, and geographical readability at the regional scale.

Unless otherwise noted, clustering is performed in the PC1–PC2 space derived from an optimized four-variable PCA including annual production value, annual wheat production, agricultural land area, and number of agricultural enterprises. This reduced specification is intentionally production-centered: it is designed to capture the core structure of regional agricultural output and enterprise organization in a parsimonious form. The broader twelve-variable PCA is retained for contextual interpretation and visualization, but it does not define the main cluster solution. Accordingly, the resulting clusters should be interpreted as production-oriented regional groupings that are subsequently discussed in relation to broader territorial conditions, rather than as direct agro-environmental classes.

Justification of methods. The choice of PCA and affinity propagation reflects the geometry of the data and the exploratory purpose of the study. High-dimensional agricultural datasets typically contain correlated indicators, and in such settings the discriminatory value of distance measures tends to decline—a problem widely described as the curse of dimensionality [19]. PCA addresses this issue by transforming the original variables into a smaller set of orthogonal components that preserve the dominant variance structure while improving interpretability [4,10,11].

For the clustering step, the relevant issue is that the number of meaningful regional groups is not known a priori. Affinity propagation was selected because it identifies exemplars directly from pairwise similarities and does not require a fixed cluster count in advance [5]. By contrast, k-means requires a pre-specified k and is sensitive to initialization [1], hierarchical clustering often yields subjective cut-off decisions and uneven group sizes [20], and DBSCAN is highly sensitive to parameter settings in small and structured datasets [7]. For the present study, the main value of affinity propagation lies in its ability to produce an interpretable regional partition without forcing a conventional k-based solution from the outset.

Taken together, these choices provide a transparent workflow for constructing a region-level spatial typology from correlated agricultural data. The contribution of the method lies less

in methodological novelty per se than in its ability to produce a geographically meaningful and empirically grounded classification for a large and internally heterogeneous country.

Validation. Validation in this study is primarily internal and comparative rather than predictive. First, cluster cohesion and separation were assessed in the main PC1–PC2 space using the Silhouette coefficient, the Davies–Bouldin index, and the Calinski–Harabasz index. Second, the three-cluster pattern was compared with alternative partitioning methods—k-means, Ward's hierarchical clustering, and PAM—to evaluate whether the broad regional structure was algorithm-specific or more generally stable. In this context, the preference value of −10 should be understood as an analyst-conditioned modeling choice aimed at obtaining a stable and geographically interpretable three-cluster solution, not as an automatic or uniquely determined parameter value.

Third, the resulting geography was interpreted against well-established contrasts in Kazakhstan's agricultural landscape, including the northern grain belt, lower-intensity dryland territories, and more diversified southern production systems. This strategy does not constitute external causal validation, and the results should therefore be interpreted as an empirically grounded regional typology rather than a predictive model. Its purpose is to test whether the classification is internally coherent, geographically plausible, and useful for regional comparison.

Results and its discussion. *Identification.* The first stage of the ISAC Analytical Process involves the systematic identification of the key variables to be used in the study, along with their corresponding data sources. This step aims to ensure the selection of indicators consistent with the conceptual framework of the research and to integrate heterogeneous data types into a coherent structure. In particular, the accurate definition of demographic, climatic, geographical, and production-related indicators is of critical importance for the classification of agricultural production regions. Therefore, the Identification stage should not be understood merely as a process of data collection, but rather as a strategic step that directly affects the reliability of the research and the robustness of subsequent analyses. In this section, some basic descriptive statistics of the variables are presented. The variables used in the analysis are grouped in Table 1.

Table 1

Variable groups used in the analysis (overview)

ID	Variables	Parameter Name
1	Demographic	Total Area
2		Population
3		Population Density
4	Agricultural	Agricultural Land Area
5		Number of Agricultural Enterprises
6		Agricultural Land per Enterprise
7		Annual Production Value
8		Annual Wheat Production
9	Climatic	Annual Average Temperature
10		Annual Precipitation
11		Annual Average Sunshine Duration
12	Geographic	Geographic Elevation

Note: The full data dictionary with precise definitions and units is provided in Appendix Table A2.

Table B1 (see Appendix B) presents the 12 demographic, climatic, geographic, and agricultural variables across the territorial units included for descriptive comparison. The wide ranges and substantial standard deviations across several indicators confirm that Kazakhstan exhibits pronounced internal heterogeneity rather than a uniform regional structure.

Segmentation. Principal Component Analysis (PCA) Results. Variance Explanation and Scree Plot. The PCA results demonstrate the explanatory power of the variables used in classifying Kazakhstan's agricultural production regions. The Scree Plot in Figure C1 (see Appendix C) shows that the first two components (PC1: 40%, PC2: 24%) account for 64% of the total variance, indicating that regional differences are largely captured by these components. While the inclusion of the third and fourth components increases the explained variance to nearly 80%, the contribution becomes marginal from the fifth component onward. The Elbow Criterion suggests that the additional information gained beyond the second component is limited, thereby confirming that PC1 and PC2 are sufficient for the dimensionality reduction process [9,11,14].

In summary, the results confirm that PCA reduces data dimensionality while retaining the main distinctions among agricultural regions, thereby providing a coherent basis for the subsequent biplot analysis.

Biplot Analysis of PCA. The biplot visualizes the first two principal components of PCA by jointly displaying observation scores and variable loading vectors, enabling interpretation of variable–region relationships [11,12]. In our results (Figure 1), PC1 loads strongly on agricultural land area, annual production value, wheat production, and the number of agricultural enterprises—capturing production capacity—whereas PC2 loads on average temperature, precipitation, and elevation—capturing environmental and geographic conditions.

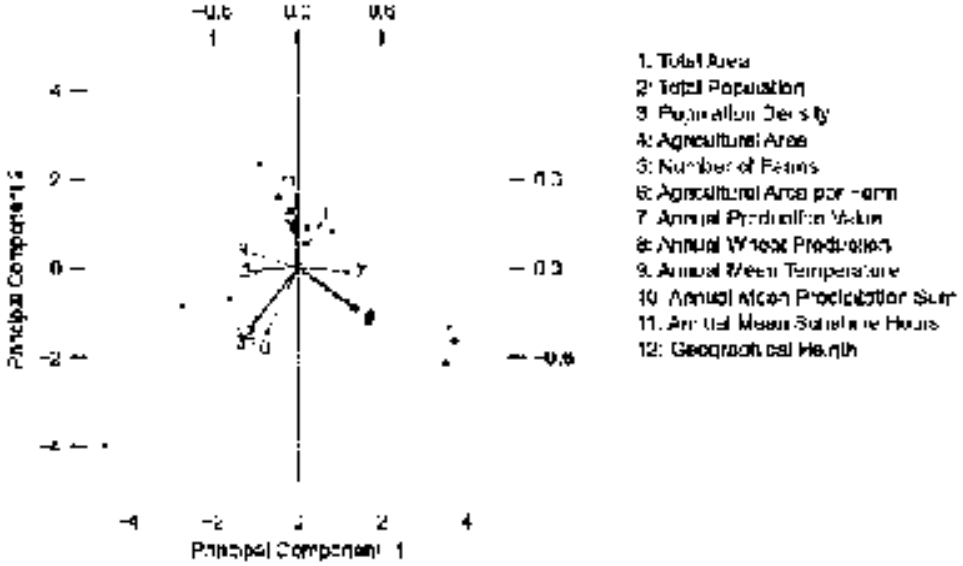


Figure 1. PCA biplot showing the first two principal components (64% cumulative variance)

Note: vectors represent variable loadings, and points indicate regional scores, revealing gradients in production capacity and climatic conditions.

In the second analysis, optimized by excluding certain variables (see Appendix C, Figure C2), only four agricultural variables ("annual production value," "annual wheat production," "agricultural land area," and "number of agricultural enterprises") were retained, with the first two components explaining 99% of the total variance. This exceptionally high proportion confirms the adequacy of the first two components for dimensionality reduction and the concentration of loadings in the Biplot.

The second biplot (Figure 2) more clearly illustrates the positions of these four variables within the PCA framework, thereby facilitating visual comparison of production patterns across regions.

The thematic maps (see Appendix C, Figure C3) depict the spatial distribution of these variables across Kazakhstan, revealing that the highest production values are concentrated in North Kazakhstan, Akmola, and Kostanay, while other regions exhibit diverse combinations.

Additionally, the spatial maps of all 12 variables (see Appendix C, Figure C4) visualize regional differences in agricultural production, climate, and topography.

The biplot analyses improve the comparative interpretation of regional differences by showing how production, climatic, and geographic indicators are distributed across the national territory. However, the main clustering solution is based on the optimized four-variable PCA representation, while the broader twelve-variable PCA is retained only for contextual interpretation and visualization.

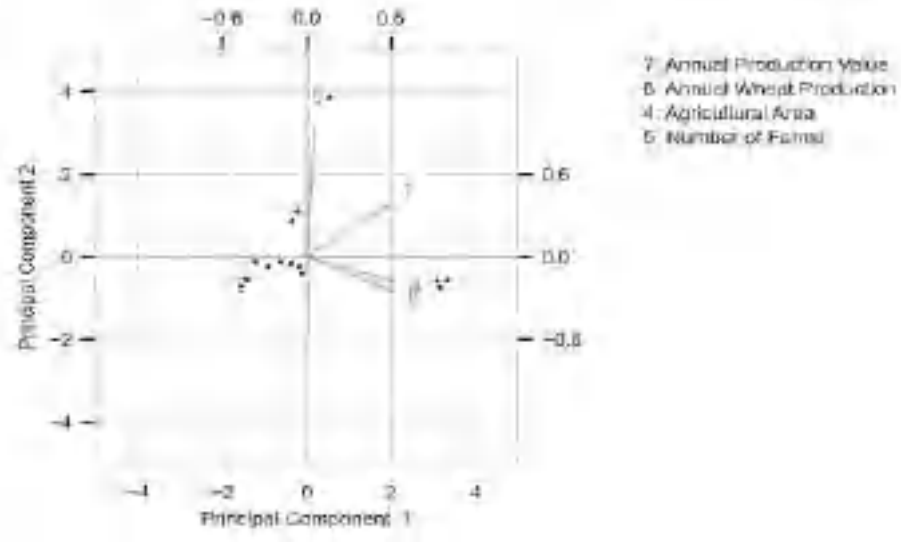


Figure 2. PCA Biplot of the four core agricultural variables

Note: arrows represent variable loading vectors, and points indicate regional scores on the first two components.

Cluster Analysis with Affinity Propagation (AP). The classification of agricultural production regions based on their shared characteristics is useful for regional comparison and for structuring differentiated planning discussions.

In this study, the Affinity Propagation (AP) clustering method was employed to classify Kazakhstan's agricultural production regions. AP performs clustering by considering pairwise similarities among data points and does not require the number of clusters to be specified in advance [5]. While AP does not require an explicit pre-specification of k, the preference parameter influences the number of exemplars and was tuned for stability and interpretability.

Table 2

AP settings and PC spaces used in clustering. Unless otherwise noted, we set similarity to −euclidean², set preference to a fixed value (preference = −10) to obtain a stable and substantively interpretable three-cluster solution, and used damping = 0.90; maximum iterations = 1000; convergence iterations = 50; random seed fixed for reproducibility

PCs used	Similarity	Preference	Damping	Max iter	Conv iter	Random seed	Resulting clusters (k)
PC1–PC2 (main)	−euclidean²	−10	0.90	1000	50	fixed	3 (consistent)
PC1–PC3 (sensitivity)	−euclidean²	median(s)	0.90	1000	50	fixed	—
PC1–PC4 (sensitivity)	−euclidean²	median(s)	0.90	1000	50	fixed	—

Note: PC1–PC2 is the main specification and yields three clusters (see Figure 3). Sensitivity runs with PC1–PC3/PC1–PC4 produced qualitatively similar cluster patterns and are omitted for brevity.

The first and second principal components (PC1 and PC2) derived from the optimized PCA results were used as inputs for the AP clustering analysis. Unless otherwise noted, AP clustering uses the PC1–PC2 scores from the four-variable PCA based on annual production value, annual wheat production, agricultural land area, and number of agricultural enterprises. This specification is intentionally focused on production structure and does not claim to represent the full agricultural-environmental complexity of Kazakhstan's regions. The broader twelve-variable PCA is reported separately for contextual interpretation and visualization.

Figure 3 shows cluster structure in the PC1–PC2 space; the spatial distribution of clusters is mapped in Figure 4.

Blue (Cluster 1) – Lower-intensity dryland-oriented regions.

Green (Cluster 2) – High-capacity grain regions.

Red (Cluster 3) – Distinct southern regions with a differentiated production profile.

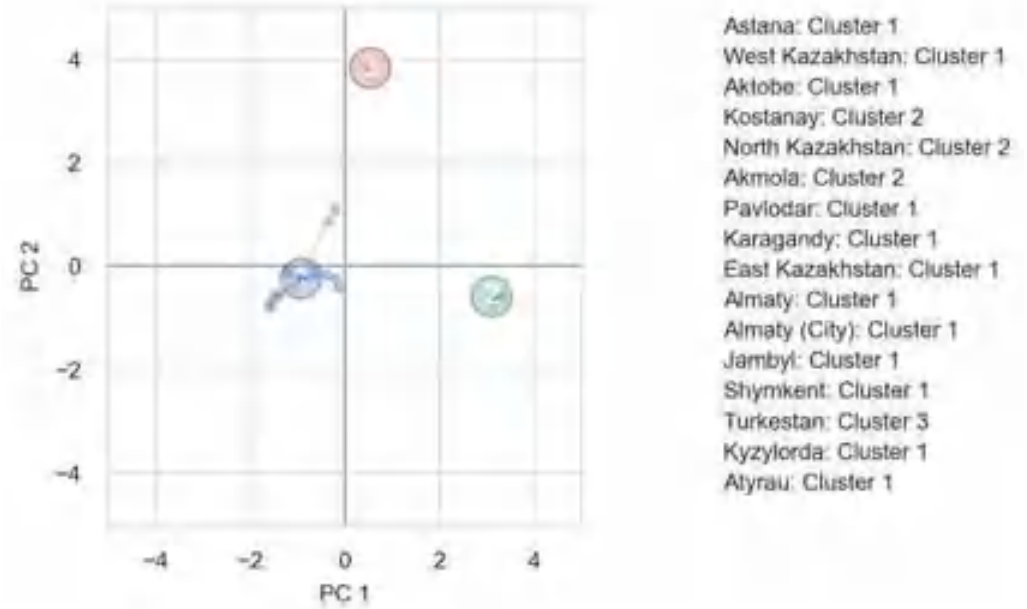


Figure 3. Affinity Propagation clusters of Kazakhstan's agricultural regions in the PC1–PC2 space. Blue = lower-intensity dryland-oriented regions; Green = high-capacity grain regions; Red = distinct southern regions with a differentiated production profile



Figure 4. Spatial distribution of the three regional agricultural clusters in Kazakhstan (Blue = lower-intensity dryland-oriented regions; Green = high-capacity grain regions; Red = distinct southern regions with a differentiated production profile)

The variables used in the main clustering space—annual production value, annual wheat production, agricultural land area, and number of agricultural enterprises—capture key differences in regional production structure. Interpreted together with the broader contextual PCA, the AP clustering results help clarify how Kazakhstan's agricultural regions differ in terms of production intensity and wider territorial conditions.

We assessed cluster quality using Silhouette, Davies–Bouldin, and Calinski–Harabasz indices; results indicate coherent separation across the three clusters (Silhouette = 0.723; Davies–Bouldin = 0.192; Calinski–Harabasz = 47.64). As an additional qualitative check, we compared the overall three-cluster pattern against k-means (k=3), Ward's hierarchical clustering (k=3), and PAM (k=3) in the PC1–PC2 space and found that the broad cluster structure remains comparable, although point-wise assignments may vary by algorithm.

Characterization of Regional Agricultural Clusters. The three clusters comprise 16 territorial units and reflect differences in production structure and broader territorial conditions. The AP clustering results indicate that Kazakhstan's agricultural production geography can be grouped into three major regional configurations. These configurations should be understood primarily as production-oriented clusters that are subsequently interpreted in relation to their wider territorial context.

Cluster 1 (Blue): Lower-intensity dryland-oriented regions

This cluster comprises regions such as Atyrau, West Kazakhstan, Karaganda, East Kazakhstan, Kyzylorda, and Pavlodar, which occupy the lower-intensity side of the production-oriented clustering space. In comparative terms, these regions are less dominated by the concentrated grain-production structure that defines the northern cluster and are more closely associated with broader territorial conditions commonly linked to dryland agricultural settings. The inclusion of East Kazakhstan in this cluster should be interpreted in relation to the multivariate production structure used in the clustering model rather than to single-sector expectations based on localized grain-producing areas within the region.

Cluster 2 (Green): High-capacity grain regions

This cluster encompasses Kostanay, Akmola, and North Kazakhstan, which stand out clearly in the optimized production-space clustering and correspond to the country's highest-output grain-producing territories.

The regions in this cluster are distinguished by high wheat production, large agricultural land area, high production value, and a large-enterprise structure in the optimized PCA space. In comparative terms, they represent the most concentrated grain-production context in the national typology. Their classification is therefore best understood as a high-capacity grain-oriented regional grouping rather than as a direct statement about specific soil conditions, management practices, or environmental outcomes.

Cluster 3 (Red): Distinct southern regions with a differentiated production profile

This cluster captures a distinct southern configuration centered on Turkistan and nearby territories. In the clustering results, it is separated from both the northern grain cluster and the broader lower-intensity group, indicating a southern production structure that does not fit the logic of the other two regional configurations.

Given the available variables, this cluster should not be overinterpreted in sectoral terms. What can be stated with confidence is that it represents a territorially distinct southern grouping that does not conform either to the concentrated northern grain structure or to the broader lower-intensity dryland-oriented cluster. Its main analytical value lies in signaling that southern regions should not automatically be discussed within the same planning logic as the other two cluster types.

Figure 4 shows that the typology reproduces broad regional contrasts that are already familiar in Kazakhstan's agricultural geography, including the concentration of grain production in the north and the differentiated production profile of southern regions. The added value of the PCA–AP workflow is not that it discovers an entirely unknown geography, but that it renders these contrasts operational within a transparent multivariate framework. In practical

terms, this makes it possible to compare non-contiguous regions on the basis of shared structural characteristics rather than administrative proximity alone. From a regional geographic analysis perspective, the contribution of the model therefore lies in converting territorially uneven agricultural conditions into a reproducible classification that can support regional comparison and differentiated planning.

A compact characterization of the three clusters is provided in Table C1, including qualitative descriptors for their main structural features.

The clustering results show that Kazakhstan's agricultural regions diverge along production and broader territorial gradients. The identified groups distinguish the highly productive northern grain regions, lower-intensity dryland-oriented territories, and a distinct southern production structure.

Rather than serving as a direct policy prescription, the typology provides a spatial starting point for more differentiated regional planning discussions, including comparative assessment of grain-system territories, infrastructure prioritization, and the targeting of future field-based research.

Why three clusters? Given the limited number of territorial units and the compact indicator structure used in the main specification, affinity propagation converged to a three-cluster solution that was both stable and geographically interpretable. This reflects a trade-off between parsimony and differentiation at the regional scale. More fine-grained partitions would likely emerge with smaller territorial units or a broader socio-economic indicator set.

Discussion in Relation to Agricultural Regionalization. The findings contribute to the literature on agricultural regionalization by showing how a parsimonious multivariate workflow can be used to construct a geographically interpretable regional typology at the national scale. Unlike expert-based agro-ecological frameworks, which primarily assess biophysical suitability, the present typology is based on observed regional characteristics and is therefore more directly aligned with questions of territorial differentiation in agricultural structure. Its purpose is not to replace AEZ-type frameworks, but to complement them with a region-level classification that is more sensitive to within-country variation.

From the perspective of regional geographic analysis, the main contribution of the study lies in its treatment of agricultural planning as a spatial problem of comparison, allocation, and differentiation. The results show that regions that are geographically distant can still share structurally similar agricultural profiles, while neighboring units may belong to different functional groupings. This matters because planning based solely on administrative or contiguous territorial logic risks obscuring differences in production intensity and broader territorial context.

The three-cluster solution should nevertheless be interpreted with caution. It is coherent and geographically plausible, but it is not the only conceivable classification of Kazakhstan's agricultural territory. It is best understood as a baseline regional typology derived from the available data and the chosen level of aggregation. Finer-grained territorial units, additional socio-economic variables, or alternative model specifications would likely produce more differentiated partitions. The present contribution therefore lies in building a transparent starting point for regionally differentiated analysis rather than in claiming a definitive agricultural map of the country.

Implications for Regional Resource Planning. The practical relevance of the typology lies in its ability to support differentiated regional planning rather than one-size-fits-all interpretations of Kazakhstan's agricultural territory. The three-cluster structure suggests that northern grain-producing regions, broader lower-intensity dryland-oriented territories, and the distinct southern grouping should not automatically be treated as equivalent planning contexts. In this sense, the classification helps narrow the comparison space by indicating which territories are structurally similar enough to be discussed together and which are not.

These implications should not be overstated as direct policy prescriptions. The typology does not identify optimal interventions by itself. Its value lies in narrowing the comparison

space and in providing a spatial baseline for more targeted regional analysis, including comparative assessment of grain-system territories, infrastructure prioritization, and the targeting of future field-based research.

The broader analytical relevance of the study is correspondingly modest but clear. It shows how regional geographic reasoning can be operationalized through a transparent statistical workflow that links territorial heterogeneity to planning relevance.

Study Limitations and Future Research Directions. This study should be interpreted as a region-level classification exercise, not as a causal or predictive model of agricultural performance. Several limitations follow from that design choice. First, the clustering is based on a relatively small number of territorial units, which constrains the degree of differentiation that can be identified and limits statistical generalization. Second, although the empirical basis spans 2015–2023, the typology is constructed from aggregated regional profiles and therefore does not capture temporal dynamics directly. Third, the main clustering solution relies on a reduced production-structure variable set, which improves parsimony but also narrows the meaning of the resulting classification.

Additional limitations concern the thematic scope of the available data. The present typology does not directly incorporate market access, subsidy structures, irrigation intensity, farm income, land degradation, or remote-sensing indicators of land-use change. As a result, the classification should not be read as a complete account of Kazakhstan's agricultural geography, but rather as a structured baseline derived from the information that was consistently available at the national scale.

For this reason, the present typology is best treated as a starting point for further geographical analysis. Future work could extend it by incorporating finer spatial units, remote-sensing indicators, market-access variables, irrigation intensity, and land-degradation proxies. Such extensions would be especially valuable for testing how stable the observed clusters remain when spatial resolution and explanatory dimensions are expanded.

Conclusions. This study developed a data-driven spatial typology of agricultural regions in Kazakhstan using principal component analysis and affinity propagation clustering. Based on region-level data for 2015–2023, the analysis identified three interpretable clusters that distinguish highly productive northern grain regions, lower-intensity dryland-oriented territories, and a distinct southern production structure.

The contribution of the article is practical and geographical rather than methodological. It provides a transparent framework for classifying subnational agricultural heterogeneity and for supporting regional comparison beyond national averages alone. Internal validation metrics indicated coherent cluster separation in the main specification (Silhouette = 0.723; Davies–Bouldin = 0.192; Calinski–Harabasz = 47.64), supporting the interpretability of the three-cluster solution.

At the same time, the classification should be read as a baseline typology rather than a definitive territorial model. It is based on aggregated regional profiles and a production-oriented clustering space, and it does not capture temporal dynamics or the full environmental and socio-economic complexity of Kazakhstan's agricultural geography. Even so, it provides a usable starting point for more differentiated regional analysis and for future refinement through finer spatial units and broader indicator sets.

References:

1. Alam, M., & Perumal, T. (2021), Performance analysis of affinity propagation clustering for IoT-based big data. *IEEE Access*, 9, 15062–15077. https://doi.org/10.1109/ACCESS.2021.3052651

2. Altieri, M. A.; Nicholls, C. I. (2017), The adaptation and mitigation potential of traditional agriculture in a changing climate. *Clim. Change*, *140*(1), 33–45. https://doi.org/10.1007/s10584-013-0909-y

3. Baisholanov, S. Y.; Kokhan, S.; Shakhanov, E.; Scherbinin, A.; Zhakashov, A. (2024), Agro-Climatic Zoning of the Territory of Northern Kazakhstan and Development of an Assessment System for the Agro-Climatic Resources of Dryland Crop Production. *Climate*, *12*(8), 146.

4. Ding, C.; He, X. (2004), K-means clustering via principal component analysis. In *Proceedings of the 21st International Conference on Machine Learning (ICML 2004)*; p 29. https://doi.org/10.1145/1015330.1015408

5. Ester, M.; Kriegel, H.-P.; Sander, J.; Xu, X. (1996), A Density-Based Algorithm for Discovering Clusters in Large Spatial Databases with Noise (DBSCAN). In *Proceedings of the Second International Conference on Knowledge Discovery and Data Mining (KDD'96)*; AAAI Press: Portland, OR, pp 226–231.

6. Frey, B. J.; Dueck, D. (2007), Clustering by passing messages between data points. *Science, 315*(5814), 972-976. https://doi.org/10.1126/science.1136800

7. Ghosh, S.; Halder, S.; Das, S. (2022), Affinity propagation clustering for complex networks: A comparative study, *Appl. Intell.,* 52(8), 8462–8484. https://doi.org/10.1007/s10489-021-02659-4

8. Ghosh, S.; Hasan, S. S.; Rahman, M. M. (2021), Regional heterogeneity in agricultural productivity and food security: Evidence from South Asia. *Sustainability*, *13*(21), 11754. https://doi.org/10.3390/su132111754

9. Hair, J. F.; Black, W. C.; Babin, B. J.; Anderson, R. E. (2019), *Multivariate Data Analysis*, 8th ed.; Cengage Learning: Boston, MA.

10. IIASA; Food and Agriculture Organization of the United Nations. (2021), *GAEZ—Global Agro-Ecological Zones v4. Documentation and Data Portal;* Available online: https://openknowledge.fao.org/items/039f7ec9-98af-49e1-8d24-850122c69bef (accessed on 20 February 2026).

11. Jolliffe, I. T. (2002), *Principal Component Analysis*; Springer Series in Statistics; Springer: New York. https://doi.org/10.1007/b98835

12. Jolliffe, I. T., Cadima, J. (2016), Principal Component Analysis: A Review and Recent Developments. *Philos. Trans. R. Soc., 374* (2065), 20150202. https://doi.org/10.1098/rsta.2015.0202

13. Lorbieski, R.; Guedes, L. P. C.; Uribe-Opazo, M. A.; Kestring, F. B. F. (2023), Regionalization of an Agricultural Area by Means of Multivariate Data and Their Relationship with Soybean Productivity. *Aust. J. Crop Sci.*, *17* (7), 570–580. https://doi.org/10.21475/ajcs.23.17.07.p3895

14. Rahman, A. S.; Rahman, A. (2020), Application of Principal Component Analysis and Cluster Analysis in Regional Flood Frequency Analysis: A Case Study in New South Wales, Australia. *Water*, *12* (3), 781. https://doi.org/10.3390/w12030781

15. Savin, I.; Kobets, A.; Kuzmin, A. (2025), Organic Crop Production in Kazakhstan: Current State and Prospects. *Resources*, *14* (1), 10. https://doi.org/10.3390/resources14070108

16. Shukla, A.K.; Behera, S. K.; Basumatary, A.; Sarangthem, I.; Mishra, R.; Dutta, S.; Sikaniya, Y.; Sikarwar, A.; Shukla, V.; Datta, S. P. (2024), PCA and Fuzzy Clustering-Based Delineation of Soil Nutrient Management Zones. *J. Environ. Manage. 361*, 120982. https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2024.121511

17. Verleysen, M.; François, D. (2005), The Curse of Dimensionality in Data Mining and Time Series Prediction. In *Proceedings of the International Work-Conference on Artificial Neural Networks*; Springer: Berlin, Heidelberg; pp 758–770. https://doi.org/10.1007/11494669_93

18. Ward, J. H. (1963), Hierarchical Grouping to Optimize an Objective Function. *J. Am. Stat. Assoc. 58* (301), 236–244. https://doi.org/10.1080/01621459.1963.10500845

19. Zhang, J.; Wang, X.; Li, J. (2020) An Improved Affinity Propagation Clustering Algorithm for Mixed Data. *Knowl.-Based Syst.*, *195*, 105665. https://doi.org/10.1016/j.knosys.2020.105665

Appendix A

Appendix A.1 Data Dictionary

Various software tools were employed to process, model, and visualize the different types of data used in the analysis. The Python programming language served as the primary tool for data preprocessing, statistical modeling, and dimensionality reduction, with particular reliance on the NumPy, pandas, and scikit-learn libraries. During the dimen-sionality reduction stage, Principal Component Analysis (PCA) was applied to decrease multicollinearity among variables, minimize information loss, and render the dataset more suitable for clustering

algorithms. For the clustering step, Affinity Propagation (AP) was employed, enabling the grouping of agricultural production regions based on similarities without the need to predetermine the number of clusters. QGIS software was used for processing, mapping, and spatial analysis of location-based data, while Matplotlib was applied to present the findings graphically and support the interpretation of results.

Table A2

Indicators used in the analysis (Data Dictionary: definitions, units, transformations, sources).

0	Indicator	Definition	Unit	Transform/ Scale	Temporal agg.	Spatial agg.	Source	Notes
1	Total Area	Total land area of each administrative unit (region/city).	km^2	winsor p1–p99; z-score	static (2023)	region/city	KazStat; FAO	Static variable; used for density calculations and context.
2	Population	Total resident population of the administrative unit.	persons	winsor p1–p99; z-score	annual mean 2015–2023	region/city	KazStat	If only annual snapshots exist, average across 2015–2023.
3	Population Density	Population per square kilometer.	persons/km^2	winsor p1–p99; z-score	annual mean 2015–2023	region/city	KazStat	Derived as Population / Total Area when not provided.
4	Agricultural Land Area	Total agricultural land area (cropland, pasture as defined by source).	ha	winsor p1–p99; z-score	annual mean 2015–2023	region/city	KazStat; FAO	Confirm land-use definition consistency across years.
5	Number of Agricultural Enterprises	Number of registered agricultural enterprises.	count	winsor p1–p99; z-score	annual mean 2015–2023	region/city	KazStat	Count-based indicator; ensure consistent registry definition.
6	Agricultural Land per Enterprise	Average agricultural land area per enterprise.	ha/enterprise	winsor p1–p99; z-score	annual mean 2015–2023	region/city	KazStat	Computed as V4 / V5 where necessary; check division by zero.
7	Annual Production Value	Monetary value of total agricultural production per year.	million KZT	winsor p1–p99; z-score	annual mean 2015–2023	region/city	KazStat; OECD	If needed, adjust for inflation to constant prices (note year).
8	Annual Wheat Production	Total wheat produced annually.	10^3 t	winsor p1–p99; z-score	annual mean 2015–2023	region/city	KazStat; FAO	Converted from tons to 10^3 t to avoid large magnitudes.
9	Annual Average Temperature	Annual mean near-surface air temperature.	°C	winsor p1–p99; z-score	annual mean 2015–2023	region/city	Kazhydromet; NASA	Ensure same grid/source across years; area-weight as needed.

10	Annual Precipitation	Total precipitation accumulated over the year.	mm/year	winsor p1–p99; z-score	annual mean 2015–2023	region/city	Kazhydromet; NASA	If multiple sources, reconcile and document method.
11	Mean Daily Sunshine Duration	Average daily sunshine duration.	h/day	winsor p1–p99; z-score	annual mean 2015–2023	region/city	Kazhydromet	Standardized from hours/year → h/day for interpretability.
12	Geographic Elevation	Area-weighted mean elevation of the administrative unit.	m	winsor p1–p99; z-score	static (SRTM epoch)	region/city	NASA SRTM; QGIS Analysis	Static terrain metric; document resampling and masks.

Notes on units: wheat production is reported in 10^3 t; precipitation in mm/year; sunshine in h/day (mean daily); production value in million KZT (specify if constant prices and the base year). All variables are winsorized at p1–p99 and z-scored prior to PCA unless otherwise stated.

Appendix B. Region-Level Statistics

Table B1 Selected indicators by territorial unit.

(Note: The three republican cities and the post-2022 regions Abai, Ulytau, and Zhetysu are shown for descriptive context only. Clustering analyses were conducted on the 16-unit analytical sample defined in Section 2, which excludes Mangystau and uses the stable pre-2022 territorial configuration.)

Regions	***Demographic***			***Agricultural***				
	1	2	3	4	5	6	7	8
Astana	720	1,184,469	1,486	1,799	1,548	1	509	1
West Kazakhstan	151,300	661,172	4	586,158	9,908	59	246,477	130
Aktobe	300,629	893,669	3	717,900	9,897	73	379,902	190
Kostanay	196,001	864,529	4	5,256,509	7,859	669	879,105	4,340
North Kazakhstan	97,993	543,679	6	4,406,890	6,463	682	1,018,254	4,365
Akmola	146,219	735,481	5	5,397,297	9,591	563	973,591	4,300
Pavlodar	124,755	751,011	6	1,568,885	6,803	231	396,862	786
Karaganda	427,982	1,375,788	3	1,192,528	9,626	124	415,709	850
Ulytau (ex Karaganda)				39,426	3,488	11	77,077	
East Kazakhstan	283,226	1,363,656	5	641,816	9,605	67	427,834	790
Abai (ex East Kazakhstan)				742,558	10,386	71	371,258	
Almaty	223,911	2,077,656	9	517,224	29,997	17	648,899	215
Zhetysu (ex Almaty)				454,224	19,984	23	425,524	
Almaty City	682	1,977,011	2,898	627	3,069	0	8,154	0
Zhambyl	144,264	1,139,151	8	756,039	27,986	27	526,962	195
Shymkent	1,163	1,074,167	923	23,494	5,924	4	39,454	8
Turkestan	116,095	2,044,511	18	859,907	83,749	10	945,882	219
Kyzylorda	226,019	814,461	4	188,545	13,141	14	161,312	11
Atyrau	118,631	657,118	6	12,097	3,901	3	110,627	0
Mean	159,974	1,134,846	337	1,229,680	14,364	139	423,863	1,025
Std Deviation	112,287	492,758	776	1,701,094	17,996	223	326,111	1,615
Min	682	543,679	3	627	1,548	0	509	0
Max	427,982	2,077,656	2,898	5,397,297	83,749	682	1,018,254	4,365

Regions	*Climatic*			*Geographic*
	9	10	11	12
Astana	3	307	6	338
West Kazakhstan	6	348	6	35
Aktobe	4	311	7	225
Kostanay	4	336	7	155
North Kazakhstan	2	353	6	140
Akmola	3	314	2	234
Pavlodar	3	313	10	123
Karaganda	4	325	7	546
Ulytau (ex Karaganda)	-	-	-	674
East Kazakhstan	4	433	12	298
Abai (ex East Kazakhstan)	14	329	11	67
Almaty	8	370	6	600
Zhetysu (ex Almaty)	-	-	-	675
Almaty City	10	674	2	1,100
Zhambyl	11	355	12	623
Shymkent	13	576	8	506
Turkestan	13	203	9	212
Kyzylorda	8	150	8	128
Atyrau	10	177	7	-20
Mean	7	346	7	350
Std Deviation	4	124	3	283
Min	2	150	2	-20
Max	14	674	12	1,100

Appendix C. Supplementary figures and cluster summary

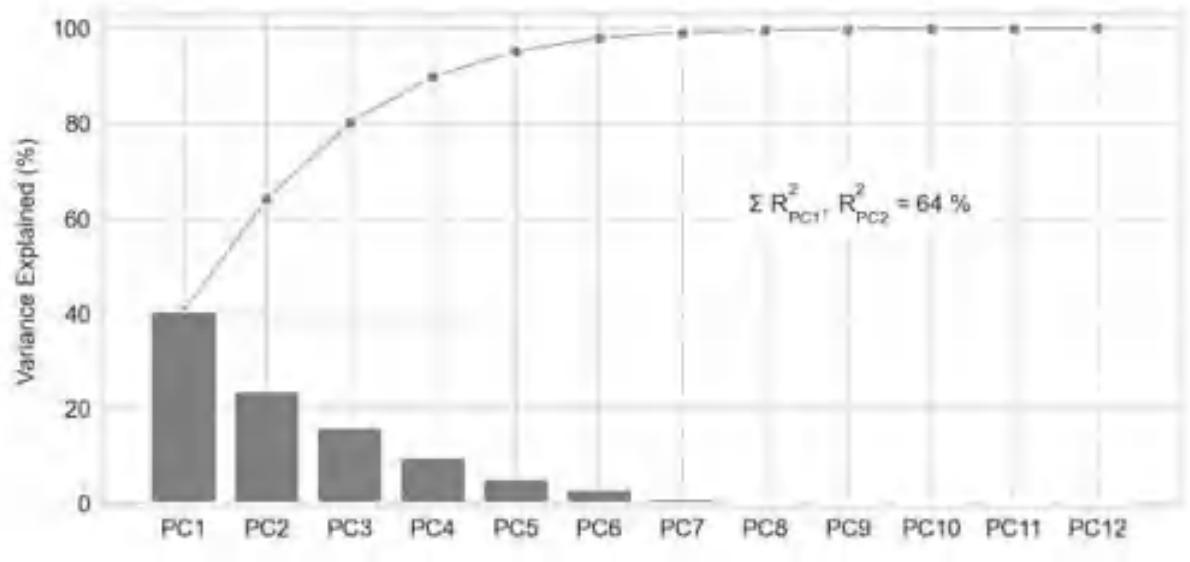


Figure C1
Scree Plot illustrating the explained variance of principal components.

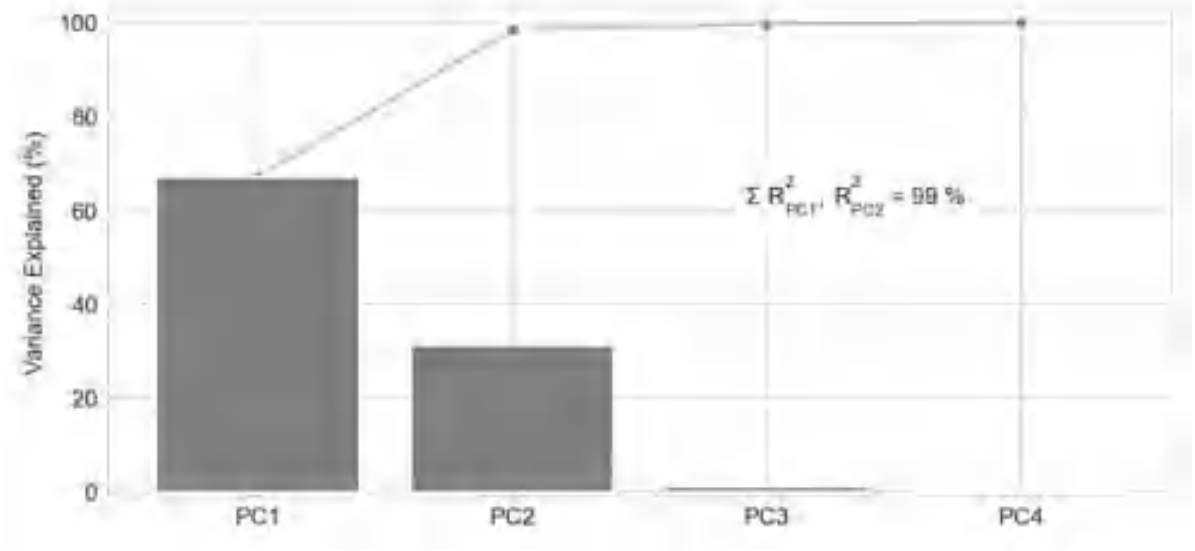


Figure C2. Scree Plot of PCA with the optimized variable set (annual production value, wheat production, agricultural land area, and number of agricultural enterprises); the first two components explain 99% of the total variance.

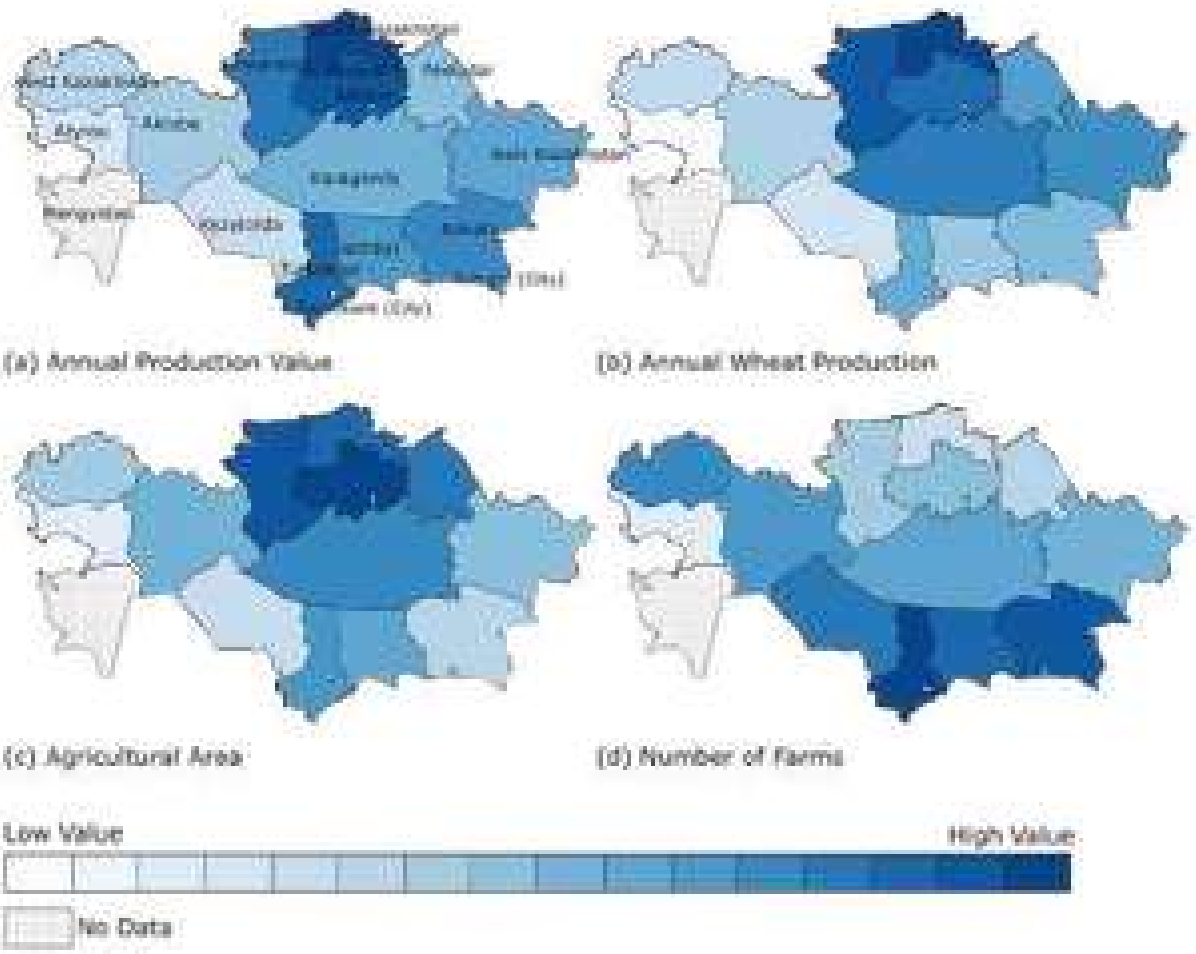


Figure C3. Spatial distribution of the four core agricultural variables.

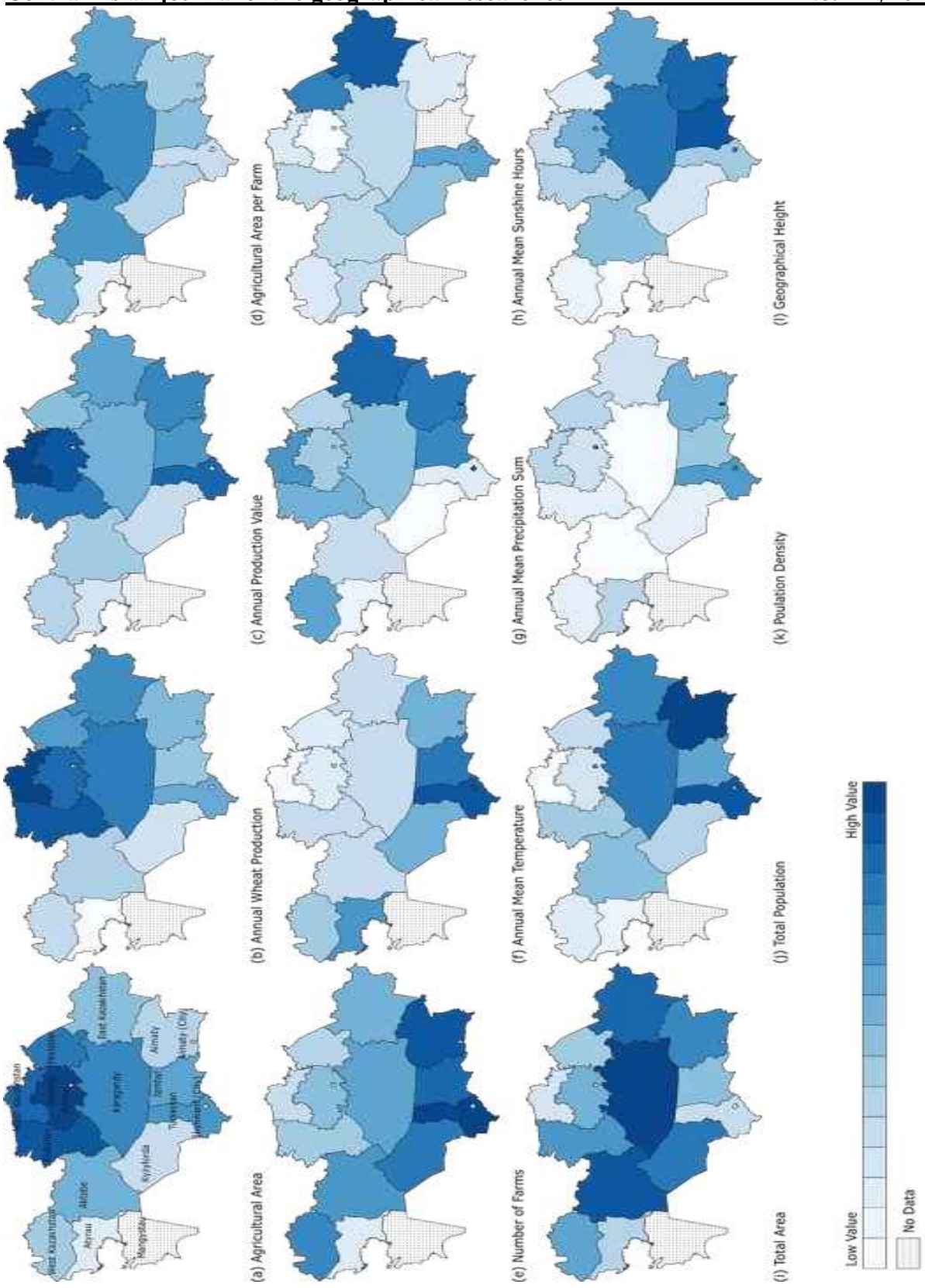


Figure C4. Regional-level characteristics of agricultural, demographic, climatic, and topographic variables in Kazakhstan. The spatial representation of these 12 variables was examined through principal component analysis.

Table C1

Cluster characterization at a glance (descriptive summary).

Cluster	Short label	Member units	Dominant features	Interpretive note
Cluster 1	Lower-intensity dryland-oriented regions	see Figure 4	Lower production value and wheat output; broader dryland-oriented territorial context	Best interpreted as a lower-intensity regional grouping rather than a single uniform production system
Cluster 2	High-capacity grain regions		Higher wheat production, larger agricultural land area, higher production value	Represents the most concentrated grain-production structure in the typology
Cluster 3	Distinct southern regions with a differentiated production profile		Separated from both the northern grain cluster and the broader lower-intensity grouping	Signals a territorially distinct southern context requiring separate comparison

Information about the authors:

Sami Celtikoglu — Independent Institute for Environmental Issues (UfU e.V.) (Berlin, Germany); Leibniz Institute of Agricultural Development in Transition Economies (IAMO) (Halle (Saale), Germany); Humboldt-Universität zu Berlin (Berlin, Germany), External Doctoral Researcher. E-mail: sami.celtikoglu@ufu.de

Murat Cankurt — North Carolina Agricultural and Technical State University (North Carolina, USA), PhD, Associate Profeccor. E-mail: mcankurt@ncat.edu

Arne Reck — Leibniz Institute of Agricultural Development in Transition Economies (IAMO) (Halle (Saale), Germany), PhD. E-mail: arne.reck@ufu.de

Yessengali Oskenbayev — Narxoz University (Almaty, Kazakhstan), PhD, Associate Professor. E-mail: yessengali.oskenbayev@narxoz.kz

Terrence Thomas — North Carolina Agricultural and Technical State University (North Carolina, USA), Dr, Professor. E-mail: twthomas@ncat.edu

Сведения об авторах:

Челтикоглу Сами — Независимый институт экологических проблем (UfU e.V.) (Берлин, Германия); Институт сельскохозяйственного развития в странах с переходной экономикой имени Лейбница (IAMO) (Халле (Заале), Германия); Берлинский университет имени Гумбольдта (Берлин, Германия), внешний докторант. E-mail: sami.celtikoglu@ufu.de

Чанкурт Мурат — Сельскохозяйственный и технический государственный университет Северной Каролины (Северная Каролина, США), доктор философии (PhD), ассоциированный профессор. E-mail: mcankurt@ncat.edu

Рек Арне — Институт сельскохозяйственного развития в странах с переходной экономикой имени Лейбница (IAMO) (Халле (Заале), Германия), доктор философии (PhD). E-mail: arne.reck@ufu.de

Оскенбаев Ессенгали — Университет Нархоз (Алматы, Казахстан), кандидат экономических наук, ассоциированный профессор. E-mail: yessengali.oskenbayev@narxoz.kz

Томас Терренс — Северо-Каролинский сельскохозяйственный и технический государственный университет (Северная Каролина, США), доктор, профессор. E-mail: twthomas@ncat.edu

For citation:

Celtikoglu S., Cankurt M., Reck A., Oskenbayev Y., Thomas T. (2026), A data-driven spatial typology of agricultural regions in Kazakhstan: a pca and affinity propagation approach, *Central Asian Journal of Geographical Researches,* No. 1-2, pp. 40-58.

Для цитирования:

Челтикоглу С., Джанкурт М., Рек А., Оскенбаев Е., Томас Т. Пространственная типология сельскохозяйственных регионов Казахстана, основанная на данных: подход с использованием метода главных компонент и распространения сходства // Центральноазиатский журнал географических исследований. 2026. № 1-2. С. 40-58. (На англ. яз.).

УДК 911.3:314 https://doi.org/10.5281/zenodo.20784826

Бадалов Э.С., Рамазанова Ш.М.

Институт географии Министерства науки и образования Азербайджана,
Баку, Азербайджан

ТЕНДЕНЦИИ СОЦИАЛЬНО-ЭКОНОМИЧЕСКОГО И ДЕМОГРАФИЧЕСКОГО РАЗВИТИЯ КРУПНЫХ ГОРОДОВ АЗЕРБАЙДЖАНА

Аннотация. *В статье исследуется роль крупных городов в формировании систем городского расселения Азербайджана, а также их географическое положение, функции в качестве опорных региональных центров и их значение для экономического роста республики. Проведен анализ динамики численности населения этих городов и изменения их места в городском расселении страны. Исследуются демографические аспекты развития крупных городов Азербайджана, в том числе, изменение показателей естественного и миграционного движения, половозрастной структуры и брачно-семейного состава их населения. Рассмотрено, как в 1999-2019 гг. произошли большие изменения в соотношении возрастных групп населения исследуемых городов, заключающиеся в уменьшении доли детей и молодежи при одновременном увеличении доли пожилых. Выявлены особенности территориального размещения крупных городов республики, их функции как крупных центров обрабатывающей промышленности, так как доля рассматриваемых городских поселений в территориальной структуре обрабатывающей промышленности республики увеличилась за последнее десятилетие более чем в 5 раз, составив 25,5%. Более половины этой цифры приходится на город Сумгаит. Также в статье даны рекомендации по преодолению проблем и совершенствованию перспектив стратегического развития крупных городов Азербайджана.*

Ключевые слова: *крупные города, демографические процессы, естественный прирост, миграция, социально-экономическое развитие*.

Badalov E.S., Ramazanova Sh.M.

Institute of Geography of Ministry of Science and Education of the Republic of Azerbaijan,
Baku, Azerbaijan

TRENDS IN SOCIO-ECONOMIC AND DEMOGRAPHIC DEVELOPMENT OF LARGE CITIES OF AZERBAIJAN

Abstract. *The article examines the role of large cities in shaping urban settlement systems in Azerbaijan, as well as their geographical location, functions as regional support centers, and their significance for the country's economic growth. An analysis of the population dynamics of these cities and changes in their place in the country's urban settlement pattern is provided. The article examines the demographic aspects of the development of large cities in Azerbaijan, including changes in natural and migration movement indicators, the age and sex structure, and the marital and family composition of their populations. It examines how significant changes occurred in the age ratio of the population of the studied cities between 1999 and 2019, consisting of a decrease in the proportion of children and youth with a simultaneous increase in the proportion of the elderly. The features of the territorial distribution of large cities in the republic and their functions as major centers of the manufacturing industry are identified, as the share of these urban settlements in the territorial structure of the republic's manufacturing industry has increased more than 5-fold over the past decade, amounting to 25.5%. More than half of this figure is accounted for by the city of Sumgait. The article also provides recommendations for overcoming problems and improving the prospects for strategic development of major cities in Azerbaijan.*

Key words: *large cities, demographic processes, natural growth, migration, socio-economic development*.

Введение и постановка проблемы. Переход к рыночным отношениям после провозглашения независимости в Азербайджане, при отсутствии контроля над 20 % территории республики в течение почти 30 лет, привёл к возникновению ряда социально-экономических проблем. Карабахский конфликт заметно повлиял на развитие промышленности, транспорта, сельского хозяйства, а также на проблемы с занятостью населения. Поэтому на начальном этапе постсоветского периода в республике увеличился процесс эмиграции, из-за которого наблюдалось уменьшение доли городского населения.

Вторая карабахская война, начавшаяся 27 сентября 2020 года, стала для азербайджанского народа Отечественной. Ныне мы находимся в совершенно новой исторической ситуации, создавшейся после героической победы азербайджанского народа и армии в Отечественной войне, которая ознаменовалась восстановлением территориальной целостности и суверенитета над освобожденными землями. Освобождение земель от оккупации открыло новые возможности для инвестиций в экономику страны. В настоящее время проводятся целенаправленные работы в направлении градостроительства, по утвержденным генеральным планам ведется строительство городов Шуша, Агдам, Физули, Лачин и Кельбаджар, разработаны подробные генеральные планы Джебраила, Зангилана и Кубатлы.

Высокие темпы экономического и социального прогресса Азербайджана напрямую связаны со всесторонним развитием урбанизации. За последние десятилетия были созданы новые предприятия, организации и другие объекты, что помогло обеспечить население рабочими местами. Развитие урбанизации привело к интенсивным процессам хозяйственной деятельности населения, т.е. к децентрализации, дифференциации и интенсификации, что, в свою очередь, привело к изменению структуры территориальной организации населения и способствовало распространению городского образа жизни даже в сельских поселениях.

В условиях современного научно-инновационного развития большое значение приобретает изучение городского расселения, где концентрируются производительные силы общества. Комплексное географическое изучение городского населения имеет большое значение для проведения углубленных исследований крупных городов.

Изученность вопроса. В работах многих зарубежных учёных-географов, в частности, Б.С. Хорева [17], И.М. Маергойза [7], Т.Г. Нефедовой, А.И. Трейвиша [10], Г.М. Лаппо [6], Е.Н. Перцика [13], В.З. Черняка [18], М.М. Дылдаева [5], В.Н. Федорко [16] и других, рассматриваются вопросы экономического и демографического развития городских поселений. Например, советский географ Б.С. Хорев писал, что «крупный город с разносторонней структурой представляет собой сложный хозяйственный организм, элементы которого связаны между собой» [17, с. 92]. Г.М. Лаппо справедливо отмечал, что чем больше по величине город, тем шире у него возможности для формирования градообразующей базы [6].

Теоретическими основами исследования являются также труды экономгеографов и урбанистов Азербайджана. С начала 1980-х годов, помимо исследований экономической структуры и социально-экономического развития городов, появляются научные работы, посвященные изучению их демографических показателей. Особое внимание заслуживают научные работы Н.Г. Эюбова. Он писал, что «в Азербайджане в системе городского расселении преобладают малые и средние города, но основная часть городского населения и экономики страны сконцентрирована в столице и крупных городах» [21, с. 93]. Другой урбанист В.А. Эфендиев впервые рассматривал вопросы функциональной типологии городов республики, подразделив их на 5 типов, отмечая, что крупные города – это важное звено в цепи территориального разделения общественного труда [20]. Проблемы экономического и демографического развития городов Азербайджана также рассматриваются в трудах С.Г. Нагиева [20], З.Н. Эминова [19], Э.С. Бадалова [2] и других азербайджанских географов. Однако вопросы развития

и трансформации социально-экономической и демографической ситуации в крупных городах Азербайджана на современном этапе изучены недостаточно.

Цель и задачи работы. Цель исследования заключается в изучении роли крупных городов в совершенствовании городского расселения Азербайджана, а также их влияния с учетом социально-экономических и демографических аспектов развития.

Основные задачи: 1) выявить место и роль крупных городов в экономической жизни страны, установить социально-экономический профиль и уровень инфраструктурной обеспеченности этих городов; 2) выявить пути увеличения инвестиций, направленных на развитие сферы обслуживания, которая играет большую роль в развитии крупных городов; 3) изучить современное состояние демографической структуры и процессов, включая воспроизводство населения и миграционные потоки; 4) разработать практические предложения, направленные на эффективную и устойчивую реконструкцию крупных городов, а также решение их демографических проблем.

Материалы и методы. В условиях рыночной экономики происходят большие изменения в развитии и размещении производительных сил, концентрация производства и сферы обслуживания в крупных городах, в связи с чем современный этап развития является эпохой крупных и больших городов.

Исследование проведено с помощью системного анализа крупных городов с учетом региональных социально-экономических факторов, применялись ГИС технологии, статистический, сравнительный анализ и другие методы. В исследовании для глубокого изучения был осуществлен кластерно-типологический анализ для выявления внутрирегиональных различий условий развития городов республики.

В качестве материалов исследования использовались официальные статистические данные.

Результаты и их обсуждение. В Азербайджане, по состоянию на начало 2026 г., имеются 79 городов и 262 поселка. Большинство городов республики относятся к разрядам малых (до 20 тыс. чел.) и средних (20-50 тыс. чел.). Вместе с тем, в стране имеются 6 больших (50-100 тыс. чел.) и 4 крупных (100-500 тыс. чел.) города. В течение 1970-2023 гг. наиболее быстрыми темпами росли большие и крупные города, значительно увеличилась численность их жителей и удельный вес в городском населении страны.

Важную роль в процессе развития этих городов сыграло их экономико-географическое положение. Так как эти города расположены в транспортных узлах, они стали основой формирования крупных промышленных центров, привлекают большое количество рабочей силы и квалифицированных специалистов из соседних районов. Это способствует развитию новых производств и сферы услуг. Среди этих городов Гянджа и Мингечаур формируют агломерации, на периферии которых расположены городские и сельские поселения, чьи жители работают в ядрах агломераций, одновременно пользуясь социальной инфраструктурой для различных нужд [1]. В результате миграция в крупные города и концентрация населения в них снижается.

В Азербайджане крупными городами до 2014 года являлись только Сумгаит и Гянджа, позднее к ним присоединился Мингечаур, а с 2019 года в эту группу вошел Хырдалан. Хырдалан как муниципальный центр Абшеронского района в 2008 г. получил статус города, став подобно Сумгаиту, городом-спутником в рамках Бакинской агломерации. Анализ показывает, что за последние 20 лет самый большой прирост наблюдался в городах-спутниках Баку. Хырдалан за короткое время превратился из среднего поселка в крупный город, численность его населения возросла в 6,6 раза, в Сумгаите численность населения увеличилась 1,6 раза, но сравнительно низкими темпами развивались региональные города – Гянджа и Мингечаур (рис. 1). В этих городах до недавнего времени сальдо миграции было отрицательным, но в последние годы происходят положительные изменения, что больше всего связано с социально-экономическими сдвигами, быстрыми темпами появления новых промышленных и

обслуживающих предприятий. В этом году Гянджа будет олимпийской столицей стран СНГ, игры также пройдут ещё в пяти городах, в том числе Мингечауре.

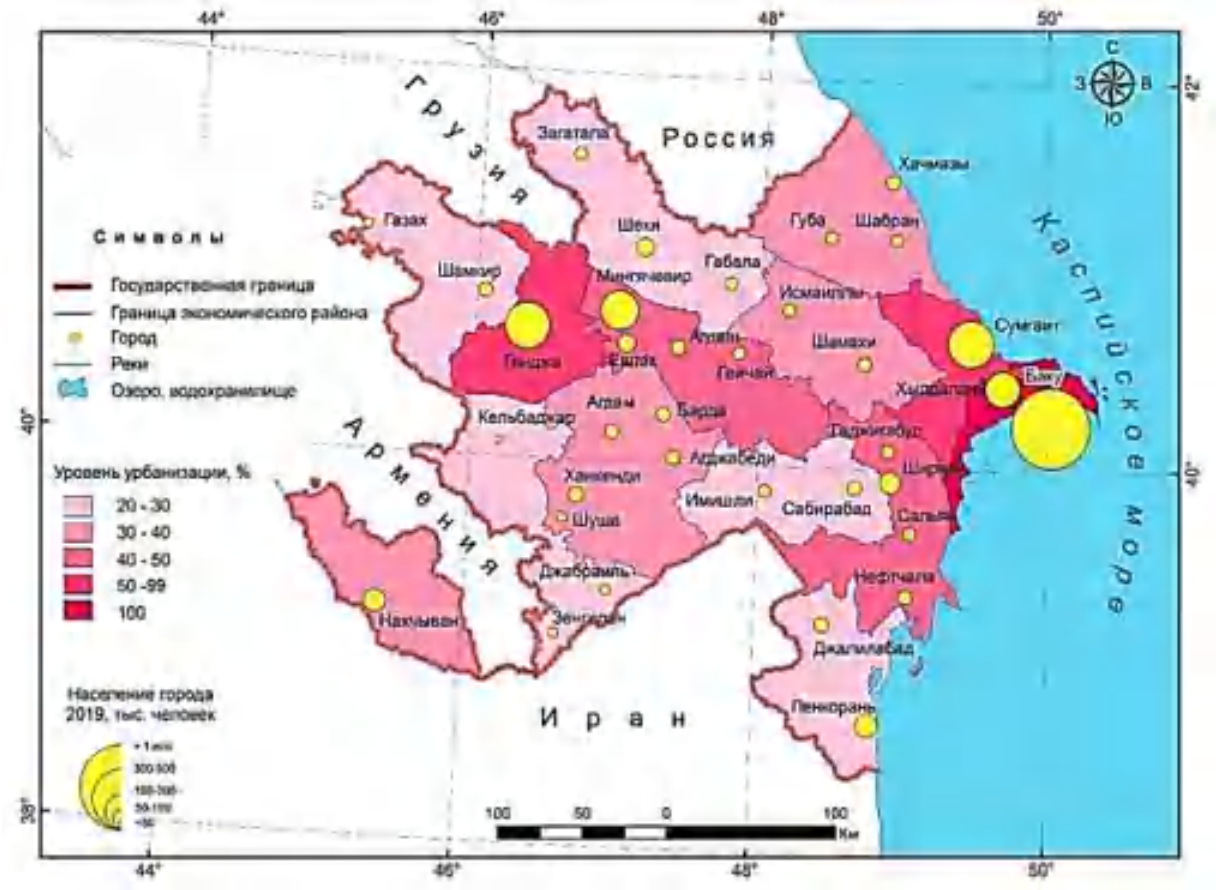


Рис. 1. Карта сети городов Азербайджана

Карта составлена Э.С. Бадаловым.

В 2010-2024 гг. в производстве промышленной продукции страны удельный вес крупных городов увеличился с 1% до 9% и роль их растет быстрыми темпами. В этот период большой скачек произошёл в Сумгаите – увеличение промышленной продукции (в ценах) составило до 20 раз, в Хырдалане до 11 раз, в Гяндже до 6 раз, в Мингечауре до 4 раз. В обрабатывающей промышленности их доля увеличилась от 4,4% до 25,5% [14].

Структурные сдвиги в промышленности влияют на благосостояние населения. Каждый город имеет свою специфику, сдвиги в структуре промышленности отражают интенсификацию и качественный скачок в производстве. В Сумгаите это происходит в тяжёлой промышленности, в том числе химической, металлургии и машиностроении, а также в пищевой и текстильной, в Гяндже – в металлургии и машиностроении, а также в пищевой, в Мингечауре – в электроэнергетике и машиностроении, а также в текстильной промышленности. В Хырдалане, в отличие от других, более развита пищевая, а также химическая промышленность и производство стройматериалов [21, с. 96].

В этих городах ускоренно развивается сфера обслуживания, она размещается в каждом микрорайоне и больших кварталах, центры этих городов обычно имеют набор учреждений «высшего» ранга. Расширение и развитие сферы обслуживания приводит к увеличению числа рабочих мест, играя важную роль в обеспечении занятости населения.

Очень важную роль в развитии крупных городов играют инвестиции в основной капитал. За период 2019-2024 гг. более 9,7 млрд манатов вложено в экономику этих городов, в том числе, 5,9 млрд манатов инвестиций пришлось на Сумгаит, 1,9 млрд манатов – Хырдалан, 1,1 млрд манатов – Гянджу и около 1 млрд манатов – Мингечаур

[15]. В 2024-2025 гг. больше инвестиций было направлено в экономику городов Гянджа и Мингечаур. Главная стратегия страны — это пропорциональное развитие и размещение промышленности, что усиливает рост малых и средних городов.

Исследование показывает, что в динамике роста населения крупных городов наблюдаются разные темпы. Так, наиболее высокие темпы были характерны для Хырдалана – 6,6 раза и для Сумгаита – 1,6 раза, Гянджа и Мингечаур демонстрировали меньший прирост (табл. 1).

Таблица 1

Динамика численности населения крупных городов Азербайджана (тыс. чел., на начало года)

Города	2000	2005	2010	2015	2020	2025	Прирост в 2000-2024, %
Сумгаит	260,0	294,4	314,8	336,2	346,8	427,6	64,5
Гянджа	300,8	305,6	316,3	330,1	335,8	331,0	10,0
Мингечаур	94,6	95,3	97,8	102,4	106,6	103,1	9,0
Хырдалан	29,7	33,8	92,7	97,2	101,5	195,9	559,6
Общая численность населения четырёх городов	685,1	729,1	821,6	865,9	890,7	1058,0	54,4
В том числе крупных городов	560,8	600,0	631,1	768,7	890,7	1058,0	88,7
Доля крупных городов в городском населении Азербайджана, %	13,7	13,8	13,1	14,9	16,6	19,0	-

Таблица составлена Э.С. Бадаловым по [4, 8].

Исследования закономерностей развития системы городского расселения показывают, что рост крупных городов, обогащение их функциональной структуры происходят быстрыми темпами.

Городское население республики в 1999-2024 гг. претерпело большие демографические изменения. В структуре прироста численности городского населения до 2/3 составил естественный прирост, 1/5 часть – миграционный прирост, а около 14 %, или более 200 тысяч человек – на изменение административного статуса поселений (более 110 сёл получили статус городских поселений) и включение более 20 сёл в состав городов (таблица 2).

Анализ демографических процессов в этих городах показывает, что наибольший абсолютный прирост был зафиксирован в 1999-2024 гг. в Сумгаите и Хырдалане, при чём в этих городах сальдо миграции преобладает над естественным приростом населения. Если показатели миграционного прироста в Сумгаите больше уровня естественного прироста в 2 раза, то в Хырдалане – в 10 раз. В этих городах наибольшее сальдо миграции пришлось на 1999-2009 и 2019-2025 гг. Оба города как спутники Баку отличаются интенсивным градостроительством, и поэтому они привлекают мигрантов. По масштабам миграции в течение 1999-2024 гг. они опередили крупнейший город республики – Баку.

В этот период в общем приросте численности городского населения удельный вес крупных городов составил 23,9 %, при этом их доля в естественном приросте городского населения республики была в два раза меньше (12,7 %), а в миграционном приросте – в три раза больше (75,6 %) (см. табл. 2).

Таблица 2

Показатели прироста численности населения крупных городов Азербайджана (1999-2024 гг.)

	Прирост численности населения, тыс. чел.					
	Общий	Естественный прирост, тыс. ч.	Доля в общем приросте, %	Миграционный прирост, тыс. ч.	Доля в общем приросте, %	Вклад изменений административного статуса поселений, %
Городское население республики	1475,8	965,7	65,4	309,2	20,9	13,7
Крупные города	352,5	122,0	34,9	230,5	65,1	-
удельный вес крупных городов, %	23,9	12,7	-	75,6	-	-
Сумгаит	144,4	48,1	33,3	96,3	66,7	-
Гянджа	31,7	39,7	125,2	-8,0	-25,2	-
Мингечаур	9,1	18,3	201,1	-9,2	-101,1	-
Хырдалан	167,3	15,9	9,5	151,4	90,5	-

Таблица составлена Э.С. Бадаловым по [3, 4, 19].

Анализируя демографические процессы постсоветского периода в крупных городах, можно сказать, что в динамике рождаемости и естественного прироста произошел резкий спад в период 1995-2004 гг., затем показатели стали увеличиваться (2005-2016 гг.), и наибольший естественный прирост отмечался в течение 2011-2016 гг. В 2000-2010 гг. во всех городах произошло увеличение рождаемости и естественного прироста, за исключением Хырдалана, где эти показатели уменьшились. В 2010-2020 гг. естественный прирост увеличился в Гяндже, в меньшей степени в Мингечауре, а в Сумгаите и Хырдалане произошло уменьшение его коэффициентов (табл. 3).

Таблица 3

Демографические процессы в крупных городах Азербайджана (на 1000 человек, в ‰)

Крупные города	Естественный прирост				Рождаемость				Смертность			
	2000	2010	2020	2024	2000	2010	2020	2024	2000	2010	2020	2024
Сумгаит	8,1	9,3	3,6	1,7	12,5	14,9	11,1	6,4	4,4	5,6	7,5	4,7
Гянджа	3,9	6,3	8,1	0,8	9,5	12,5	14,4	7,1	5,6	6,2	6,3	6,3
Хырдалан	10,0	8,0	4,6	2,5	15,2	11,8	10,8	5,6	5,2	3,8	6,2	3,1
Мингечаур	6,3	10,5	10,0	3,2	10,6	15,6	15,3	9,6	4,3	5,1	5,3	6,4
Городское население республики	6,5	11,2	3,6	2,9	12,3	17,2	11,6	8,9	5,8	6,0	8,0	6,0

Таблица составлена авторами по данным [3,4,19].

В общей динамике воспроизводства населения наименьший естественный прирост пришёлся на 2020-2022 гг., т.е. на время пандемии COVID-19. Также в этот период до 8‰ увеличились коэффициенты относительной смертности. В 2020-2024 годах во всех крупных городах в динамике коэффициентов рождаемости произошел резкий спад – почти в два раза. В этот период в коэффициентах естественного прироста произошло падение (в ‰) в Мингечауре и Гяндже до 7 пунктов, в Сумгаите и Хырдалане

– до 2 пунктов. В результате эти города, кроме Мингечаура, имели низкий показатель коэффициентов естественного прироста и рождаемости по сравнению со всем городским населением республики. В эти годы также произошло уменьшение коэффициента относительной смертности в Сумгаите и Хырдалане.

Колебание численности населения в абсолютном и относительном воспроизводстве оказывает непосредственное влияние на его половозрастной состав, так как в 1999–2019 годы быстрыми темпами уменьшались абсолютная численность и удельный вес детской и молодежной групп населения. В этот период произошли большие изменения в возрастной структуре населения крупных городов. Так, доля детей снизилась до 10% в Гяндже и Мингечауре, меньшие изменения доли детской группы (до 5%) произошли в Сумгаите и Хырдалане. Такая тенденция больше связана с уменьшением рождаемости. Но в Сумгаите и Хырдалане из-за большого миграционного сальдо при преобладании среди мигрантов молодых семей с детьми, снижение доли детей в составе населения происходило медленнее. В исследуемый период увеличилась численность населения в трудоспособном возрасте и доля пожилого населения. Только в Хырдалане доля пожилого населения уменьшилась (рис. 2).



Рис. 2. Изменение возрастной структуры населения крупных городов Азербайджана (%, 1999-2019 гг.)

Рисунок составлен Э.С. Бадаловым по [11, 12].

Сдвиги в половой структуре детской группы населения выразились в сокращении удельного веса детей в общей численности женского населения за 1999-2023 гг. с 29,0% до 18,7% и сокращении удельного веса детей в общей численности мужского населения с 31,3% до 21,4% [8]. За анализируемый период половой состав трудоспособной части населения подвергся следующим изменениям: благодаря существенному увеличению доли мужчин, произошло относительное выравнивание полов.

При планировании социально-экономического развития этих городов нужно иметь в виду, что на формирование возрастной структуры также воздействуют миграционные потоки, благодаря которым поддерживается высокий удельный вес молодежи. В то же время, рост численности пожилых людей происходит быстрее в относительном выражении, чем рост населения этих городов в целом.

За годы независимости в крупных городах произошли большие изменения процессов брачности и разводимости. Наименьшие показатели брачности и разводимости зафиксированы в 1995-2003 гг. В 2004 году начался рост относительного и абсолютного показателей коэффициента брачности. Если в 2000-2003 гг. в городах Сумгаите и Гяндже среднее годовое число браков составляло 1357 и 1312, соответственно, то в 2004-2019 гг. эти показатели увеличились, соответственным

образом, в 2 и 1,5 раза, составив 2601 и 2075 единиц. Но в 2020–2024 гг. под влиянием ковидной пандемии эти показатели вновь резко уменьшились, составив, соответственно, 1625 и 1375 единиц. В Мингечауре в изучаемый период сперва произошло увеличение показателей брачности в 1,5 раза, а после спад в 1,7 раза. В Хырдалане, в отличие от других крупных городов, в изучаемые годы сперва произошло увеличение числа заключённых браков в 2,5 раза, а после наступил период стагнации. Наибольшие значения коэффициента брачности – 8–10‰ – отмечались в изучаемых городах в 2004–2014 гг., а затем произошло уменьшение, в частности, в 2020-е гг. средние значения этого показателя уменьшились в Сумгаите в 2,3 раза, в Гяндже в 1,7 раза, в Мингечауре в 2 раза и в Хырдалане в 2,4 раза. Среди всех городов республики наибольшими значениями данного индикатора отличались города Мингечаур и Сумгаит.

Коэффициент разводимости в этих городах в 2004-2010 гг. сохранялся на уровне 1,2-1,4‰, а с 2011 г. начал расти и достиг в Мингечауре и Гяндже 1,9-2,2‰, а в Сумгаите 1,6-1,8‰. На общем фоне выделяется Хырдалан, где коэффициент составил менее 1‰. В целом, в настоящее время в республике среди всех крупных городов по коэффициенту разводимости лидируют Мингечаур и Гянджа.

Таблица 4

Динамика коэффициентов брачности и разводимости в крупных городах Азербайджана (на 1000 человек)

Города	Брачность				Разводимость			
	2000	2010	2020	2024	2000	2010	2020	2024
Сумгаит	4,5	8,8	3,0	3,6	0,9	1,5	1,7	2,1
Гянджа	3,5	6,6	2,6	3,9	1,1	1,2	1,8	2,7
Хырдалан	5,5	5,3	3,0	2,6	0,7	0,7	1,5	1,4
Мингечаур	5,0	9,1	3,0	4,0	1,2	1,4	2,5	3,1
Городское население республики	5,0	9,2	3,5	4,7	1,1	1,7	1,8	2,6

Таблица составлена авторами по [3,4,19].

Регулирование демографического развития городов играет значимую роль в создании комфортных условий для жизни горожан. Важно учитывать динамику численности и состава населения, социально-экономические условия, а также состояние инфраструктуры и экологической среды для эффективного управления этим процессом. Своевременные и адекватные меры помогут создать комфортные условия для жизни и развития крупных городов.

Улучшение демографической ситуации, прежде всего, связано с оздоровлением экономики и социальной обстановки. Важную роль в регулировании демографических процессов в республике будет играть проведение целенаправленной комплексной демографической политики. Современное устойчивое социально-экономическое развитие республики имеет реальные предпосылки для реализации программ демографической политики.

Выводы. На основе проведенных исследований авторами сформулированы следующие выводы и рекомендации по регулированию социально-экономического и демографического развития крупных городов Азербайджанской Республики.

Обогащение функциональной структуры крупных городов страны происходило быстрыми темпами. Эти города играют актуальную роль в экономической и социально-культурной жизни республики. Только в период 2010-2023 гг. удельный вес крупных городов в валовом промышленном производстве страны увеличился с 1% до 8%, а в обрабатывающей промышленности их доля увеличилась с 4,4% до 24,7%. Среди городов таким ростом наиболее отличились Сумгаит и Хырдалан.

В динамике роста населения крупных городов в 1999–2024 гг. более высокие темпы отмечались в Хырдалане (в 6,6 раза) и Сумгаите (в 1,6 раза), но в Гяндже и Мингечауре этот рост был не очень высоким (9–10%).

В постсоветский период в динамике воспроизводства населения в крупных городах произошел резкий спад в 1995-2004 гг., а в 2005-2016 гг. показатели росли. Наибольший естественный прирост отмечался между 2011 и 2015 гг. В целом, в динамике естественного прироста наименьшие показатели были зафиксированы в 2020-2022 гг. во время пандемии. В последующие годы, несмотря на снижение относительного коэффициента смертности до 2‰, аналогичные изменения произошли и в коэффициентах рождаемости. Более высокими значениями коэффициентов рождаемости и смертности среди исследуемых городов за последние два десятилетия выделялся Мингечаур.

В 1999-2019 гг. в крупных городах наблюдались такие тенденции, как большие изменения возрастной структуры населения, в том числе уменьшение абсолютной численности и удельного веса детской и молодежной групп населения, увеличение численности населения в трудоспособном возрасте и доли пожилого населения.

Для успешного развития крупных городов необходимо комплексно подходить к решению их социально-экономических, демографических, экологических и эстетических проблем, особое внимание уделять вопросам территориальной организации крупных городов и обогащения их функциональной структуры. Эти задачи следует выполнять с учетом общего размещения производительных сил и масштабов современных градостроительных вызовов в Азербайджане.

Использованная литература:

1. Бадалов Э.С. Агломерации Азербайджана: тенденции демографического и социально-экономического развития // Городские исследования и практики. 2021. № 2. С. 106-114.

2. Бадалов Э.С. Урбанизация и проблемы городского расселения Азербайджанской Республики // Модернизация естественно-научного образования в условиях обновленного содержания. Материалы международной научно-практической конференции (2-3 марта, 2017 г.). Алматы, 2017. С. 443-446.

3. Демографические показатели Азербайджана. Баку: Госкомстат, 2014. 560 с.

4. Демографические показатели Азербайджана. Баку: Госкомстат, 2024. 586 с.

5. Дылдаев М.М. Особенности процессов урбанизации в Кыргызской Республике // «Пригородная революция» в региональном срезе. Материалы международной научной конференции. Улан-Удэ, 2019. С. 40-44.

6. Лаппо Г.М. Разнообразие городов как фактор успешного пространственного развития России // Известия РАН. Серия географическая. 2019. № 4. С. 3-23.

7. Маергойз И.М. Географическое учение о городах. Москва: Наука, 1987. 116 с.

8. Население Азербайджана. Баку: Госкомстат, 2024. 210 с.

9. Население Азербайджана. Баку: Госкомстат, 2025. 140 с.

10. Нефедова Т.Г., Трейвиш А.И. Теория «дифференциальной урбанизации» и иерархия городов в России на рубеже XXI в. // Проблемы урбанизации на рубеже веков. Смоленск: Ойкумена, 2002. С. 71-86.

11. Перепись населения Азербайджанской Республики 1999 года. Баку: Госкомстат, 2000. Часть I. 565 с. (На азерб. яз.).

12. Перепись населения Азербайджанской Республики 2019 года. Баку: Госкомстат. 2022. Том I. 682 с. (На азерб. языке).

13. Перцик Е.Н. Геоурбанистика. Москва: Академия, 2009. 432 с.

14. Промышленность Азербайджана. Баку: Госкомстат, 2025. 293 с.

15. Строительство Азербайджана. Баку: Госкомстат, 2025, 256 с.

16. Федорко В.Н., Исматов Ж.А. Функциональная типология городских поселений Узбекистана // Центральноазиатский журнал географических исследований. 2024. № 3-4. С. 26-37.

17. Хорев Б.С. Территориальная организация общества. Москва: Мысль, 1981. 320 с.

18. Черняк В.З., Черняк А.В., Довдиенко И.В. Экономика города. Москва: КНОРУС, 2010. 368 с.

19. Эминов З.Н. Население Азербайджана. Баку: Чираг, 2005. 565 с. (На азерб. яз.).

20. Эфендиев В.А., Нагиев С.Г. Геоурбанистика. Баку: БГУ, 2016. 272 с.

21. Эюбов Н.Г. География Республики Азербайджан (II часть. Экономическая и социальная география). Баку: Европа, 2015. 328 с.

References:

1. Badalov E.S. (2021), Agglomerations of Azerbaijan Trends in demographic and socio-economic development, *Urban Studies and Practices*, No. 2, pp. 106-114. (In Russ.).

2. Badalov E.S. (2017), Urbanization and problems of urban settlement in the Republic of Azerbaijan, *Modernization of natural science education in the context of updated content: proceedings of the international scientific and practical conference (March 2-3, 2017)*, Almaty, pp. 443-446. (In Russ.).

3. *Demographic indicators of Azerbaijan* (2014), Baku, 560 p. (In Azerb.).

4. *Demographic indicators of Azerbaijan* (2024), Baku, 618 p. (In Azerb.).

5. Dyldaev M.M. (2019), Features of urbanization processes in the Kyrgyz Republic, *The "suburban revolution" in the regional context. Proceedings of the International Scientific Conference*, Ulan-Ude, pp. 40-44. (In Russ.).

6. Lappo G.M. (2019), Diversity of cities as a factor of successful spatial development of Russia, *Izvestiya Rossiiskoi Akademii Nauk. Seriya Geograficheskaya*, No. 4, pp. 3-23. (In Russ.).

7. Maergoyz I.M. (1987), *Geographical doctrine of cities*, Moscow, 116 p. (In Russ.).

8. *The population of Azerbaijan* (2024), Baku, 210 p. (In Azerb.).

9. *The population of Azerbaijan* (2025), Baku, 140 p. (In Azerb.).

10. Nefedova T.G., Treivish A.I. (2002), The theory of "differential urbanization" and the hierarchy of cities in Russia at the turn of the 21st century, *Problems of urbanization at the turn of the century*, Smolensk, pp. 71-86. (In Russ.).

11. *Population Census of the Republic of Azerbaijan, 1999* (2000), Baku, Part I, 565 p. (In Azerb.).

12. *Population Census of the Republic of Azerbaijan*, *2019* (2022), Baku, Vol. I, 682 p. (In Azerb.).

13. Pertsik E.N. (2009), *Geourbanistics*, Moscow, 432 p. (In Russ.).

14. *The industry of Azerbaijan* (2025), Baku. 293 p. (In Azerb.).

15. *The construction of Azerbaijan* (2025), Baku, 256 p. (In Azerb.).

16. Fedorko V.N., Ismatov ZH.A. (2024), Functional typology of urban settlements in Uzbekistan // *Central Asian Journal of Geographical Researches*, No. 3-4, pp. 26-37. (In Russ.).

17. Khorev B.S. (1981), *Territorial organization of society*, Moscow, 320 p. (In Russ.).

18. Chernyak V.Z., Chernyak A.V., Dovdienko I.V. (2010), *City economics*, Moscow, 368 p. (In Russ.).

19. Eminov Z.N. (2005), *Population of Azerbaijan*, Baku, 565 p. (in Azerb.).

20. Efendiev V.A., Nagiyev S.G. (2016), *Geourbanistics*, Baku, 272 p. (In Azerb.).

21. Eyyubov N.G. (2015), *Geography of the Republic of Azerbaijan, (II part, Economic and Social Geography)*, Baku, 328 p. (In Azerb.).

Сведения об авторах:

Бадалов Этибар Санан оглы – Институт географии Министерства науки и образования Азербайджанской Республики (Баку, Азербайджан), доктор философии (PhD) по географическим наукам (кандидат географических наук), доцент. E-mail: badalov.1958@mail.ru.

Рамазанова Шафа Муса кызы – Институт географии Министерства науки и образования Азербайджанской Республики (Баку, Азербайджан), докторант. E-mail: shefa_00@mail.ru

Information about authors:

Etibar Sanan Badalov – Ministry of Science and Education of the Republic of Azerbaijan, Institute of Geography (Baku, Azerbaijan), PhD in Geography, Associate Professor. E-mail: badalov.1958@mail.ru.

Shafa Musa Ramazanova – Ministry of Science and Education of the Republic of Azerbaijan, Institute of Geography (Baku, Azerbaijan), Doctoral Student. E-mail: shefa_00@mail.ru

Для цитирования:

Бадалов Э.С., Рамазанова Ш.М. Тенденции социально-экономического и демографического развития крупных городов Азербайджана // Центральноазиатский журнал географических исследований. 2026. № 1-2. С. 59-69.

For citation:

Badalov E.S., Ramazanova Sh.M. (2026), Trends in socio-economic and demographic development of large cities of Azerbaijan, *Central Asian Journal of Geographical Researches*, No. 1-2, pp. 59-69. (In Russ.).

УДК 911.3:33 https://doi.org/10.5281/zenodo.20784917

Гопиров М.О.

Андижанский государственный университет, Андижан, Узбекистан

ТРУДОВЫЕ РЕСУРСЫ В ТЕРРИТОРИАЛЬНОЙ ОРГАНИЗАЦИИ АВТОМОБИЛЬНОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ КАНАДЫ

Аннотация. *В статье представлен социально-экономико-географический анализ роли трудовых ресурсов в территориальной организации автомобильной промышленности Канады. Рассматриваются особенности пространственной концентрации занятости, региональная дифференциация профессионально-квалификационной структуры рабочей силы и влияние трудового фактора на формирование отраслевых производственных ареалов. Методологическую основу исследования составляют положения экономической географии промышленности, концепции территориального разделения труда и анализа отраслевых рынков труда. Эмпирическая база включает данные официальной статистики, материалы отраслевых ассоциаций. Показано, что автомобильная промышленность Канады характеризуется высокой территориальной концентрацией занятости с доминирующей ролью провинции Онтарио, а трудовые ресурсы выступают активным фактором пространственной устойчивости отрасли в условиях структурных и технологических трансформаций.*

Ключевые слова: *автомобильная промышленность, трудовые ресурсы, территориальная организация, рынок труда, экономическая география, Канада.*

Gopirov M.O.

Andijan State University, Andijan, Uzbekistan

LABOR RESOURCES IN THE TERRITORIAL ORGANIZATION OF THE AUTOMOTIVE INDUSTRY OF CANADA

Abstract. *The article presents a socio-economic and geographical analysis of the role of labor resources in the territorial organization of the automotive industry in Canada. The study examines the features of spatial concentration of employment, regional differentiation of the professional and qualification structure of the workforce, and the influence of the labor factor on the formation of industrial production areas. The methodological framework of the research is based on the concepts of industrial economic geography, territorial division of labor, and analysis of sectoral labor markets. The empirical basis includes official statistical data, materials from industry associations. The study demonstrates that the automotive industry in Canada is characterized by a high degree of territorial concentration of employment, with the dominant role of the province of Ontario, while labor resources act as an active factor of the spatial stability of the industry under conditions of structural and technological transformation.*

Key words: *automotive industry, labor resources, territorial organization, labor market, economic geography, Canada.*

Введение и постановка проблемы. Автомобильная промышленность относится к числу ключевых отраслей обрабатывающего сектора мировой экономики, оказывающих значительное влияние на структуру занятости, формирование региональных рынков труда и территориальную организацию промышленного производства. Высокая капиталоёмкость, сложная система производственных цепочек и значительная численность занятых обуславливают особую роль трудовых ресурсов в процессах размещения и устойчивого функционирования предприятий автомобилестроения.

В рамках настоящего исследования автор исходит из концепции взаимообусловленности территориальной организации производства и структуры занятости. В отличие от классических штандортных теорий, рассматривающих трудовые ресурсы как преимущественно экзогенный фактор размещения производства, данная работа опирается на подход, признающий активную роль самих производственных систем в формировании локальных рынков труда [16] и отраслевого человеческого капитала. Автомобильные предприятия не просто «вписываются» в существующие территориально-отраслевые структуры занятости, но и активно формируют специфические профессионально-квалификационные профили регионов своей локализации. Накопленные в регионе отраслевые трудовые ресурсы, институциональная среда рынка труда и система профессиональной подготовки кадров создают условия пространственной инерционности отрасли. Это ограничивает её территориальную мобильность. Речь идёт о процессе взаимного воспроизводства территориальной организации производства и структуры занятости. Трудовые ресурсы выступают одновременно и следствием размещения предприятий, и фактором его устойчивости.

Автомобильная промышленность Канады занимает стратегически важное место в экономике страны, обеспечивая прямую занятость около 125 тысяч работников и являясь одним из крупнейших сегментов обрабатывающего сектора. Отрасль тесно интегрирована в североамериканскую производственную систему, специализируясь на сборке легковых автомобилей, производстве автокомпонентов и высокотехнологичных систем. При этом канадское автомобилестроение демонстрирует исключительно высокую степень территориальной концентрации: более 87 % занятости сосредоточено в провинции Онтарио, что формирует уникальную пространственную конфигурацию отрасли, не имеющую аналогов среди развитых автомобилестроительных стран.

Актуальность исследования трудовых ресурсов в контексте территориальной организации канадской автомобильной промышленности обусловлена несколькими факторами. Во-первых, отрасль находится в условиях глубокой технологической трансформации, связанной с переходом к электромобилям, цифровизацией производства и внедрением автоматизированных систем, что существенно изменяет структуру спроса на трудовые ресурсы и профессионально-квалификационные требования [12]. Во-вторых, высокая пространственная концентрация занятости в южной части провинции Онтарио делает регион уязвимым к потенциальным структурным изменениям и усиливает значимость вопроса о роли трудового фактора в обеспечении пространственной устойчивости отрасли. В-третьих, канадское автомобилестроение функционирует в условиях жёсткой международной конкуренции и меняющейся конфигурации североамериканских производственных цепочек, что требует понимания механизмов, обеспечивающих сохранение отрасли в традиционных регионах концентрации [13, 18].

В отличие от стран с более диверсифицированным территориальным размещением автомобильной промышленности Канада представляет собой показательный пример моноцентричной пространственной структуры отрасли, где трудовые ресурсы играют роль ключевого фактора территориальной инерционности. Накопленный отраслевой человеческий капитал, специализированные локальные рынки труда, система профессиональной подготовки кадров и институциональные условия регулирования занятости формируют устойчивую пространственную привязку производства к ограниченному числу регионов, даже в условиях потенциальной мобильности капитала.

Вместе с тем в существующих общественно-географических исследованиях трудовые ресурсы автомобильной промышленности Канады остаются недостаточно изученным фактором территориальной организации отрасли. Преобладающее внимание уделяется анализу производственных мощностей, торговым потокам и институциональным аспектам интеграции в североамериканскую

автомобилестроительную систему, тогда как роль занятости, профессионально-квалификационной структуры рабочей силы и локальных рынков труда в формировании и устойчивости пространственной структуры отрасли рассматривается эпизодически. Это определяет необходимость комплексного социально-экономико-географического исследования трудовых ресурсов канадской автомобильной промышленности с акцентом на их активную роль в территориальной организации отрасли.

Изученность проблемы. В экономико-географических исследованиях автомобильная промышленность традиционно рассматривается через призму факторов размещения, формирования промышленных кластеров и трансформации глобальных и региональных производственных цепочек. Существенное внимание уделяется пространственной концентрации производства, специализации регионов и институциональным условиям развития отрасли. Вместе с тем трудовые ресурсы нередко трактуются преимущественно как производная от размещения предприятий, тогда как их активная роль в формировании территориальной структуры отрасли остаётся недостаточно раскрытой. Классическая теория размещения производства А. Вебера рассматривает рабочую силу преимущественно в контексте минимизации издержек на труд наряду с транспортными расходами и затратами на сырьё, трактуя трудовые ресурсы как пассивный фактор производства, подчинённый общей логике оптимизации размещения. Однако современные исследования, развивающие идеи D. Massey и других представителей критической экономической географии, показывают, что труд не сводится к фактору издержек, а выступает активным элементом формирования пространственных структур промышленности, обладающим собственной инерционностью и влияющим на устойчивость территориальной организации отрасли [4, 6, 11, 15-17, 21-24].

В последние десятилетия усиливается значение качественных характеристик рабочей силы — уровня квалификации, отраслевой специализации, профессиональной мобильности и институциональных форм регулирования занятости. В условиях автоматизации, цифровизации и перехода к новым технологическим платформам трудовые ресурсы всё в большей степени выступают самостоятельным фактором пространственной устойчивости и воспроизводства промышленности, формируя устойчивые локальные рынки труда и закрепляя территориальное разделение производственных функций [16, 17, 24].

Ранее автором были проведены исследования, посвящённые занятости и территориальной структуре автомобильной промышленности в отдельных странах, включая США, Австралию, государства Европы, а также азиатские модели (Япония, Южная Корея, Китай), в которых показана связь между изменениями отраслевых рынков труда, региональной специализацией и пространственным распределением производственных мощностей [1-3, 10]. Полученные результаты позволяют рассматривать трудовые ресурсы как ключевой фактор территориальной организации автомобильной промышленности и использовать сопоставимый общественно-географический подход при анализе других национальных моделей отрасли, включая японскую модель автомобилестроения [6, 13, 18].

Автомобильная промышленность Канады представляет собой показательный объект для подобного анализа. Несмотря на относительно ограниченные масштабы производства по сравнению с ведущими мировыми центрами, отрасль играет важную роль в экономике страны, формируя специализированные промышленные регионы и обеспечивая значительный вклад в занятость. Пространственная структура канадского автомобилестроения характеризуется высокой степенью территориальной концентрации, прежде всего в южной части провинции Онтарио, а также функциональной дифференциацией регионов по стадиям производственного цикла что соответствует классической теории промышленных районов А. Маршалла и современным концепциям промышленных кластеров [4, 5, 14, 19, 20].

В то же время процессы технологической модернизации, электрификации транспорта и реструктуризации производственных цепочек усиливают значение трудового фактора и ставят новые вопросы о пространственной устойчивости отрасли и перспективах региональных рынков труда. В этом контексте возрастает необходимость комплексного социально-экономико-географического анализа трудовых ресурсов как фактора территориальной организации автомобильной промышленности Канады.

В рамках данного исследования под пространственной устойчивостью понимается сохранение территориальной локализации производства и занятости в сложившихся регионах концентрации отрасли, несмотря на технологические и рыночные изменения. Это понятие позволяет рассматривать трудовые ресурсы не только как фактор размещения, но и как фактор закрепления отрасли в определённых территориях.

Цель и задачи работы. Цель исследования — выявить особенности формирования и размещения трудовых ресурсов автомобильной промышленности Канады и определить их роль в сложившейся территориальной структуре отрасли.

Для достижения поставленной цели в работе предполагается решение следующих задач:

1. Проанализировать масштабы и динамику занятости в автомобильной промышленности Канады;
2. Выявить территориальные особенности концентрации трудовых ресурсов;
3. Дать характеристику региональной дифференциации профессионально-квалификационной структуры рабочей силы;
4. Определить роль трудовых ресурсов в формировании территориального разделения труда в отрасли;
5. Оценить перспективы отрасли, в том числе влияние дифференциации трудовых ресурсов на структурные и технологические трансформации и пространственную устойчивость автомобильной промышленности.

Материалы и методы. Методологическую основу исследования составляют положения экономической и социальной географии промышленности, концепции территориального разделения труда и пространственной организации производства, а также подходы к анализу отраслевых рынков труда. В работе трудовые ресурсы рассматриваются не как вторичный элемент размещения производства, а как активный фактор, влияющий на формирование и устойчивость территориальной структуры автомобильной промышленности.

Информационная база исследования. Эмпирической базой исследования послужили официальные статистические данные и аналитические материалы, характеризующие развитие автомобильной промышленности и рынка труда Канады. Использованы данные национальной статистики, включая показатели занятости по отраслям обрабатывающей промышленности, профессионально-квалификационную структуру рабочей силы, динамику заработной платы и региональное распределение рабочих мест за период 2010–2024 гг. Дополнительно привлечены материалы отраслевых ассоциаций автомобильной промышленности, аналитические обзоры исследовательских центров и официальные документы, отражающие особенности регулирования занятости и подготовки кадров в отрасли [4, 5, 19, 20].

Для выявления региональных различий анализ проводился на нескольких территориальных уровнях: провинциальном, уровне экономических районов и отдельных промышленных центров. Особое внимание уделялось регионам концентрации автомобильного производства и занятости, прежде всего южной части провинции Онтарио, а также районам, специализирующимся на выпуске автокомпонентов и вспомогательных производств.

Методы исследования. В работе использовался комплекс общенаучных и специальных социально-экономико-географических методов. Статистический анализ применялся для оценки масштабов занятости в автомобильной промышленности, динамики численности работников, структуры занятости по профессионально-квалификационным группам и возрастным категориям. Рассчитывались абсолютные и относительные показатели, структурные доли и темпы изменения занятости, что позволило выявить ключевые тенденции развития отраслевого рынка труда.

Сравнительно-географический метод использовался для сопоставления регионов по степени концентрации занятости, функциональной специализации и роли автомобильной промышленности в структуре региональных рынков труда. Метод позволил выявить различия между регионами сборочного производства и территориями, ориентированными на выпуск автокомпонентов и высокотехнологичных элементов производственного цикла.

Метод коэффициентов локализации и отраслевой специализации применялся для количественной оценки степени территориальной концентрации занятости в автомобильной промышленности. Расчёт коэффициентов локализации позволил определить регионы с повышенной отраслевой специализацией и выявить формирование устойчивых отраслевых рынков труда.

Анализ территориального разделения труда использовался для выявления пространственного распределения производственных функций по стадиям производственного цикла — от сборочного производства до выпуска компонентов, инженерно-технических и логистических функций. Это позволило установить взаимосвязь между специализацией регионов и структурой занятости.

Метод анализа документов использовался при изучении стратегических программ развития автомобильной промышленности, документов в сфере профессиональной подготовки кадров и материалов профсоюзных организаций, что позволило учитывать институциональные факторы формирования отраслевых рынков труда.

Ограничения исследования. Следует отметить, что исследование опирается преимущественно на агрегированные статистические данные, что ограничивает возможности анализа внутрифирменной структуры занятости и индивидуальной трудовой мобильности работников. Вместе с тем использование нескольких территориальных уровней анализа и сочетание количественных и качественных методов позволяет обеспечить достаточную репрезентативность выводов в рамках социально-экономико-географического подхода.

Результаты и их обсуждение. *Пространственная концентрация занятости в автомобильной промышленности.*

Результаты анализа показывают, что автомобильная промышленность Канады характеризуется выраженной территориальной концентрацией трудовых ресурсов. Основная часть занятости сосредоточена в ограниченном числе регионов, что свидетельствует о формировании специализированных отраслевых рынков труда и высокой степени пространственной поляризации отрасли [8, 19, 20] (см. табл. 1).

Данные таблицы 1 подтверждают исключительно высокую степень территориальной концентрации занятости в автомобильной промышленности Канады с доминирующей ролью провинции Онтарио.

Ключевым регионом концентрации занятости является провинция Онтарио, на долю которой приходится подавляющая часть рабочих мест автомобильной промышленности страны. Здесь сформировался компактный производственный ареал, приуроченный к южной части провинции, где размещены сборочные предприятия, производители автокомпонентов и связанные с ними сервисные и логистические

структуры. Высокие значения коэффициентов локализации занятости (SLQ[1]> 1,5 для Онтарио) подтверждают устойчивый характер отраслевой специализации региона и его доминирующее положение в территориальной структуре канадского автомобилестроения.

Таблица 1

Территориальная концентрация занятости в автомобильной промышленности Канады

Регион / провинция	Численность занятых, тыс. чел.	Доля в занятости отрасли, %	Коэффициент локализации	Основная специализация
Онтарио	109,2	87,2	3,82	Сборка автомобилей, автокомпоненты
Квебек	13,1	10,4	1,47	Высокотехнологичные компоненты
Прочие провинции	3,0	2,4	0,11	Дистрибуция, сервис
Итого Канада	**125,3**	**100,0**	—	—

Источник: составлено по данным Statistics Canada, CVMA, APMA.

Значительно меньшая, но функционально отличающаяся концентрация занятости характерна для провинции Квебек. В отличие от Онтарио, здесь автомобильная промышленность ориентирована преимущественно на производство компонентов и материалов, что определяет иной профиль занятости и меньшую численность работников при более высокой доле квалифицированных специалистов [7, 8, 20].

Региональная специализация и территориальное разделение труда. Пространственное распределение занятости в автомобильной промышленности отражает чётко выраженное территориальное разделение труда. Южный Онтарио специализируется преимущественно на сборочном производстве автомобилей и массовом выпуске автокомпонентов, что формирует спрос на значительное количество производственных рабочих и операторов автоматизированных линий. В этих районах наблюдается высокая доля занятых, непосредственно вовлечённых в основные стадии производственного цикла.

Квебек, напротив, выполняет функции специализированного компонентного региона, ориентированного на выпуск высокотехнологичных элементов, включая электронные системы, алюминиевые и композитные материалы. Такая специализация сопровождается повышенной долей инженерно-технических работников и специалистов с высшим образованием, а также более тесной связью автомобильной промышленности с научно-образовательной и инновационной инфраструктурой региона.

Полученные результаты подтверждают наличие функциональной дифференциации регионов, при которой территориальная структура отрасли формируется не только под влиянием факторов размещения производства, но и в соответствии со сложившейся профессионально-квалификационной структурой трудовых ресурсов.

Профессионально-квалификационная структура трудовых ресурсов. Анализ структуры занятости показывает, что автомобильная промышленность Канады опирается на сравнительно высокий уровень квалификации рабочей силы (оценивается по доле работников с профессиональным образованием и уровню средней заработной платы). Ведущую роль играют производственные рабочие, занятые на сборочных и компонентных предприятиях, однако значительная доля приходится также на

[1] **SLQ = Простой коэффициент локализации** — это показатель степени отраслевой специализации региона.

инженерно-технический персонал, специалистов в области автоматизации, логистики и управления производственными процессами [7, 19].

Региональные различия в профессионально-квалификационной структуре напрямую связаны с функциональной специализацией территорий. В регионах сборочного производства преобладают рабочие средней квалификации (среднее профессиональное образование), тогда как в компонентных и высокотехнологичных сегментах возрастает роль специалистов высокой квалификации (высшее образование, инженерно-технические специальности). Это способствует формированию устойчивых локальных рынков труда, ориентированных на конкретные стадии производственного цикла.

Трудовые ресурсы как фактор пространственной устойчивости отрасли. Результаты исследования позволяют рассматривать трудовые ресурсы как активный фактор территориальной организации автомобильной промышленности Канады. Наличие устойчивых локальных рынков труда, накопленного отраслевого человеческого капитала и развитой системы профессиональной подготовки [9], способствует сохранению и воспроизводству автомобильной промышленности в традиционных регионах концентрации даже в условиях технологических и структурных преобразований.

Особое значение роль трудовых ресурсов приобретает в контексте происходящих в отрасли структурных и технологических трансформаций. Переход к производству электромобилей, внедрение автоматизированных систем и цифровизация производственных процессов существенно изменяют требования к профессионально-квалификационной структуре занятости, однако не ведут к пространственной дезинтеграции отрасли [12]. Накопленный в регионах концентрации автомобилестроения (прежде всего в южном Онтарио) отраслевой человеческий капитал, система профессиональной подготовки и переподготовки кадров, а также развитая институциональная среда рынка труда обеспечивают адаптацию рабочей силы к новым технологическим требованиям без изменения территориальной локализации производства [9, 16]. Это подтверждает, что устойчивость территориальной структуры автомобильной промышленности определяется не только традиционными факторами размещения (близость к рынкам сбыта, транспортная доступность), но и способностью локальных рынков труда обеспечивать воспроизводство квалифицированной рабочей силы в условиях технологических изменений.

В этом отношении канадская модель автомобильной промышленности демонстрирует сходство с другими национальными моделями отрасли, где пространственная устойчивость производства во многом определяется не столько мобильностью капитала, сколько территориальной закреплённостью квалифицированной рабочей силы и институциональных условий занятости, что наблюдается также в японской модели автомобильной промышленности [5, 18].

Пространственная дифференциация автомобильной промышленности и концентрация трудовых ресурсов по регионам наглядно отражены в таблице 1, что позволяет визуализировать ключевые закономерности территориальной организации отрасли.

Полученные результаты позволяют по-новому интерпретировать территориальную организацию автомобильной промышленности Канады, рассматривая трудовые ресурсы не как пассивное следствие размещения производственных мощностей, а как самостоятельный фактор пространственной устойчивости отрасли. Высокая концентрация занятости и профессионально специализированных кадров в отдельных регионах формирует устойчивые локальные рынки труда (прежде всего в агломерациях Торонто, Ошавы, Виндзора и Сент-Катаринс в Онтарио), которые в значительной степени ограничивают пространственную мобильность отрасли.

Доминирующая роль провинции Онтарио в территориальной структуре канадского автомобилестроения объясняется не только историческими и институциональными факторами, но и накопленным отраслевым человеческим капиталом. Концентрация квалифицированной рабочей силы, наличие специализированной системы профессиональной подготовки и устойчивая занятость в смежных сегментах промышленности способствуют сохранению сборочного производства и связанных с ним функций даже в условиях реструктуризации отрасли. Это подтверждает тезис о высокой роли трудового фактора в формировании пространственной инерционности промышленного развития.

Функциональная специализация провинции Квебек, ориентированной преимущественно на компонентное и высокотехнологичное производство, отражает альтернативную модель территориальной организации отрасли. В данном случае решающим фактором выступает не масштаб занятости, а её качественные характеристики — уровень квалификации, инновационная направленность и тесная связь с научно-образовательной средой. Это позволяет рассматривать Квебек как регион, где трудовые ресурсы играют ключевую роль в формировании нишевой специализации в рамках общенациональной отраслевой системы.

Сопоставление полученных результатов с ранее проведёнными исследованиями автора по автомобильной промышленности США и Австралии позволяет выявить общие закономерности территориальной организации отрасли в развитых странах [1, 3, 10]. В частности, для всех рассмотренных национальных моделей характерна высокая пространственная концентрация занятости и функциональное разграничение регионов по стадиям производственного цикла. При этом устойчивость отрасли в традиционных центрах во многом определяется не столько текущими инвестиционными решениями корпораций, сколько наличием локализованных трудовых ресурсов и институциональной среды рынка труда.

В отличие от австралийской модели, где закрытие сборочных производств привело к резкому перераспределению занятости и ослаблению отраслевых рынков труда, канадская автомобильная промышленность демонстрирует более высокую степень пространственной устойчивости. Это связано с сохранением интеграции в североамериканские производственные цепочки и с наличием специализированных трудовых ресурсов, закреплённых за ключевыми регионами отрасли. Таким образом, канадский опыт подтверждает, что трудовые ресурсы могут выступать фактором смягчения негативных последствий структурных трансформаций промышленности.

С теоретической точки зрения результаты исследования расширяют представления о территориальном разделении труда в автомобильной промышленности, дополняя классические модели размещения производства анализом качественных характеристик занятости. В этом контексте трудовые ресурсы следует рассматривать как элемент пространственного «якоря», ограничивающего дезинтеграцию отрасли и способствующего воспроизводству её территориальной структуры в долгосрочной перспективе [11, 17, 21].

Выводы. Проведённое социально-экономико-географическое исследование позволило выявить особенности формирования и территориальной организации трудовых ресурсов автомобильной промышленности Канады и определить их роль в пространственной структуре отрасли. Полученные результаты подтверждают, что трудовые ресурсы выступают одним из ключевых факторов территориальной устойчивости автомобилестроения наряду с традиционными факторами размещения производства.

Установлено, что автомобильная промышленность Канады характеризуется высокой степенью территориальной концентрации занятости с доминирующей ролью провинции Онтарио, где сформировался устойчивый производственный ареал, опирающийся на накопленный отраслевой человеческий капитал и развитые локальные

рынки труда. Концентрация квалифицированной рабочей силы и институциональная закреплённость занятости способствуют сохранению ключевых функций отрасли в данном регионе даже в условиях структурных и технологических трансформаций.

Выявлено функциональное территориальное разделение труда, проявляющееся в специализации отдельных регионов на различных стадиях производственного цикла. Провинция Квебек выполняет преимущественно компонентную и высокотехнологичную функцию, что сопровождается иной профессионально-квалификационной структурой занятости и подчёркивает значение качественных характеристик трудовых ресурсов в формировании региональной специализации.

Сопоставление канадского опыта с результатами ранее проведённых исследований автора по автомобильной промышленности США, Австралии и отдельных европейских стран показало, что пространственная устойчивость отрасли в развитых экономиках в значительной степени определяется локализацией квалифицированных трудовых ресурсов и институциональной средой рынка труда. В этом контексте трудовые ресурсы могут рассматриваться как фактор, ограничивающий пространственную дезинтеграцию отрасли и обеспечивающий воспроизводство её территориальной структуры [1-3, 10].

Научная новизна исследования заключается в обосновании активной роли трудовых ресурсов в территориальной организации автомобильной промышленности Канады на основе концепции территориального разделения труда и теорий локализации промышленности [17, 21, 23] и в выявлении их значения как фактора пространственной устойчивости отрасли. Применение концепции пространственных структур труда Massey [15] позволило обосновать активную роль трудовых ресурсов в территориальной организации отрасли, что отличает данное исследование от классических подходов, рассматривающих труд преимущественно как фактор издержек. Полученные выводы расширяют методологические возможности социально-экономико-географического анализа промышленности и могут быть использованы при разработке региональных стратегий развития автомобильной промышленности, программ профессиональной подготовки и оценки устойчивости специализированных промышленных регионов.

Перспективы дальнейших исследований связаны с анализом пространственных последствий электрификации автомобильной промышленности, трансформации профессионально-квалификационной структуры занятости и изменения роли трудовых ресурсов в условиях перехода к новым технологическим укладам.

Использованная литература:

1. Абдиманапов Б.Ш., Гопиров М.О. Занятость в автомобильной промышленности США // Экономика и социум. 2024. № 6 (121). С. 848–854.

2. Гопиров М.О. Автомобильная промышленность Словакии // Экономика и социум. 2023. № 11 (114). С. 684–689.

3. Гопиров М.О., Рабиев Б.Б. Изменения занятости в автомобильной промышленности Австралии // Экономика и социум. 2024. № 12 (127)-2. С.1142–1148. DOI: 10.5281/zenodo.14767776.

4. Мироненко Н.С., Федорченко А.В. Эволюция территориальной структуры промышленного производства в экономически развитых странах в послевоенный период // Вестник МГУ. Серия 5. География. 1999. № 6. С. 27–32.

5. Мостовая А.С. Особенности пространственной организации автомобильной промышленности Японии в странах АСЕАН // Фундаментальные исследования. 2021. № 6. С. 64–69.

6. Федорченко А.В. Воздействие постфордизма на территориальную организацию промышленного производства: Мировой опыт: дис. ... канд. геогр. наук. М., 2002. 152 с.

7. *Automotive Parts Manufacturers' Association (APMA). Industry information and workforce development* [Электронный ресурс]. URL: https://www.apma.ca (дата обращения: 15.01.2026).

8. *Canadian Vehicle Manufacturers' Association (CVMA). Canada's auto industry drives the economy* [Электронный ресурс]. URL: https://www.cvma.ca/industry/importance/ (дата обращения: 16.01.2026).

9. *Employment and Social Development Canada. Motor Vehicle, Body, Trailer and Parts Manufacturing: Ontario 2022–2024 Sectoral Profile* [Электронный ресурс]. URL: https://jobbank-guichetemplois.service.canada.ca/SectoralProfiles/ON/2022/2022-2024MVBTP_FinalE.pdf (дата обращения: 15.02.2026).

10. Gopirov M. (2024), Changes in the territorial structure of the US automotive industry, *The Scientific Journal of Fergana State University*, No. 1 (Geography), pp. 142-152.

11. Holmes J. (2004), Re-scaling collective bargaining: union responses to restructuring in the North American auto industry, *Geoforum,* Vol. 35, No. 1, pp. 9–21. DOI: 10.1016/j.geoforum.2003.06.001.

12. *Innovation, Science and Economic Development Canada. Canadian automotive industry* [Электронный ресурс]. URL: https://ised-isde.canada.ca/site/canadian-automotive-industry/en/canadian-automotive-industry (дата обращения: 15.02.2026).

13. Lee S.M. (2011), A Comparative Study of the Automobile Industry in Japan and Korea, *Asian Survey*, Vol. 51, No. 5, pp. 876–898.

14. Marshall A. (1920), *Principles of Economics, 8th ed.*, London, 871 p.

15. Massey D. (1995), *Spatial Divisions of Labour: Social Structures and the Geography of Production, 2nd ed*., London, 396 p.

16. Rutherford, Tod & Holmes, John (2014), Manufacturing resiliency: Economic restructuring and automotive manufacturing in the Great Lakes region, *Cambridge Journal of Regions, Economy and Society*, No. 7, pp. 359-378. 10.1093/cjres/rsu014. [Электронный ресурс]. https://www.researchgate.net/publication/270777453_Manufacturing_resiliency_Economic_restructuring_and_automotive_manufacturing_in_the_Great_Lakes_region (дата обращения: 15.12.2025).

17. Scott, A. J. (1986), Industrial Organization and Location: Division of Labor, the Firm, and Spatial Process, *Economic Geography*, Vol. 62(3), p. 215. https://doi.org/10.2307/144006.

18. Shimokawa K. (2010), *Japan and the Global Automotive Industry,* Cambridge, 368 p.

19. *Statistics Canada. Table 14-10-0023-01 Labour force characteristics by industry* [Электронный ресурс]. URL: https://www150.statcan.gc.ca/t1/tbl1/en/tv.action?pid=1410002301 (дата обращения: 15.01.2026).

20. *Statistics Canada. Table 14-10-0220-02 Employment and average weekly earnings (including overtime) for all employees in the automotive industry* [Электронный ресурс]. URL: https://www150.statcan.gc.ca/t1/tbl1/en/tv.action?pid=1410022002 (дата обращения: 29.01.2026).

21. Storper M., Walker R. (1989), *The capitalist imperative: Territory, technology, and industrial growth,* Oxford, 279 p.

22. Sturgeon T., Van Biesebroeck J., Gereffi G. (2008), Value chains, networks and clusters: reframing the global automotive industry, *Journal of Economic Geography*, Vol. 8, No. 3, pp. 297–321. DOI: 10.1093/jeg/lbn007.

23. Tolliday S., Zeitlin J. (eds.) (1986), *The automobile industry and its workers: between Fordism and flexibility,* Cambridge, 348 p.

24. Wolfe D., Gertler M. (2004), Clusters from the inside and out: Local dynamics and global linkages, *Urban Studies*, Vol. 41. (5):1055-77. [Электронный ресурс]. URL: https://www.researchgate.net/publication/256114850_Clusters_from_the_Inside_and_Out_Local_Dynamics_and_Global_Linkages. (дата обращения: 15.10.2025).

References:

1. Abdimnapov B.Sh., Gopirov M.O. (2024), Employment in the automotive industry of the USA, Economy and society, no. 6 (121), pp. 848–854. (In Russ.).

2. Gopirov M.O. (2023), The automotive industry of Slovakia, Economy and society, no. 11(114), pp. 684–689. (In Russ.).

3. Gopirov M.O., Rabiev B.B. (2024), Changes in employment in the automotive industry of Australia, Economy and society, no. 12(127)-2, pp. 1142–1148, DOI: 10.5281/zenodo.14767776. (In Russ.).

4. Mironenko N.S., Fedorchenko A.V. (1999), Evolution of the territorial structure of industrial production in economically developed countries in the post-war period, *Vestnik MGU. Seriya 5. Geografiya*, No. 6, pp. 27–32. (In Russ.).

5. Mostovaya A.S. (2021), Features of the spatial organization of the Japanese automotive industry in ASEAN countries, *Fundamental researches*, No. 6, pp. 64–69. (In Russ.).

6. Fedorchenko A.V. (2002), *The impact of post-Fordism on the territorial organization of industrial production: World experience: PhD thesis*, Moscow, 152 p. (In Russ.).

7. *Automotive Parts Manufacturers' Association (APMA). Industry information and workforce development*. URL: https://www.apma.ca (Data of Access: 15.01.2026).

8. *Canadian Vehicle Manufacturers' Association (CVMA). Canada's auto industry drives the economy*. URL: https://www.cvma.ca/industry/importance/ (Data of Access: 16.01.2026).

9. *Employment and Social Development Canada. Motor Vehicle, Body, Trailer and Parts Manufacturing: Ontario 2022–2024 Sectoral Profile*. URL: https://jobbank-guichetemplois.service.canada.ca/SectoralProfiles/ON/2022/2022-2024MVBTP_FinalE.pdf (Data of Access: 15.02.2026).

10. Gopirov M. (2024), Changes in the territorial structure of the US automotive industry, *The Scientific Journal of Fergana State University*, No. 1 (Geography), pp. 142-152.

11. Holmes J. (2004), Re-scaling collective bargaining: union responses to restructuring in the North American auto industry, *Geoforum,* Vol. 35, No. 1, pp. 9–21. DOI: 10.1016/j.geoforum.2003.06.001.

12. *Innovation, Science and Economic Development Canada. Canadian automotive industry,* URL: https://ised-isde.canada.ca/site/canadian-automotive-industry/en/canadian-automotive-industry (Data of Access: 15.02.2026).

13. Lee S.M. (2011), A Comparative Study of the Automobile Industry in Japan and Korea, *Asian Survey*, Vol. 51, No. 5, pp. 876–898.

14. Marshall A. (1920), *Principles of Economics, 8th ed.*, London, 871 p.

15. Massey D. (1995), *Spatial Divisions of Labour: Social Structures and the Geography of Production, 2nd ed*., London, 396 p.

16. Rutherford, Tod & Holmes, John (2014), Manufacturing resiliency: Economic restructuring and automotive manufacturing in the Great Lakes region, *Cambridge Journal of Regions, Economy and Society*, No. 7, pp. 359-378. 10.1093/cjres/rsu014. [Электронный ресурс]. https://www.researchgate.net/publication/270777453_Manufacturing_resiliency_Economic_restructuring_and_automotive_manufacturing_in_the_Great_Lakes_region (Data of Access: 15.12.2025).

17. Scott, A. J. (1986), Industrial Organization and Location: Division of Labor, the Firm, and Spatial Process, *Economic Geography*, Vol. 62(3), p. 215. https://doi.org/10.2307/144006.

18. Shimokawa K. (2010), *Japan and the Global Automotive Industry,* Cambridge, 368 p.

19. *Statistics Canada. Table 14-10-0023-01 Labour force characteristics by industry*, URL: https://www150.statcan.gc.ca/t1/tbl1/en/tv.action?pid=1410002301 (Data of Access: 15.01.2026).

20. *Statistics Canada. Table 14-10-0220-02 Employment and average weekly earnings (including overtime) for all employees in the automotive industry,* URL: https://www150.statcan.gc.ca/t1/tbl1/en/tv.action?pid=1410022002 (Data of Access: 29.01.2026).

21. Storper M., Walker R. (1989), *The capitalist imperative: Territory, technology, and industrial growth,* Oxford, 279 p.

22. Sturgeon T., Van Biesebroeck J., Gereffi G. (2008), Value chains, networks and clusters: reframing the global automotive industry, *Journal of Economic Geography*, Vol. 8, No. 3, pp. 297–321. DOI: 10.1093/jeg/lbn007.

23. Tolliday S., Zeitlin J. (eds.) (1986), *The automobile industry and its workers: between Fordism and flexibility,* Cambridge, 348 p.

24. Wolfe D., Gertler M. (2004), Clusters from the inside and out: Local dynamics and global linkages, *Urban Studies*, Vol. 41. (5):1055-77, URL: https://www.researchgate.net/publication/256114850_Clusters_from_the_Inside_and_Out_Local_Dynamics_and_Global_Linkages. (Data of Access: 15.10.2025).

Сведения об авторе:

Гопиров Махмуджон Одилжанович – Андижанский государственный университет (Андижан, Узбекистан), доктор философии (PhD) по географическим наукам, доцент. E-mail: gopirov1978@mail.ru

Information about the author:

Gopirov Makhmudjon Odiljanovich. – Andijan State University (Andijan, Uzbekistan), PhD in Geography, Associate Professor. E-mail: gopirov1978@mail.ru

Для цитирования:

Гопиров М.О. Трудовые ресурсы в территориальной организации автомобильной промышленности Канады // Центральноазиатский журнал географических исследований. 2026. № 1-2. С. 70-81.

For citation:

Gopirov M.O. (2026), Labor resources in the territorial organization of the automotive industry of Canada, *Central Asian Journal of Geographical Researches*, No. 1-2, pp. 70-81. (In Russ.).

ГИДРОЛОГИЯ И КЛИМАТОЛОГИЯ

HYDROLOGY AND CLIMATOLOGY

УДК 556.5 + 57.087 https://doi.org/10.5281/zenodo.20785084

Мягков С.В., Страхова Н.Ю.

Научно-исследовательский гидрометеорологический институт, Ташкент, Узбекистан

КЛИМАТИЧЕСКИЕ ИЗМЕНЕНИЯ СТОКА РЕК УЗБЕКИСТАНА: АНАЛИЗ МНОГОЛЕТНИХ ТЕНДЕНЦИЙ ПО ДАННЫМ ГИДРОЛОГИЧЕСКИХ НАБЛЮДЕНИЙ

Аннотация. *В работе выполнен анализ многолетних изменений стока рек различных гидрологических районов Узбекистана до водохозяйственного воздействия с целью выявления региональных особенностей реакции речного стока на современные климатические изменения. Рассмотрены бассейны рек северо-восточной части Узбекистана (Пскем, Наувалисай, Угам, Ахангаран), склонов Ферганской долины (Чадак, Гава, Сох, Кугарт, Чангет, Зергер), а также бассейнов рек Санзар и Кашкадарьи (Яккабагдарья, Кичикурядарья, Урядарья). Для сопоставления гидрографов рек с различными диапазонами расходов воды выполнена нормализация рядов наблюдений. Проведен анализ синхронности колебаний стока рек за период вегетации (апрель-сентябрь) и построены полиномиальные линии трендов. Установлено наличие устойчивого снижения водности большинства исследуемых рек, связанного с изменением климатических условий, уменьшением снегонакопления и сокращением вклада ледникового питания.*

Ключевые слова: *климатические изменения, речной сток, гидрограф, нормализация, водные ресурсы, ледниковое питание, снеговое питание*.

Myagkov S.V., Strakhova N.N.

Hydrometeorological Research Institute, Tashkent, Uzbekistan

CLIMATE RELATED CHANGES UZBEKISTAN'S RIVER RUNOFF: ANALYSIS OF LONG-TERM TRENDS BASED ON HYDROLOGICAL OBSERVATIONS

Abstract. *This paper analyzes long-term changes in river runoff in various hydrological regions of Uzbekistan prior to water management interventions to identify regional characteristics of river runoff response to current climate change. The study examines river basins in northeastern Uzbekistan (Pskem, Nauvalisay, Ugam, and Akhangaran), the slopes of the Fergana Valley (Chadak, Gava, Sokh, Kugart, Changet, and Zerger), and the Sanzar and Kashkadarya river basins (Yakkabagdarya, Kichikuryadarya, and Uryadarya). To compare river hydrographs with different discharge ranges, observation series were normalized. The synchronicity of river runoff fluctuations during the growing season (April–September) was analyzed, and polynomial trend lines were constructed. A steady decline in water flow in most of the studied rivers was established, associated with changing climate conditions, reduced snow accumulation, and a reduced contribution from glaciers.*

Key words: *climate change, river runoff, hydrograph, normalization, water resources, glacier feed, snow feed.*

Введение и постановка проблемы. Изменение климата является одним из основных факторов трансформации гидрологического режима рек Центральной Азии. Рост температуры воздуха, изменение режима атмосферных осадков, сокращение площади ледников и изменение процессов снегонакопления оказывают

непосредственное влияние на формирование речного стока.

Для территории Узбекистана проблема особенно актуальна вследствие высокой зависимости водохозяйственного комплекса от поверхностных вод горных бассейнов. Изучение многолетней динамики расходов воды позволяет выявить закономерности климатического воздействия и оценить устойчивость водных ресурсов.

Современные исследования показывают - изменение климата становится одним из ключевых факторов трансформации водных ресурсов во всем мире. Для региона характерно сочетание роста температуры воздуха, изменения режима атмосферных осадков, сокращения площади оледенения и изменения сезонности формирования речного стока.

Согласно региональным оценкам, водные ресурсы Центральной Азии формируются преимущественно в горных районах Тянь-Шаня и Памира, а основная часть водопотребления приходится на сельское хозяйство — более 90 % общего водозабора. На фоне роста потребления воды изменение климата усиливает сезонную и межгодовую изменчивость стока рек.

Современные гидроклиматические исследования показывают двойственный эффект сокращения ледников. На начальном этапе усиление таяния может приводить к временному увеличению речного стока, однако в долгосрочной перспективе после сокращения ледниковых запасов ожидается уменьшение водности рек снегово-ледникового питания. Подобные процессы рассматриваются как один из основных факторов изменения гидрологического режима бассейнов Центральной Азии.

Для территории Узбекистана и сопредельных бассейнов наиболее уязвимыми являются реки, формирующиеся в высокогорных районах Западного Тянь-Шаня и Гиссаро-Алая. Исследования последних лет указывают на увеличение испаряемости, изменение структуры осадков и снижение устойчивости снежного покрова, что отражается на объемах сезонного стока и водообеспеченности орошаемого земледелия.

Полученные в настоящем исследовании результаты в целом согласуются с современными научными представлениями. Выявленное снижение расходов воды в бассейнах Пскема, Угама, Ахангарана, Санзара и рек Кашкадарьинского региона подтверждает тенденцию к уменьшению вклада снегового и ледникового питания в формирование речного стока. Одновременно сохранение отдельных периодов повышения водности может объясняться межгодовой изменчивостью осадков и временным усилением процессов деградации ледников.

Таким образом, наблюдаемые изменения стока рек Узбекистана являются частью более широкого регионального процесса трансформации гидрологического режима Центральной Азии под воздействием изменения климата и требуют дальнейшего развития систем мониторинга и адаптации водохозяйственного управления.

Изученность вопроса. Проблема изменения речного стока под воздействием климатических факторов относится к числу наиболее актуальных направлений современной гидрологии и климатологии. Для территории Узбекистана её значение определяется высокой зависимостью водных ресурсов от трансграничного стока и чувствительностью горных водосборов к изменению температуры воздуха и режима атмосферных осадков [1;2;3;6].

Основы изучения закономерностей формирования речного стока в Центральной Азии были заложены в работах гидрологов, где исследовались особенности снегового, ледникового и смешанного питания рек, а также пространственная и временная изменчивость водности [4;7]. Было установлено, что формирование стока рек Узбекистана определяется сочетанием климатических факторов, орографических условий и высотной зональности [8].

В последующие десятилетия внимание исследователей было сосредоточено на изучении последствий глобального изменения климата для гидрологического режима рек. Согласно оценкам Межправительственной группы экспертов по изменению

климата, повышение глобальной температуры приводит к изменению гидрологического цикла, трансформации сезонного распределения осадков и изменению характеристик поверхностного стока [6]. Особенно чувствительными оказываются бассейны рек с выраженным снеголедниковым питанием.

Для региона Центральной Азии значительный вклад в исследование климатических изменений водных ресурсов внесли работы, посвящённые анализу состояния ледников, снежного покрова и речного стока [9]. Авторы отмечают устойчивую тенденцию роста температуры воздуха в горных районах и изменение внутригодового распределения стока, что проявляется в смещении сроков половодья и изменении сезонной водности [20].

Исследования водных ресурсов бассейна Аральского моря показывают, что климатические изменения сопровождаются сложными гидрологическими последствиями — от временного увеличения стока вследствие ускоренного таяния ледников до его последующего сокращения при уменьшении ледниковых запасов [10]. Для Узбекистана данные процессы имеют особое значение вследствие высокой доли орошаемого земледелия в структуре водопользования [21].

Отдельное направление исследований связано с анализом многолетних гидрологических рядов наблюдений на реках Узбекистана. По данным национальных исследований, для ряда бассейнов (Пскем, Угам, Чаткал и др.) выявлены неоднозначные тенденции изменения среднегодового и сезонного стока, обусловленные различиями природно-климатических условий и антропогенным воздействием [11; 13].

Современный этап изучения проблемы характеризуется применением статистических методов выявления трендов, методов математической обработки временных рядов, геоинформационных технологий и климатического моделирования [5;12]. Однако для многих рек Узбекистана остаются недостаточно исследованными вопросы пространственной неоднородности изменений стока и долгосрочной адаптации водохозяйственных систем к изменяющимся климатическим условиям. Это определяет необходимость дальнейшего анализа многолетних гидрологических наблюдений и уточнения закономерностей изменения водных ресурсов.

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 [14;15;19].

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 [16;17].

В исследовании [18] утверждается, что оценка влияния изменения климата на водные ресурсы позволит учитывать возможные изменения гидрологических характеристик при планировании развития сельского хозяйства и других отраслей экономики, а также при разработке мер адаптации.

Анализ опубликованных исследований показывает, что, несмотря на значительный объём научных исследований, для рек Узбекистана сохраняется необходимость уточнения региональных закономерностей многолетних изменений стока, особенно для условий верховьев рек, где антропогенное влияние минимально и наиболее отчётливо проявляется климатическое влияние.

Цель и задачи работы. Целью работы является выявление особенностей многолетних изменений стока рек Узбекистана и определение региональных

закономерностей изменения водности в верховьях до водохозяйственной деятельности и антропогенного влияния в естественных условиях формирования стока, то есть в верховьях речных бассейнов, где влияние водохозяйственной деятельности и антропогенных факторов минимально либо отсутствует. Исследование направлено на установление характера гидрологических изменений в условиях современного изменения климата и оценку пространственно-временной неоднородности изменений водных ресурсов.

Для достижения поставленной цели решались следующие задачи исследования:
- проведен анализ многолетних рядов гидрологических наблюдений за стоком рек Узбекистана в естественных условиях формирования стока;
- оценены пространственные и временные особенности изменения водности рек в различных гидрологических районах страны и выявлены основные тенденции и закономерности многолетних колебаний речного стока в верховьях речных бассейнов;
- определена степень региональной неоднородности изменений водных ресурсов по территориям с различным изменением водности и роль климатических факторов в трансформации гидрологического режима рек при минимальном антропогенном воздействии.

Объект исследования: речной сток рек, формирующийся в верховьях речных бассейнов в условиях минимального воздействия хозяйственной деятельности.

Предмет исследования: пространственно-временные закономерности многолетних изменений речного стока и водности рек под влиянием современных климатических изменений в естественных условиях формирования стока.

Материалы и методы исследования. Для повышения достоверности интерпретации многолетних изменений речного стока анализ проводился с учетом особенностей физико-географических условий исследуемых бассейнов. В выборку включены реки, относящиеся к различным типам питания — снеговому, снегово-ледниковому и смешанному, что позволило сопоставить характер гидрологического отклика на климатические изменения в различных природных условиях.

Исходными материалами послужили ряды наблюдений гидрологических постов за среднегодовыми расходами воды, охватывающие период 1991–2025 гг. При обработке данных использовались методы статистического анализа временных рядов, включающие нормирование значений, построение сглаженных полиномиальных зависимостей и визуальный анализ синхронности гидрографов.

Применение нормализованных значений позволило исключить влияние абсолютных различий водности между реками и сосредоточить внимание на динамике относительных изменений. Такой подход широко используется при исследовании региональных гидроклиматических процессов и позволяет выделять устойчивые тенденции независимо от площади бассейна и среднего расхода воды.

Для обеспечения сопоставимости гидрографов применялась процедура нормализации расходов воды по формуле:

$$Qnorm = 1 - (Qmax-Qi) / (Qmax-Qmin) \quad , \qquad (1)$$

где Qnorm – нормализованное значение расхода воды в створе, находящееся в пределах $0 \leq Qnorm \leq 1$, Qmax – максимальный расход воды за период наблюдений, Qmin – минимальный расход воды. Qi – расход воды за i-тый год.

Для оценки долговременных изменений использованы полиномиальные линии трендов. Дополнительно учитывались сведения о современных климатических тенденциях региона: изменении среднегодовой температуры воздуха, трансформации структуры атмосферных осадков и сокращении площади горного оледенения. В исследовании использованы многолетние данные гидрологических наблюдений по бассейнам рек различных природно-климатических зон.

Результаты исследования и их обсуждение. *Бассейны рек Пскем, Наувалисай, Угам.* Пскем (гидропост «Майдантал») – река на севере Ташкентской области Узбекистана. Длина реки — 70 км, а площадь бассейна 2540 км². Режим питания — снегово-ледниковый. Истоки реки Пскем находятся в ледниках Таласского Алатау на территории Казахстана и Узбекистана, где берут своё начало две реки Майдантал и Ойгаинг, от слияния которых и берет своё начало Пскем. Притоки Пскема — горные саи, водоносность которых зависит от времени года. В период активного таяния снегов на высотах свыше 2500 метров, уровень воды в притоках существенно возрастает, отмечаются селевые явления.

Река Наувалисай (гидропост «Наволисай») – длина реки составляет 17 км, площадь бассейна — 99,4 км². Средняя высота водосбора выше посёлка Сиджак равна 1650 м. Питание сая преимущественно снеговое, также дождевое. величина среднегодового расхода воды у посёлка Сиджак — 2,99 м³/с. На период с марта по июнь приходится 65—70 % стока. Наиболее высокий расход воды наблюдался в мае (6,32 м³/с). По данным наблюдений в течение 25 лет (1964—1968, 1971, 1973—2000) сток за июль-сентябрь составляет 36,8 % от стока с марта по май, коэффициент изменчивости стока равен 0,258.

Река Угам (гидропост «Ходжикент») – горная река в Казахстане и Узбекистане, наиболее крупный правый приток реки Чирчик. Длина Угама составляет 68,5 километра, площадь бассейна — 869 км². Питание реки преимущественно снеговое, частично дождевое. Среднегодовой расход воды составляет 20,9 м³/с. Половодье начинается в марте и длится до августа. Наиболее высокие суточные расходы воды наблюдались в апреле-августе, достигая 177 м³/с в многоводные и 54,5 м³/с в маловодные годы.

Реки характеризуются преимущественно снеговым и снегово-ледниковым питанием и относятся к бассейну реки Чирчик.

Сравнение нормированных гидрографов (рис. 1) показало высокую степень синхронности межгодовых колебаний стока в период 1991–2012 гг. Это свидетельствует о доминирующем влиянии общих климатических факторов на процессы формирования стока. После 2012 года наблюдается снижение трендов по всем исследуемым рекам. Особенно выраженное уменьшение отмечается для реки Пскем, что может быть связано со снижением вклада ледникового питания. Максимальные значения трендов приходятся на 1995–1999 гг., после чего наблюдается устойчивое снижение водности.

Выявлена высокая степень синхронизации гидрографов в период 1991–2012 гг. После 2012 года отмечено снижение трендов стока, наиболее выраженное для реки Пскем. Общее снижение стока по линии тренда оценивается примерно **в** 30 %**.**

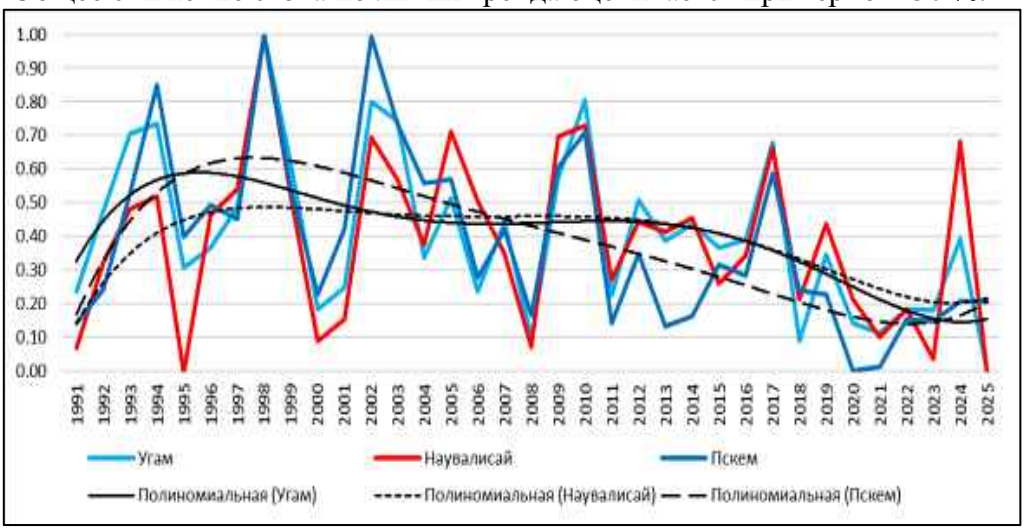


Рис. 1. Нормированные гидрографы стока рек Угам (гидропост «Ходжикент»), Наувалисай (гидропост «Наволисай»), Пскем (гидропост «Майдантал») и линии полиномиальных трендов

Бассейн реки Ахангаран. Ахангаран – река в Наманганской и Ташкентской областях Узбекистана, правый приток Сырдарьи. Ахангаран берёт начало под перевалом Бошрават (иное название — Джирдан) при слиянии Акташсай и Урталыксая, стекающих с южных склонов Чаткальского хребта. На некоторых картах началом реки Ахангаран считается место впадения левого притока Чайлисай, участок до этого места носит название Акташсай. Длина реки вместе с Акташсаем 236 км., а площадь бассейна 7710 км². Средний расход воды — 22,8 м³/с. Высота истока — 2710 м над уровнем моря. Высота устья — 260 м над уровнем моря.

Анализ гидрографа показал наличие двух выраженных максимумов линии тренда – в 1994 и 2018 годах (рис. 2). Несмотря на отдельные периоды роста водности, общая направленность изменений остается отрицательной.

Полиномиальная линия тренда показывает два максимума — 1994 и 2018 годы. За весь период наблюдений снижение величины стока составило около 55 %**,** что делает данный бассейн одним из наиболее чувствительных к климатическим изменениям.

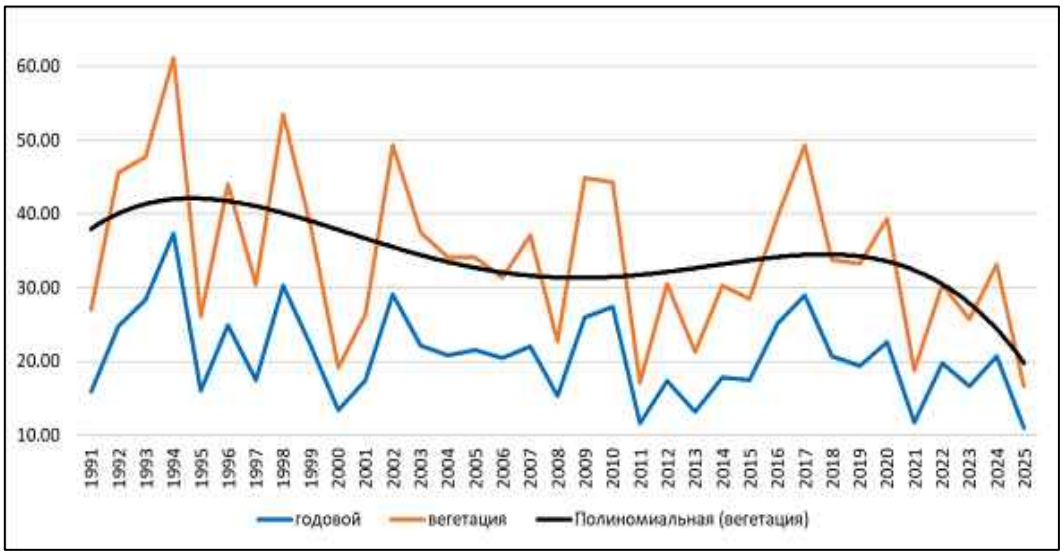


Рис. 2. Гидрограф реки Ахангаран (гидропост «Выше устья реки Ерташ») значения за вегетацию (апрель-сентябрь) и средние за год. Представлена полиномиальная линия тренда

Реки северного склона Ферганской долины. Река Чадак находится в Папском районе Наманганской области Узбекистана, левый приток Сырдарьи. Формируются в северо-западной части Ферганской долины, на юго-западном склоне Кураминского хребта. Не доносит своих вод до Сырдарьи, так как они разбираются для орошения и теряются в обширных конусах выноса. В прошлом река Ризаксай являлась правым притоком реки Чадак, сливаясь с ней ниже одноимённого посёлка, на высоте около 840 м. В настоящее время притоки Резаксай, Саваксай и Кудуксай не доходят до Чадака.

Питание снегово-ледниковое. Используется для орошения сельскохозяйственных угодий. Средние за вегетационный период расходы воды в пункте Джулайсай: норма 6,4 м³/с, наименьший 2,3 м³/с, наибольший 18,9 м³/с. Бассейн реки Чадак является лавиноопасной зоной.

Река Гава (Гавасай) — это река в Кыргызстане и Узбекистане, протекающая с южного склона Чаткальского хребта. Длина реки составляет 96 км, а площадь бассейна — 724 км². Река имеет снегово-ледниковое питание и широко используется для орошения, впадая в Северный Ферганский канал

При выходе из гор, ниже одноименного селения Гава**,** река разделяется на несколько рукавов и впадает в Северный Ферганский канал. Воды активно используются

для орошения сельскохозяйственных земель. Половодье приходится на весенние месяцы (март-май), летом река маловодна. Максимальный расход воды – 18,1 м^3/с, минимальный – 5,94 м^3/с, средний – 10,8 м^3/с.

На рис. 3 приведены нормированные гидрографы стока рек Чадак и Гава и полиномиальные линии тренда. Синхронизация стока видна на протяжении от 1991 года до 2020 года. В 2021 году наблюдается расхождение гидрографов и линий тренда. Гидрограф стока реки Чадак идет к повышению, гидрограф стока реки Гава идет к значительному снижению.

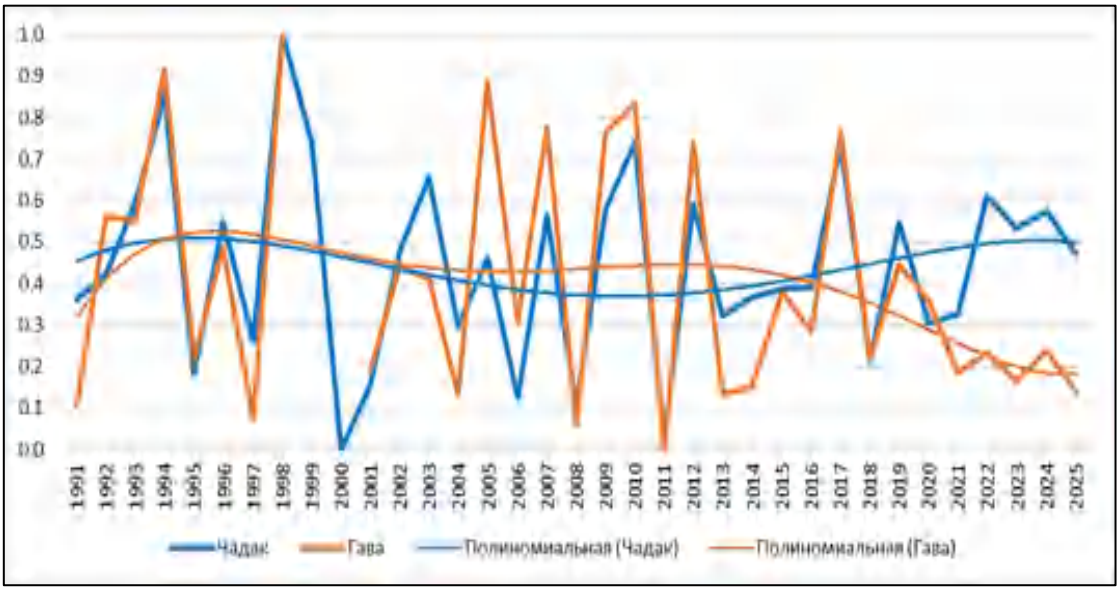


Рис. 3. Нормированные гидрографы рек Чадак (гидропост устье р. Джулайсай) и Гава (гидропост кишлак Гава). Приведены полиномиальные линии тренда.

Для рек Чадак и Гава выявлена выраженная синхронность гидрологических процессов в период 1991-2020 гг.

Для рек Чадак и Гава выявлена синхронность стока до 2020 года, после чего наблюдается расхождение трендов. После 2021 года тенденции начинают расходиться: для реки Чадак отмечается повышение водности; для реки Гава наблюдается существенное снижение расходов воды.

Подобное различие может быть связано с локальными особенностями распределения осадков и изменением условий питания бассейнов.

Бассейн реки Сох. Сох – река в Кыргызстане (Баткенская область) и Узбекистане (Ферганская область). Длина реки 124 км, площадь водосбора 3510 км².

Сох берёт начало у села Коргон на северных склонах Алайского хребта на высоте свыше 3000 м, образуется слиянием рек Ак-Терек и Ходжа-Ачкан. Течёт в основном на север. В среднем течении служит основным источником водоснабжения Сохского района (эксклав Узбекистана). В Ферганской долине полностью разбирается на орошение, теряясь в ирригационных веерах и конусах выноса. До реки Сырдарья не доходит с конца 1940-х годов. Средний расход воды у кишлака Сарыканда 42,1 м³/с. Питание смешанное, ледниково-снеговое, также подземное. Половодье наблюдается в период интенсивного таяния ледников с июня по сентябрь.

На рис. 4 приведен гидрограф реки Сох. Полиномиальный тренд имеет максимум в 2012 году и далее идет снижение тренда с минимумом в 2013 году и затем линия тренда повышается. В период с 1994 года идет повышение стока до 2013 года.

Река Сох демонстрирует иную динамику по сравнению с большинством исследованных водотоков. Полиномиальный тренд показывает рост стока с середины

1990-х годов до достижения максимума в 2012 году, после чего происходит кратковременное снижение и последующее восстановление.

Подобный характер изменений может быть обусловлен сохранением ледникового питания верхней части бассейна.

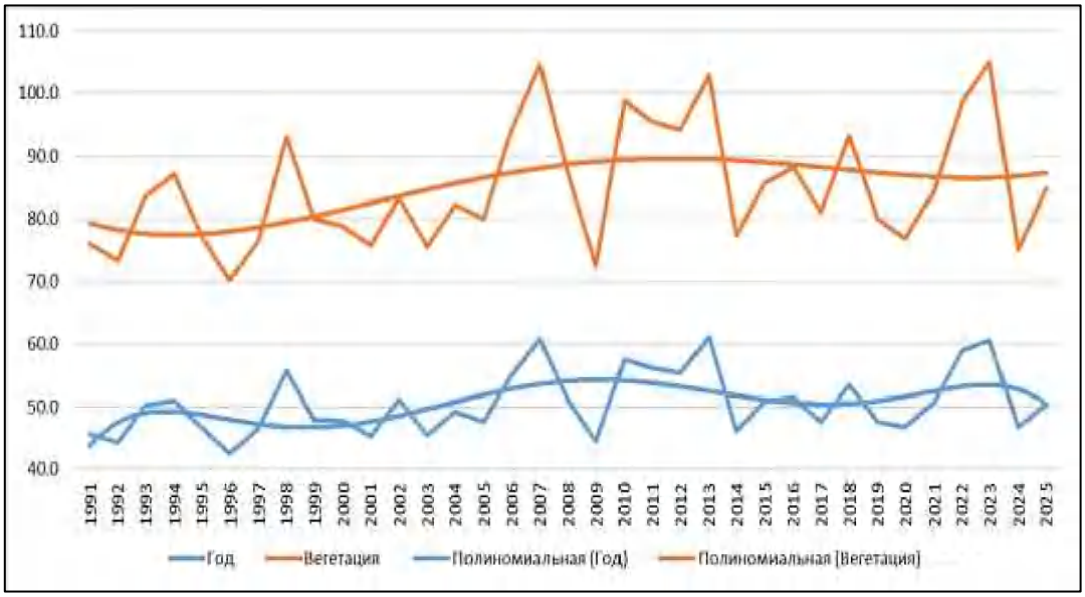


Рис. 4. Гидрограф реки Сох (гидропост Сарыканда) среднегодовые значения стока и средние за апрель-сентябрь (вегетация) и полиномиальные тренды.

Реки западных склонов Ферганского и Алайского хребтов. Кугарт – река в Сузакском районе Джалал-Абадской области Кыргызстана. Правый приток реки Карадарья. Длина 105 км, площадь водосборного бассейна 1370 км². Среднегодовой расход 18,3 м³/с. Питание снегово-дождевое. Берёт своё начало на юго-западных склонах Ферганского хребта. Крупнейшие притоки: Кызыл-Суу, Урум-Башы, Кара-Алма, Чангет. Половодье с апреля по август. Средний максимальный расход в мае 58,8 м³/с, минимальный в январе 5,43 м³/с. Материалы реки Кугарт по гидропосту «Кугарт — село Михайловка».

Река Чангет (гидропост «Чангет-Сай») находится в Джалал-Абадской области Киргизии, является левым притоком реки Кугарт. Берет начало на юго-западных склонах Ферганского хребта. В летний период или при обильных осадках уровень воды повышается, что может приводить к затоплению сельскохозяйственных угодий. Средняя высота водосбора реки Чангет 1640 м, общая площадь водосбора составляет 381 км^2. Средний многолетний расход воды 4,1 м^3/с.

Река Зергер (гидропост «Зергер — с. Зергер») протекает в Узгенском районе Ошской области Кыргызстана. Правый приток нижнего течения Яссы. Длина реки составляет 56 км или, по другим данным, 54 км (от слияния с Турпе-Суу – 33 км). Площадь водосборного бассейна — 365 км² или, по другим данным, 216 км²; средняя высота бассейна — 2020 м. Среднегодовой расход воды — 2,92 м³/с. Начинается на склонах Кокдонтау (Кулданбес) как Тоо-Камсо (Туякамов) и течёт на юг, вскоре поворачивая на юго-запад, меняет название на Талды-Суу (Талдысу, Актал) до слияния с Турпе-Суу. Устье Зергера находится в 20 км по правому берегу Яссы напротив села Озгерюш. Питается в основном за счет снега, атмосферных осадков и родниковых вод.

Для рек Кугарт, Чангет и Зергер отмечается высокая синхронность гидрографов. Однако линии трендов отличаются: тренды Кугарта и Чангета имеют тенденцию к росту в первой половине периода наблюдений; тренд Зергера демонстрирует снижение.

На рис. 5 приведены нормированные гидрографы рек западной части Ферганской долины. Заметна синхронность хода гидрографов до 2025 года. Однако линии

полиномиальных трендов несколько различаются. В период с 1991 года до 2009 года тренды рек Кугарт и Зергер имеют разную направленность. Тренды Кугарта и Чангета повышаются, а тренд Зергера понижается. После достижения максимумов (Чангет – 2002 г., Кугарт – 2014 г., Зергер – 2018 г.) все реки показывают переход к устойчивому уменьшению стока. К 2025 году зафиксировано общее снижение водности.

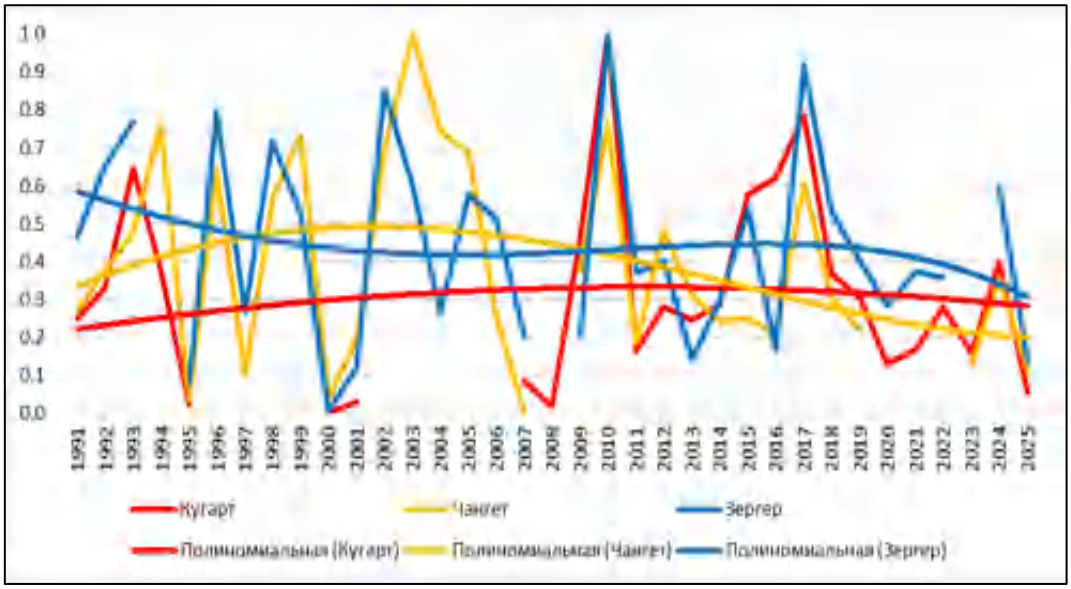


Рис.5. Нормированные гидрографы рек восточной части Ферганской долины и полиномиальные тренды.

Бассейн реки Санзар. Санзар – река в Джизакской области Узбекистана, крупнейшая река области, наряду с Зааминсу. Длина Санзара равна 198 км, площадь водосбора до начала ирригационного веера составляет 2530 км², на горную часть бассейна приходится 3220 км². Для реки своего размера Санзар («гидропост «Санзар») маловоден: среднемноголетний расход воды составляет 4 м³/с (в 158 км от устья — 2,12 м³/с). Половодье продолжается с марта по июнь (до начала июля), его пик приходится на май. Река берёт начало от слияния нескольких родников, стекающих с высот до 3400 метров на северном склоне Туркестанского хребта.

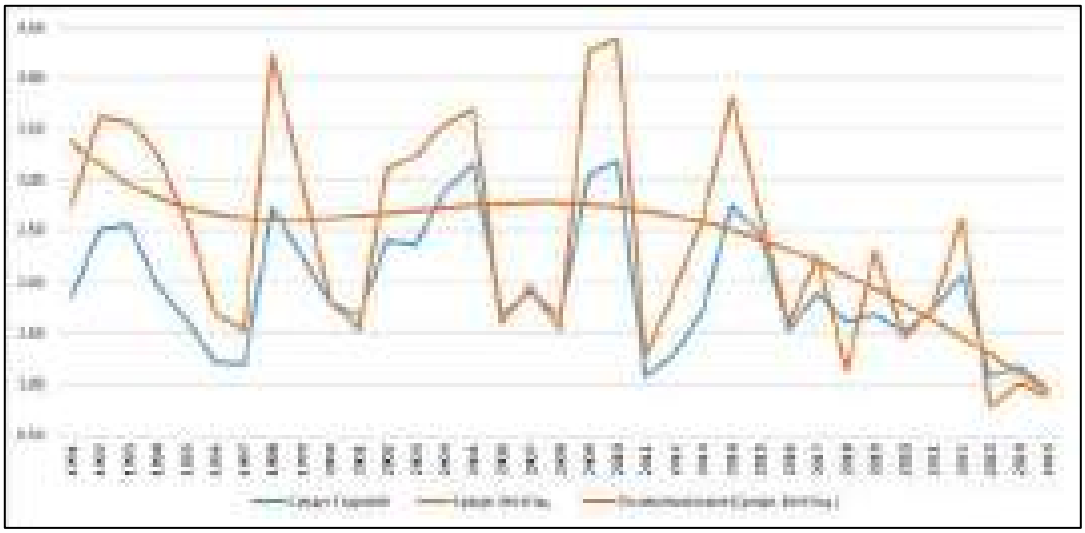


Рис.6. Гидрографы реки Санзар («гидропост «Санзар») средний годовой и средний за вегетацию и линия полиномиального тренда.

На рис. 6 приведены совмещенные гидрографы реки Санзар (створ – кишл. Кырк) за год и вегетационный период и линия полиномиального тренда. Анализ совмещенных гидрографов годового и вегетационного стока показал наличие максимума тренда в 2008 году. После указанного периода отмечается устойчивое снижение расходов воды. Для среднего вегетационного стока уменьшение составило около 37,5 %.

Реки бассейна Кашкадарьи. Яккабагдарья – река в Камашинском, Яккабагском и Шахрисабзском (концевой участок рукава Кызылсу) районах Кашкадарьинской области Узбекистана, относится к бассейну реки Кашкадарья. Вторая по полноводности река бассейна Кашкадарьи среди притоков всех порядков (после Акдарьи).

Длина Яккабагдарьи (гидропост «Татар») равна 99 км. Площадь бассейна составляет 1180 км², из которых 755 км² приходятся на водосборную площадь. Питание реки, в основном, снеговое и ледниковое. В верхнем течении река подпитывается также многочисленными впадающими ручьями родникового происхождения. Среднемноголетний расход воды, измеренный в кишлаке Татар (50 км от истока, площадь вышележащего водосбора — 514,0 км² при средней высоте 2730 м) составляет 6,11 м³/с. Для этой точки объём стока за год — 192,6 млн м³, средний модуль стока — 12,1 л/(с×км²), слой стока — 382 см/год, коэффициент изменчивости стока — 0,444 (за время наблюдений в 1930—2002 годах).

Яккабагдарье свойственно колебание расхода воды по годам. Среднегодовые показатели изменяются от 2,15 м³/с (маловодные годы) до 12,6 м³/с (многоводные годы). Половодье длится с марта по август, с мая по июль проходит основная часть стока, что вызвано снегово-ледниковым характером питания. Наибольшие суточные расходы наблюдаются в мае-июне (вплоть до 72,1 м³/с в многоводные годы и 17 м³/с — в маловодные), в конце мая наступает паводок. В июле-августе полноводность Яккабагдарьи уменьшается до 1—3 м³/с. Наименьшие расходы воды наблюдаются с декабря по март.

В районе населённого пункта Сувлисай ширина реки составляет 13 м, глубина — 70 см, скорость течения — 2,5 м/с, у населённого пункта Бешкапа ширина достигает 40 м при глубине 1,4 м, далее, в районе населённого пункта Чигатай, ширина равна 20 м при глубине 1,5 м, скорость течения близ этой точки равна 1,7 м/с. Ширина рукава Яккабагдарьи (Кзылсу) выше впадения — 18 м, глубина — 30 см, скорость течения — 0,4 м/с. Грунт дна во всех точках — каменистый. Река образуется от ледников на высоте 3949 м. Воды Яккабагдарьи используются на ирригационные нужды[9], по состоянию на середину 1970-х годов она обеспечивала орошение 22 тыс. га земель.

Кичикурядарья (также известна как Кичик-Урадарья) – горная река в Дехканабадском районе Кашкадарьинской области Узбекистана. Тип питания снегово-дождевой. Сток реки резко увеличивается в весенний период (март – май) из-за таяния сезонных снегов и выпадения интенсивных дождей. Вместе с рекой Каттаурядарья (Катта-Урадарья) является притоком, питающим Пачкамарское водохранилище. Это водохранилище имеет ключевое значение для орошения сельскохозяйственных земель в засушливом регионе. Относится к обширному бассейну реки Кашкадарья. Водные ресурсы реки активно разбираются через каналы (например, канал Гумбулак) для нужд местного орошаемого земледелия. Кичикурядарья (Кичик-Урадарья) обладает специфическим гидрологическим режимом, характерным для малых водотоков предгорий юго-западного отрога Гиссарского хребта. Наряду с рекой Катта-Урадарья она формирует основу водных ресурсов южной части Кашкадарьинского оазиса. Тип питания снегово-дождевой с выраженным преобладанием дождевого стока в весенний период. Доля подземного (родникового) питания невелика и поддерживает лишь минимальный сток в летне-осеннюю межень.

Режим стока крайне неравномерный внутри года. Около 60–70% годового объема стока проходит в период весеннего снеготаяния и ливней (с марта по май). Слияние Кичикурядарьи и Катта-Урадарьи образует реку Гузардарья, среднемноголетний расход

воды которой на входе в Пачкамарское водохранилище составляет около 4,87 м³/с. На саму Кичикурядарью приходится меньшая, более переменчивая доля общего стока. Водосбор реки сложен легкоразмываемыми породами. Годовой объем притока наносов (песок, ил, глина) в замыкающем створе формирует значительную долю из общих 0,284 млн м³ твердого стока, ежегодно поступающих в Пачкамарское водохранилище. Это приводит к заилению его «мертвого объема».

Урядарья (Катта-Урадарья) – река в Камашинском и Дехканабадском районах Кашкадарьинской области Узбекистана. Главные гидрологические характеристики реки: длина – 113 км, площадь водосборного бассейна – 1410 км², среднегодовой расход воды – 4,81 м³/с (зафиксирован у кишлака Базартепа). Тип питания – смешанный — преимущественно снеговое (за счет сезонных снегов на невысоких горах Гиссарского хребта) с примесью грунтового и дождевого питания. Режим стока – половодье наступает рано. Пик максимальных расходов приходится на апрель из-за активного таяния сезонных снегов в среднегорье. В этот же период на реке часто формируются сильные ливневые паводки и селевые потоки.

Исток: склоны Гиссарского хребта в районе перевала Харкуш на высоте около 3400 метров. Устье: сливаясь с рекой Кичик-Урадарья на высоте около 670 метров, образует реку Гузардарья. Сток регулируется Пачкамарским водохранилищем

На рис. 7 представлены нормированные расходы воды по рекам Кашкадарьи, составляющим сток реки Кашкадарьи и полиномиальные тренды. Сток рек имеет совпадение по своим значениям.

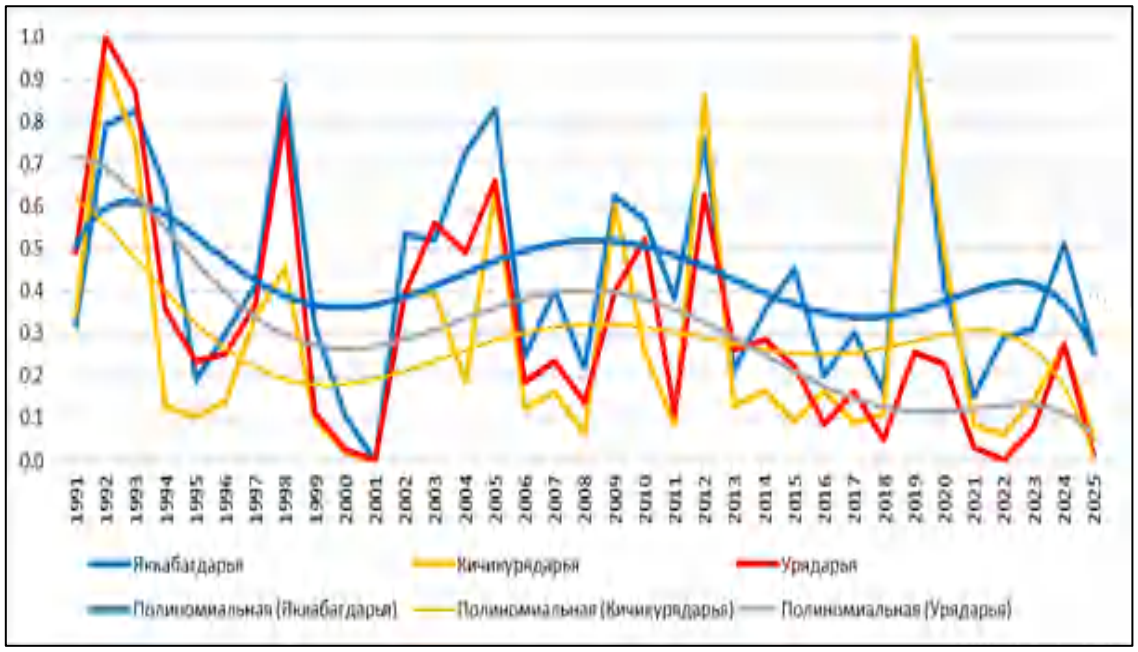


Рис. 7. Совмещенный гидрограф нормированных средних за апрель-сентябрь расходов воды рек Яккабагдарья (гидропост «Татар»), Кичикурядарья (гидропост «поселок Дехканабад»), Урядарья (гидропост «Базартепа») и полиномиальные тренды.

Полиномиальные тренды практически повторят друг друга. Общее направление тренда имеет понижающее направление, однако существуют максимумы (1992, 2009, 2022 годы) и минимумы (2000, 2017, 2025 годы). Общее понижение величины стока составляет 40%.

Для рек Яккабагдарья, Кичикурядарья и Урядарья установлена высокая согласованность межгодовых колебаний. Полиномиальные тренды демонстрируют общую нисходящую тенденцию при наличии локальных максимумов (1992, 2009, 2022

гг.**)** и минимумов **(**2000, 2017, 2025 гг.**)**. Совокупное снижение стока по полиномиальным трендам оценивается примерно в 40 %.

Полученные результаты позволяют рассматривать выявленные изменения не как локальное явление отдельных речных бассейнов, а как проявление региональной перестройки гидрологического режима рек.

Одним из ключевых механизмов трансформации водных ресурсов выступает изменение высотной структуры накопления осадков. Рост температуры приводит к увеличению доли жидких осадков в холодный период года и уменьшению продолжительности устойчивого снежного покрова. В результате снижается объем воды, аккумулируемой в зимний период и формирующей весенне-летний сток.

Дополнительным фактором является деградация ледниковых систем Западного Тянь-Шаня и Гиссаро-Алая. На ранних стадиях сокращения оледенения увеличение объёмов талых вод может временно поддерживать речной сток, однако после достижения критических значений площади ледников происходит переход к устойчивому уменьшению водности.

Полученные зависимости имеют важное прикладное значение для водохозяйственного планирования. Учитывая высокую долю орошаемого земледелия в структуре водопотребления Узбекистана, дальнейшее снижение стока может привести к усилению сезонного дефицита водных ресурсов и росту нагрузки на существующие системы регулирования.

Полученные результаты свидетельствуют о наличии устойчивых изменений гидрологического режима большинства исследуемых рек. Наиболее вероятными факторами выступают: уменьшение запасов сезонного снежного покрова; сокращение ледникового питания; изменение сезонности атмосферных осадков; рост температуры воздуха; усиление испарения в теплый период года.

Синхронность гидрографов рек различных бассейнов подтверждает региональный характер климатического воздействия.

Перспективным направлением дальнейших исследований является интеграция данных гидрологических наблюдений с климатическими моделями и дистанционными методами оценки снежно-ледниковых ресурсов.

Выводы. Проведённое исследование подтвердило наличие устойчивых изменений водного режима рек Узбекистана в условиях современного изменения климата. Анализ многолетних рядов наблюдений показал преимущественное снижение водности для большинства исследованных бассейнов при сохранении межгодовой изменчивости.

Полученные результаты свидетельствуют о формировании региональной тенденции уменьшения стока, наиболее выраженной в бассейнах снегового и снегово-ледникового питания. Наиболее чувствительным оказался бассейн реки Ахангаран, тогда как отдельные высокогорные бассейны демонстрируют временный компенсирующий эффект за счёт деградации ледников.

Практическая значимость исследования заключается в возможности использования выявленных закономерностей для: совершенствования системы гидрологического мониторинга; оценки долгосрочной водообеспеченности регионов; разработки адаптационных мер в водном хозяйстве; уточнения сценариев изменения водных ресурсов Узбекистана.

Проведённый анализ показал, что большинство рек Узбекистана демонстрируют тенденцию к уменьшению стока за последние десятилетия. Для большинства бассейнов рек характерна синхронность многолетних колебаний расходов воды. Наиболее существенное снижение стока выявлено для реки Ахангаран – до 55 %**.** Для рек Пскем, Угам и Наувалисай снижение составило около 30 %. Для бассейна Кашкадарьи уменьшение оценивается в 40 %. Снижение водности связано преимущественно с изменением климатических условий и уменьшением снегово-ледникового питания. Для

бассейнов снегово-ледникового питания наблюдается высокая синхронность многолетних колебаний. Полученные результаты подтверждают региональный характер климатических изменений.

Сопоставление результатов между исследуемыми бассейнами показывает, что степень изменения стока существенно зависит от преобладающего источника формирования водных ресурсов. Наиболее устойчивыми к изменениям оказались бассейны с выраженным ледниковым компонентом питания, где сокращение снежного покрова частично компенсируется усилением таяния ледников. Такой эффект прослеживается в бассейне реки Сох, где до начала 2010-х годов наблюдалось сохранение повышенных значений стока.

В противоположность этому бассейны преимущественно снегового питания демонстрируют более быстрое снижение расходов воды. Подобная ситуация выявлена для рек Ахангаран, Санзар и ряда притоков Кашкадарьи, где уменьшение объемов весеннего снеготаяния сопровождается снижением общего годового стока.

Следует отметить, что временное увеличение расходов в отдельные годы не противоречит общей тенденции снижения водности. Подобные колебания обусловлены естественной межгодовой изменчивостью осадков и периодическими экстремальными гидрометеорологическими событиями.

Полученные выводы могут быть использованы как научная основа для дальнейшего моделирования гидрологических процессов и формирования стратегии адаптации к климатическим изменениям.

Использованная литература:

1. Айзен В., Айзен Э., Кузьмичонок В. Ледники и гидрологические изменения в Тянь-Шане: моделирование и прогнозирование // Environmental Research Letters. 2007. 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 с. Эл. доступ: www.unesco.org/water/wwap

3. Водные ресурсы Республики Узбекистан / под ред. Ш.Р. Хасанова. Ташкент: НИГМИ, 2008. 184 с.

4. 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.

5. 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

6. Межправительственная группа экспертов по изменению климата Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Cambridge University Press, 2021. 321 с. https://doi.org/10.1017/9781009157896

7. 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.

8. Научно-информационный центр Межгосударственной координационной водохозяйственной комиссии Центральной Азии. Водные ресурсы Центральной Азии и их использование. Ташкент, 2015. 76 с.

9. Ражаббоев Н. Понимание воздействия изменения климата на доступность водных ресурсов в Центральной Азии // Общество и инновации. 2024. С. 349–355**.**

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

11. Чуб В.Е. Изменение климата и его влияние на природные ресурсы Республики Узбекистан. Ташкент: ВОРИС-НАШРИЁТ, 2007. 252 с.

12. Шиварёва С.П., Долгих С.А. Влияние изменения климата на водные ресурсы бассейнов озера Балхаш и Аральского моря // Гидрометеорология и экология. 2009. №3. С. 36-63.

13. Шульц В.Л. Реки Средней Азии. Ленинград: Гидрометеоиздат, 1965. 691 с.

14. Aizen V.B., Aizen E.M., Melack J.M. (1997), Climate, snow cover, glaciers and runoff in Central Asia, *Water Resources Research*, Vol. 33(6), pp. 1113–1129.

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

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

17. Dukhovny V.A., de Schutter J. (2011), *Water in Central Asia: Past, Present, Future*, London, 432 p.

18. Ibatullin S., Yasinskiy V., Mironenkov A. (2009), *The Impact of Climate Change on Water Resources in Central Asia*, Almaty, 44p.

19. Kundzewicz Z.W., Krysanova V. (2010), Climate change and streamflow in the Central Asian region, *Hydrological Sciences Journal*, Vol. 55(6), pp. 1085–1097.

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), 725-731.

21. Unger-Shayesteh K., Vorogushyn S., Merz B. et al. (2013), What do we know about past changes in the water cycle of Central Asian headwaters? *Global and Planetary Change*, Vol. 110, pp. 4–25.

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. *Water resources of the Republic of Uzbekistan* (2008), Edited by Sh.R. Khasanov, Tashkent,184 p. (In Russ.).

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

5. Kuzmenko Ya.V., Lisetsky 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. URL: https://science-education.ru/ru/article/view?id=7640 (In Russ.).

6. *Intergovernmental Panel on Climate Change Climate Change 2021: The Physical Science Basis* (2021), *Cambridge University Press,* 321 p. https://doi.org/10.1017/9781009157896 (In Russ.).

7. Myagkov S.V., Myagkov S.S., Khabibullaev Sh.Kh. (2022), Mountain River Runoff as an Indicator of Climate Change. *Central Asian Journal of Geographical Research,* No. 3-4, pp. 73-81. (In Russ.).

8. *Scientific Information Center of the Interstate Coordination Water Commission of Central Asia. Water Resources of Central Asia and Their Use* (2015), Tashkent, 76 p. (In Russ.).

9. Rajabboev N. (2024) Understanding the Impact of Climate Change on Water Resource Availability in Central Asia, *Society and Innovation*, pp. 349-355. (In Russ.).

10. 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.).

11. Chub V.E. (2007), *Climate Change and Its Impact on Natural Resources of the Republic of Uzbekistan*, Tashkent, 252 p. (in Russ.).

12. Shivareva S.P., Dolgikh S.A. (2009) The Impact of Climate Change on Water Resources of Lake Balkhash and the Aral Sea Basins, *Hydrometeorology and Ecology,* No. 3, pp. 36-63. (In Russ.).

13. Shults V.L. (1965), *Rivers of Middle Asia*, Leningrad, 691 p. (In Russ.).

14. Aizen V.B., Aizen E.M., Melack J.M. (1997), Climate, snow cover, glaciers and runoff in Central Asia, *Water Resources Research*, Vol. 33(6), pp. 1113–1129.

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

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

17. Dukhovny V.A., de Schutter J. (2011), *Water in Central Asia: Past, Present, Future*, London, 432 p.

18. Ibatullin S., Yasinskiy V., Mironenkov A. (2009), *The Impact of Climate Change on Water Resources in Central Asia*, Almaty, 44p.

19. Kundzewicz Z.W., Krysanova V. (2010), Climate change and streamflow in the Central Asian region, *Hydrological Sciences Journal*, Vol. 55(6), pp. 1085–1097.

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), 725-731.

21. Unger-Shayesteh K., Vorogushyn S., Merz B. et al. (2013), What do we know about past changes in the water cycle of Central Asian headwaters? *Global and Planetary Change*, Vol. 110, pp. 4–25.

Сведения об авторах:

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

Страхова Наталья Юрьевна – Научно-исследовательский гидрометеорологический институт (Ташкент, Узбекистан), базовый (PhD) докторант

Information about the authors:

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

Natalia Strakhova – Research Hydrometeorological Institute (Tashkent, Uzbekistan), basic (PhD) doctoral student

Для цитирования:

Мягков С.В., Страхова Н.Ю. Климатические изменения стока рек Узбекистана: анализ многолетних тенденций по данным гидрологических наблюдений // Центральноазиатский журнал географических исследований. 2026. № 1-2. С. 82-96.

For citation:

Myagkov S.V., Strakhova N.N. (2026), Climate related changes Uzbekistan's river runoff: analysis of long-term trends based on hydrological observations, *Central Asian Journal of Geographical Researches*, No. 1-2, pp.82-96. (In Russ.).

УДК: 551.524:575.1 https://doi.org/10.5281/zenodo.20785253

Омонов Н.О., Хурсандова Н.Р., Эшмуратова Г.Ш., Куранбоева З.Э.

Научно-исследовательский гидрометеорологический институт, Ташкент, Узбекистан

ОЦЕНКА ВЗАИМОСВЯЗИ МЕЖДУ ДАННЫМИ МЕЖДУНАРОДНЫХ БАЗ NASA POWER И CRU И МАТЕРИАЛАМИ НАЗЕМНЫХ МЕТЕОСТАНЦИЙ ПО ТЕМПЕРАТУРЕ ВОЗДУХА И АТМОСФЕРНЫМ ОСАДКАМ НА ТЕРРИТОРИИ УЗБЕКИСТАНА

Аннотация. *В статье проанализированы результаты верификации значений температуры воздуха и количества осадков, полученных из баз данных NASA POWER и CRU за период 1991–2020 гг. для территории Республики Узбекистан, на основе их сопоставления с данными наземных наблюдений температуры воздуха и годового количества осадков на 60 метеорологических станциях. Для оценки взаимосвязи между наборами данных были рассчитаны коэффициенты корреляции Пирсона, при этом метеорологические станции были сгруппированы с учетом их высотного положения над уровнем моря. В результате анализа установлено, что для некоторых высотных групп данные CRU оказываются ближе к наземным наблюдениям по сравнению с данными NASA POWER. Вместе с тем, на ряде станций зафиксированы низкие значения корреляции, что объясняется влиянием местных природно-географических условий. На основе полученных результатов оценены возможности использования реанализа и спутниковых данных при изучении температурного режима и осадков на территории Узбекистана, а также показана необходимость введения корректировок для отдельных регионов.*

Ключевые слова: *температура воздуха, осадки, NASA POWER, CRU, метеорологическая станция, коэффициент корреляции Пирсона, реанализ, верификация.*

Omonov N.O., Khursandova N.R., Eshmuratova G.Sh., Quranboeva Z.E.

Hydrometeorological Research Institute, Tashkent, Uzbekistan

EVALUATION OF THE RELATIONSHIP BETWEEN DATA FROM THE INTERNATIONAL NASA POWER AND CRU BASES AND MATERIALS FROM GROUND-BASED METEOROLOGICAL STATIONS ON AIR TEMPERATURE AND PRECIPITATION IN THE TERRITORY OF UZBEKISTAN

Abstract. *This paper analyzes the results of verifying air temperature data obtained from the NASA POWER and CRU databases for the period 1991–2020 across the territory of the Republic of Uzbekistan by comparing them with ground-based air temperature observations from 60 meteorological stations. To assess the relationship between the datasets, the Pearson correlation coefficient was calculated, and the meteorological stations were grouped according to their elevation above sea level. The analysis showed that for certain elevation groups, CRU data are closer to ground observations than those from NASA POWER. At the same time, low correlation levels were recorded at several stations, which can be explained by local natural and geographical conditions. Based on the obtained results, the possibilities of using reanalysis and satellite data for studying the temperature regime and precipitation over the territory of Uzbekistan were assessed, and the necessity of introducing corrections for certain regions was also demonstrated.*

Key words: *air temperature, precipitation, NASA POWER, CRU, meteorological station, Pearson correlation coefficient, reanalysis, verification.*

Введение и постановка проблемы. В результате глобального изменения климата в различных регионах Земли наблюдаются заметные изменения в температурном режиме, количестве атмосферных осадков, их годовом распределении, видах и

интенсивности. В одних районах фиксируется увеличение количества осадков, тогда как в других — их сокращение; одновременно отмечаются устойчивые тенденции к повышению или изменению вариабельности температуры воздуха. Атмосферные осадки и температура воздуха относятся к числу наиболее важных и, в то же время, сложных метеорологических показателей, характеризующих изменение климата, и оказывают существенное влияние на состояние метеорологических и гидрологических систем.

Для повышения эффективности научных исследований большое значение имеют международные метеорологические базы данных. В частности, база данных Climatic Research Unit (CRU), разработанная Университетом Восточной Англии (Великобритания), широко используется в международном научном сообществе. Данная база позволяет частично восполнить дефицит данных в регионах с разреженной сетью метеорологических наблюдений и служит надёжным источником информации для климатических исследований [1,7]. База данных CRU охватывает показатели температуры воздуха, атмосферных осадков, испарения и других климатических параметров за период с 1901 года по настоящее время [13].

В настоящее время в области гидрометеорологии сформирован ряд научных направлений, таких как климатология, метеорология, агрометеорология, гидрология и гляциология, каждое из которых обладает собственными методами исследований. Несмотря на это, исследования в данных направлениях в основном базируются на анализе общих метеорологических параметров, прежде всего, атмосферных осадков и температуры воздуха. Известно, что различные сферы деятельности человека непосредственно связаны с погодными и климатическими условиями, а потребность в достоверной метеорологической информации существует с давних времён.

Регулярный мониторинг метеорологических параметров и формирование электронных баз данных имеют большое практическое значение. Однако в ряде случаев под воздействием технических, организационных или природных факторов непрерывность метеорологических наблюдений может нарушаться, что приводит к появлению разрывов во временных рядах данных, как по осадкам, так и по температуре воздуха. В таких ситуациях для восполнения пропусков и использования информации в научных и прикладных исследованиях возникает необходимость обращения к международным метеорологическим базам данных.

В данной статье проанализированы возможности использования базы данных CRU, разработанной Университетом Восточной Англии (Великобритания), а также данных NASA POWER (National Aeronautics and Space Administration) при исследовании параметров атмосферных осадков и температуры воздуха [5-6, 11-12, 15-16, 18].

Изученность вопроса. Вопрос использования международных климатических баз данных для оценки и анализа метеорологических параметров является одним из актуальных направлений современных климатических исследований. В условиях ограниченности и неравномерного пространственного распределения наземных метеорологических наблюдений особую значимость приобретают глобальные и региональные реаналитические и спутниковые массивы данных, такие как CRU и NASA POWER.

Одними из первых фундаментальных работ в данном направлении являются исследования P.D.Jones, M.New, M.Hulme и соавторов, в которых были разработаны методы пространственно-временной реконструкции климатических параметров XX века. В трудах [15-16] показана возможность формирования устойчивых климатических рядов на основе интеграции наземных наблюдений и интерполяционных методов, что заложило основу для последующего развития глобальных гридированных климатических баз данных.

Значительный вклад в развитие данного направления внесли авторы работы [15], которые предложили усовершенствованный метод построения баз месячных климатических наблюдений с высоким пространственным разрешением. На основе этих

методологических подходов была создана и последовательно обновлялась серия наборов данных CRU TS, получившая широкое распространение в климатологических и гидрометеорологических исследованиях.

Современный этап развития CRU связан с работами I.Harris, T.J.Osborn, P.D.Jones и D.Lister, которые представили версию CRU TS 4 – многопараметрический климатический массив данных высокого разрешения [3]. В данных исследованиях подчёркивается высокая надёжность CRU при анализе температурных режимов, а также указывается на определённые ограничения при изучении атмосферных осадков, связанные с их высокой пространственно-временной изменчивостью.

Параллельно развивалось направление использования спутниковых и модельных данных в рамках программ NASA, в частности базы POWER. Исследования, посвящённые применению NASA POWER, в основном ориентированы на задачи оценки климатических ресурсов, агрометеорологии и возобновляемой энергетики [2, 20]. В ряде работ подчёркивается, что данные POWER характеризуются высокой временной непрерывностью и глобальным охватом, что делает их удобными для анализа климатических тенденций, особенно в регионах с редкой сетью наблюдений. При этом, несмотря на наличие отдельных работ по сопоставлению данных NASA POWER с наземными наблюдениями, исследования, выполненные с использованием предлагаемого в статье методологического подхода, в научной литературе отсутствуют.

В мировой научной литературе накоплен значительный опыт верификации и калибровки глобальных климатических баз данных. Так, в работах [10, 13] рассматриваются методы коррекции смещения (bias correction) и масштабной адаптации климатических данных, показывается, что без дополнительных поправок использование данных может приводить к систематическим ошибкам на локальном уровне. Аналогичные выводы содержатся в исследованиях [14, 17], где подчёркивается необходимость учитывать региональные природно-географические особенности при интерпретации климатических рядов.

В работах, посвящённых анализу долгосрочных климатических изменений [4, 19], показано, что глобальные базы данных, включая CRU, являются надёжным инструментом для выявления климатических трендов на междесятилетних и вековых масштабах. Однако авторы также отмечают, что для исследований экстремальных и высокоизменчивых явлений, таких как атмосферные осадки, требуется обязательная верификация по данным наземных станций.

Следует отметить, что для территории Узбекистана комплексные исследования, направленные на оценку и верификацию данных базы CRU в сопоставлении с наблюдениями наземных метеостанций, практически не проводились, что определяет научную новизну настоящей работы.

Цель и задачи исследования. Целью данного исследования является выявление взаимосвязи между данными, полученными на метеорологических станциях Узбекистана, и данными международных баз, а также разработка рекомендаций по практическому использованию этих международных информационных ресурсов.

Задачи исследования:

- проанализировать особенности пространственно-временного распределения атмосферных осадков и температуры воздуха на территории Республики Узбекистан по данным наземных метеорологических наблюдений за период 1991–2020 гг.;

- оценить степень соответствия данных международных климатических баз CRU и NASA POWER данным метеорологических станций Узбекистана для различных высотных поясов;

- выявить региональные особенности и систематические отклонения данных CRU и NASA POWER относительно наземных наблюдений.

Материалы и методы. В исследовании использованы метеорологические показатели, характеризующие режим атмосферных осадков и температуры воздуха,

зафиксированные за период 1991–2020 гг. на 60 горных, предгорных и равнинных метеорологических станциях на территории Республики Узбекистан (рис. 1), а также данные об атмосферных осадках и температуре воздуха, представленные для данной территории в международных базах данных CRU и NASA POWER.



Рис. 1. Географическое расположение метеорологических станций на территории Узбекистана, данные по которым использованы в настоящем исследовании

Карта составлена авторами.

В качестве первичных данных в исследовании использовалась база данных Climatic Research Unit (CRU), разработанная Университетом Восточной Англии (Великобритания), а также база данных POWER (Prediction Of Worldwide Energy Resources) Национального управления по аэронавтике и исследованию космического пространства США (NASA).

База данных CRU разработана в сотрудничестве Университета Восточной Англии, Национального центра атмосферных наук, Центра океанических и атмосферных наук и Школы окружающей среды и в основном основана на данных наблюдений наземных метеорологических станций. При пространственной интерполяции данных применяются методы тригрид и триангуляции, что позволяет с использованием усреднённых значений охватывать обширные территории. Точность данных в узлах координатной сетки напрямую зависит от количества метеорологических пунктов наблюдений, расположенных в пределах соответствующей ячейки.

С помощью базы данных CRU можно получить ряды основных метеорологических параметров за период 1901–2021 гг. для всех регионов мира, за исключением Антарктиды, с пространственным разрешением от координатной сетки

5°×5° до 0,25°×0,25°. Это создаёт дополнительные возможности для проведения научных исследований в районах с недостаточной плотностью метеорологических станций или при их полном отсутствии. Вместе с тем следует отметить, что в начале XX века из-за ограниченности глобальной сети метеорологических наблюдений точность данных CRU была ниже, однако по мере увеличения числа станций она постепенно повышалась (рис. 2)[6].

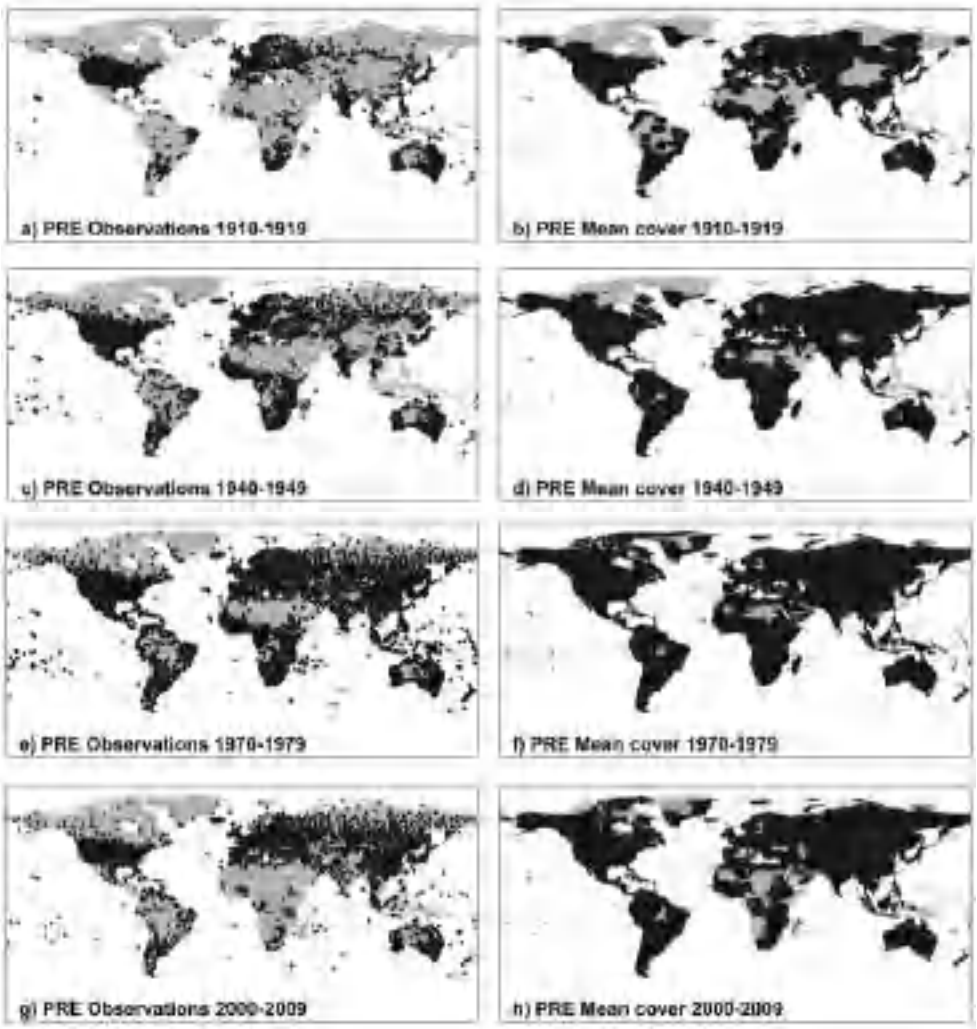


Рис. 2. Изменение распределения метеорологических станций по периодам
Источник: [7].

В регионах с большим количеством метеорологических станций расширение охвата данных наглядно показано на рис. 2 [6]. В частности, в части **a** представлено количество пунктов наблюдений в 1910–1919 гг., а в части **b** — охват данных за этот же период. В частях **c** и **e** показано увеличение числа станций в 1940–1949 и 1970–1979 гг., что привело к расширению охвата данных на изображениях **d** и **f**. Напротив, в части **g** сокращение числа станций в период 2000–2009 гг. привело к уменьшению охвата данных в части **h**.

Через базу данных CRU можно загрузить следующие среднемесячные метеорологические данные:

1. Температура воздуха;
2. Амплитуда температуры воздуха;
3. Атмосферные осадки;
4. Атмосферное давление.

CRU является подразделением климатических исследований Университета Восточной Англии и считается одним из ведущих научных центров по изучению

изменения климата. Данное подразделение формирует ряд климатических наборов данных, охватывающих температуру воздуха, осадки, атмосферное давление и амплитуду температуры в глобальном и региональном масштабах. Кроме того, на основе годовых данных CRU проводятся научные исследования изменений климата за последние 10 000 лет, а также климата Европы за последние 200 лет на основе температурных данных [22].

База данных NASA POWER разработана Национальным управлением по аэронавтике и исследованию космического пространства США (NASA), созданным после принятия Закона о национальной аэронавтике и космосе 29 июля 1958 года. В рамках своих научных программ по изучению Земли NASA на протяжении многих лет поддерживает спутниковые системы, направленные на исследование климата и климатических процессов. База данных POWER содержит долгосрочные климатические средние значения метеорологических показателей и потоков солнечной энергии.

Данные представлены в виде временных рядов среднесуточных значений основных метеорологических и солнечных параметров и отличаются глобальным охватом и временной непрерывностью. Эти особенности позволяют формировать крупные архивы данных и создают удобные условия для анализа климатических процессов. В рамках программы прикладных наук Отдела наук о Земле NASA разработан удобный картографический веб-портал, через который обеспечивается свободный доступ к базе данных POWER. Для получения данных через соответствующий веб-адрес вводятся координаты точки расположения объекта и период исследования [21-22].

Статистическая взаимосвязь между данными метеорологических станций и баз данных определялась с использованием коэффициента корреляции Пирсона (формула1).

$$r_r = \frac{cov}{\sigma_{x^*}\sigma_y} = \frac{\Sigma(x-\bar{x})(y-\bar{y})}{\sqrt{\Sigma(x-\bar{x})^2\Sigma(y-\bar{y})^2}} \qquad (1)$$

Здесь: **x, y** — переменные; **x̄, ȳ** — средние арифметические значения переменных; **cov** — коэффициент ковариации; **σx** и **σy** — среднеквадратические отклонения переменных **x** и **y**.

Результаты и их обсуждение. На данном этапе исследования значения температуры воздуха, зафиксированные на 60 метеорологических станциях на территории Узбекистана, были сопоставлены и проанализированы с данными базы NASA POWER [12] и базы данных CRU. Результаты сравнения были оценены по месяцам с использованием коэффициента корреляции Пирсона (r) (табл. 1).

Таблица 1

Сравнительный анализ (корреляция) температур воздуха, наблюдаемых на метеорологических станциях, с данными баз NASA POWER и CRU

Метеостанции	База		I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
Акбайтал	CRU	r	0,98	0,97	0,97	0,97	0,96	0,94	0,96	0,95	0,93	0,94	0,97	0,95
	NASA		0,98	0,97	0,98	0,98	0,97	0,96	0,94	0,96	0,98	0,99	0,98	0,96
Акрабад	CRU	r	0,94	0,94	0,95	0,92	0,95	0,89	0,77	0,72	0,92	0,91	0,90	0,83
	NASA		0,77	0,82	0,83	0,74	0,67	0,33	0,51	0,68	0,69	0,60	0,74	0,59
Актумсук	CRU	r	0,96	0,99	0,98	0,96	0,96	0,98	0,98	0,96	0,91	0,98	0,81	0,88
	NASA		0,92	0,94	0,97	0,95	0,93	0,93	0,92	0,90	0,90	0,96	0,81	0,90
Алмалык	CRU	r	0,97	0,99	0,97	0,96	0,97	0,90	0,73	0,85	0,92	0,95	0,98	0,97
	NASA		0,97	0,99	0,99	0,95	0,96	0,95	0,87	0,91	0,98	0,97	0,98	0,94
Андижан	CRU	r	0,92	0,94	0,92	0,94	0,96	0,94	0,85	0,79	0,91	0,93	0,93	0,85
	NASA		0,87	0,92	0,96	0,90	0,97	0,93	0,89	0,84	0,93	0,91	0,85	0,63
Ангрен	CRU	r	0,98	0,99	0,96	0,95	0,97	0,94	0,88	0,89	0,87	0,95	0,95	0,92
	NASA		0,98	0,99	0,99	0,96	0,98	0,97	0,91	0,94	0,92	0,95	0,95	0,93
Аякагытма	CRU	r	0,98	0,97	0,97	0,97	0,98	0,92	0,96	0,93	0,95	0,98	0,98	0,95

	NASA		0,97	0,98	0,98	0,97	0,97	0,94	0,94	0,94	0,95	0,98	0,98	0,95
Бахмал	CRU	r	0,93	0,97	0,96	0,93	0,95	0,91	0,76	0,63	0,78	0,92	0,91	0,86
	NASA		0,90	0,92	0,96	0,92	0,97	0,94	0,87	0,83	0,88	0,93	0,95	0,89
Бекабад	CRU	r	0,97	0,98	0,97	0,95	0,97	0,94	0,93	0,92	0,94	0,96	0,98	0,97
	NASA		0,95	0,98	0,99	0,96	0,95	0,90	0,91	0,86	0,95	0,94	0,95	0,90
Буз	CRU	r	0,92	0,94	0,92	0,93	0,95	0,93	0,78	0,86	0,89	0,92	0,91	0,81
	NASA		0,87	0,92	0,96	0,91	0,96	0,89	0,77	0,80	0,90	0,84	0,79	0,57
Бухара	CRU	r	0,99	0,98	0,97	0,97	0,98	0,93	0,96	0,96	0,96	0,97	0,97	0,97
	NASA		0,97	0,97	0,98	0,98	0,95	0,89	0,89	0,85	0,90	0,97	0,98	0,96
Бузаубай	CRU	r	0,97	0,96	0,97	0,95	0,97	0,94	0,98	0,97	0,93	0,97	0,96	0,93
	NASA		0,96	0,95	0,97	0,96	0,94	0,94	0,94	0,92	0,94	0,98	0,98	0,93
Чимбай	CRU	r	0,97	0,98	0,98	0,96	0,98	0,95	0,97	0,93	0,96	0,93	0,93	0,94
	NASA		0,95	0,95	0,96	0,97	0,96	0,95	0,92	0,95	0,94	0,98	0,98	0,95
Чимган	CRU	r	0,92	0,96	0,95	0,93	0,97	0,91	0,90	0,88	0,91	0,92	0,88	0,75
	NASA		0,97	0,99	0,98	0,98	0,98	0,96	0,95	0,96	0,97	0,98	0,98	0,96
Дахбет	CRU	r	0,98	0,98	0,97	0,96	0,97	0,94	0,94	0,91	0,94	0,97	0,97	0,95
	NASA		0,98	0,97	0,98	0,97	0,95	0,89	0,89	0,90	0,95	0,96	0,99	0,95
Дехканабад	CRU	r	0,96	0,96	0,96	0,91	0,94	0,87	0,83	0,73	0,89	0,92	0,94	0,90
	NASA		0,92	0,94	0,97	0,97	0,98	0,94	0,95	0,96	0,97	0,97	0,94	0,89
Денау	CRU	r	0,91	0,97	0,94	0,93	0,95	0,88	0,66	0,64	0,74	0,93	0,90	0,88
	NASA		0,87	0,93	0,96	0,92	0,95	0,88	0,72	0,77	0,83	0,93	0,93	0,89
Дукент	CRU	r	0,92	0,95	0,95	0,92	0,96	0,91	0,90	0,87	0,92	0,89	0,87	0,74
	NASA		0,96	0,98	0,99	0,97	0,98	0,97	0,94	0,92	0,96	0,98	0,98	0,95
Фергана	CRU	r	0,95	0,97	0,92	0,92	0,94	0,95	0,88	0,85	0,92	0,93	0,97	0,93
	NASA		0,92	0,96	0,97	0,91	0,98	0,94	0,90	0,85	0,97	0,93	0,92	0,81
Галлярал	CRU	r	0,96	0,95	0,98	0,93	0,98	0,94	0,92	0,91	0,92	0,94	0,92	0,92
	NASA		0,93	0,91	0,96	0,88	0,95	0,72	0,81	0,79	0,90	0,89	0,87	0,88
Гузар	CRU	r	0,97	0,97	0,98	0,94	0,96	0,90	0,90	0,84	0,91	0,94	0,96	0,94
	NASA		0,96	0,98	0,97	0,97	0,96	0,88	0,91	0,91	0,95	0,97	0,98	0,92
Жаслык	CRU	r	0,98	0,98	0,97	0,96	0,94	0,94	0,92	0,97	0,89	0,94	0,92	0,95
	NASA		0,89	0,92	0,95	0,93	0,94	0,89	0,90	0,93	0,89	0,96	0,98	0,92
Джизак	CRU	r	0,98	0,98	0,97	0,97	0,97	0,90	0,87	0,89	0,87	0,94	0,98	0,96
	NASA		0,96	0,97	0,98	0,95	0,96	0,87	0,90	0,88	0,94	0,95	0,97	0,92
Джангельды	CRU	r	0,98	0,99	0,98	0,96	0,98	0,88	0,98	0,93	0,95	0,96	0,96	0,98
	NASA		0,98	0,98	0,97	0,97	0,97	0,91	0,94	0,94	0,96	0,98	0,98	0,96
Ляльмикар	CRU	r	0,98	0,98	0,98	0,96	0,97	0,92	0,86	0,83	0,91	0,97	0,97	0,96
	NASA		0,98	0,98	0,99	0,96	0,97	0,91	0,88	0,93	0,97	0,98	0,99	0,97
Машикудук	CRU	r	0,97	0,98	0,97	0,95	0,98	0,91	0,96	0,95	0,96	0,97	0,98	0,97
	NASA		0,97	0,98	0,98	0,97	0,95	0,93	0,92	0,96	0,96	0,98	0,98	0,95
Мингчукур	CRU	r	0,90	0,92	0,91	0,90	0,93	0,86	0,73	0,67	0,88	0,85	0,81	0,75
	NASA		0,97	0,95	0,98	0,98	0,97	0,95	0,94	0,95	0,97	0,97	0,97	0,95
Муйнак	CRU	r	0,98	0,96	0,98	0,95	0,96	0,94	0,92	0,96	0,92	0,90	0,92	0,94
	NASA		0,90	0,92	0,95	0,94	0,91	0,85	0,76	0,85	0,86	0,92	0,97	0,95
Наманган	CRU	r	0,95	0,95	0,94	0,95	0,96	0,92	0,93	0,86	0,91	0,96	0,95	0,86
	NASA		0,90	0,94	0,97	0,93	0,97	0,93	0,92	0,87	0,95	0,95	0,91	0,73
Навои	CRU	r	0,98	0,98	0,97	0,97	0,97	0,93	0,94	0,90	0,94	0,96	0,97	0,97
	NASA		0,98	0,98	0,98	0,98	0,97	0,91	0,86	0,89	0,92	0,97	0,98	0,97
Нукус	CRU	r	0,98	0,98	0,98	0,97	0,97	0,94	0,95	0,93	0,94	0,94	0,93	0,95

	NASA		0,96	0,96	0,97	0,98	0,97	0,96	0,96	0,96	0,93	0,98	0,98	0,95
Нурабад	CRU	r	0,97	0,96	0,96	0,94	0,95	0,90	0,91	0,93	0,94	0,95	0,97	0,94
	NASA		0,98	0,97	0,97	0,95	0,97	0,89	0,87	0,90	0,94	0,96	0,97	0,94
Нурата	CRU	r	0,97	0,97	0,97	0,96	0,98	0,94	0,96	0,93	0,94	0,96	0,98	0,96
	NASA		0,97	0,98	0,98	0,97	0,97	0,92	0,90	0,93	0,95	0,96	0,97	0,93
Ойгаинг	CRU	r	0,92	0,90	0,88	0,76	0,87	0,80	0,84	0,79	0,80	0,85	0,71	0,71
	NASA		0,93	0,93	0,93	0,88	0,88	0,90	0,95	0,93	0,95	0,96	0,89	0,84
Пап	CRU	r	0,96	0,97	0,94	0,96	0,96	0,93	0,91	0,89	0,93	0,97	0,95	0,85
	NASA		0,90	0,94	0,98	0,94	0,97	0,89	0,85	0,83	0,94	0,93	0,87	0,68
Пскем	CRU	r	0,94	0,97	0,93	0,94	0,96	0,88	0,88	0,83	0,90	0,90	0,87	0,79
	NASA		0,95	0,96	0,97	0,96	0,98	0,94	0,96	0,97	0,97	0,96	0,98	0,96
Камчик	CRU	r	0,91	0,95	0,94	0,92	0,95	0,91	0,84	0,82	0,89	0,89	0,85	0,74
	NASA		0,97	0,98	0,99	0,97	0,98	0,95	0,90	0,88	0,95	0,98	0,98	0,96
Карши	CRU	r	0,90	0,96	0,95	0,96	0,96	0,83	0,86	0,80	0,90	0,88	0,97	0,95
	NASA		0,89	0,98	0,94	0,97	0,97	0,90	0,83	0,91	0,91	0,88	0,98	0,95
Кунград	CRU	r	0,97	0,98	0,98	0,96	0,97	0,95	0,93	0,93	0,92	0,93	0,91	0,93
	NASA		0,92	0,96	0,96	0,95	0,96	0,95	0,91	0,93	0,92	0,98	0,97	0,95
Коканд	CRU	r	0,93	0,96	0,93	0,93	0,88	0,68	0,45	0,40	0,50	0,81	0,91	0,86
	NASA		0,87	0,92	0,96	0,86	0,92	0,76	0,60	0,45	0,65	0,79	0,88	0,69
Каракуль	CRU	r	0,99	0,98	0,98	0,97	0,98	0,90	0,94	0,34	0,34	0,32	0,97	0,98
	NASA		0,98	0,97	0,98	0,98	0,94	0,86	0,89	0,26	0,33	0,31	0,98	0,97
Каракалпакстан	CRU	r	0,94	0,94	0,95	0,95	0,96	0,94	0,93	0,96	0,91	0,95	0,88	0,97
	NASA		0,88	0,93	0,95	0,96	0,97	0,92	0,90	0,96	0,86	0,95	0,98	0,92
Кургантепа	CRU	r	0,89	0,93	0,90	0,95	0,95	0,94	0,82	0,90	0,92	0,94	0,94	0,88
	NASA		0,89	0,92	0,96	0,91	0,98	0,92	0,85	0,87	0,95	0,93	0,91	0,77
Кува	CRU	r	0,93	0,94	0,91	0,94	0,96	0,92	0,78	0,85	0,92	0,92	0,94	0,87
	NASA		0,88	0,93	0,97	0,90	0,98	0,91	0,84	0,82	0,94	0,91	0,88	0,71
Самарканд	CRU	r	0,97	0,98	0,97	0,96	0,97	0,95	0,94	0,94	0,97	0,97	0,97	0,95
	NASA		0,96	0,98	0,98	0,94	0,93	0,84	0,88	0,86	0,95	0,95	0,98	0,94
Сариканда	CRU	r	0,91	0,96	0,93	0,94	0,95	0,95	0,86	0,88	0,92	0,94	0,93	0,82
	NASA		0,91	0,92	0,95	0,88	0,91	0,90	0,94	0,84	0,95	0,91	0,90	0,86
Шахрисабз	CRU	r	0,97	0,97	0,98	0,94	0,96	0,92	0,88	0,87	0,92	0,92	0,96	0,93
	NASA		0,95	0,97	0,97	0,93	0,95	0,86	0,91	0,86	0,92	0,92	0,95	0,90
Шахимардан	CRU	r	0,93	0,95	0,94	0,92	0,96	0,91	0,78	0,72	0,83	0,90	0,88	0,75
	NASA		0,97	0,97	0,97	0,95	0,97	0,89	0,77	0,76	0,88	0,93	0,97	0,95
Сырдарья	CRU	r	0,97	0,97	0,98	0,97	0,98	0,95	0,93	0,94	0,95	0,96	0,97	0,92
	NASA		0,97	0,96	0,99	0,95	0,96	0,90	0,86	0,89	0,91	0,95	0,95	0,89
Тахтакупыр	CRU	r	0,98	0,98	0,98	0,97	0,98	0,94	0,97	0,96	0,95	0,94	0,94	0,94
	NASA		0,95	0,95	0,96	0,97	0,95	0,95	0,92	0,94	0,95	0,98	0,97	0,95
Термез	CRU	r	0,93	0,97	0,97	0,93	0,95	0,87	0,77	0,74	0,91	0,93	0,92	0,92
	NASA		0,93	0,97	0,97	0,95	0,96	0,94	0,90	0,87	0,95	0,97	0,95	0,92
Тамды	CRU	r	0,98	0,97	0,98	0,96	0,97	0,91	0,97	0,95	0,96	0,96	0,96	0,97
	NASA		0,97	0,98	0,98	0,97	0,96	0,93	0,94	0,96	0,96	0,98	0,98	0,96
Ташкент	CRU	r	0,98	0,98	0,98	0,97	0,98	0,93	0,96	0,96	0,96	0,98	0,99	0,97
	NASA		0,97	0,99	0,99	0,95	0,94	0,92	0,93	0,88	0,94	0,95	0,98	0,94
Туябугуз	CRU	r	0,98	0,99	0,98	0,97	0,98	0,94	0,88	0,95	0,95	0,97	0,99	0,97
	NASA		0,97	0,98	0,99	0,94	0,96	0,95	0,92	0,94	0,97	0,98	0,97	0,92
Туямуюн	CRU	r	0,92	0,91	0,88	0,96	0,92	0,90	0,88	0,93	0,88	0,87	0,96	0,94

	NASA		0,92	0,92	0,87	0,97	0,90	0,93	0,87	0,90	0,87	0,87	0,99	0,95
Ургенч	CRU	r	0,98	0,97	0,98	0,96	0,97	0,91	0,95	0,95	0,97	0,96	0,95	0,95
	NASA		0,97	0,98	0,98	0,98	0,97	0,97	0,93	0,95	0,94	0,98	0,98	0,95
Хива	CRU	r	0,93	0,90	0,90	0,96	0,93	0,89	0,89	0,92	0,90	0,85	0,95	0,94
	NASA		0,92	0,92	0,90	0,96	0,92	0,94	0,87	0,92	0,87	0,89	0,99	0,96
Янгикишлак	CRU	r	0,97	0,98	0,98	0,97	0,98	0,96	0,95	0,93	0,94	0,96	0,98	0,95
	NASA		0,97	0,98	0,99	0,96	0,97	0,92	0,92	0,95	0,97	0,98	0,99	0,96
Янгиер	CRU	r	0,98	0,98	0,97	0,97	0,97	0,93	0,84	0,87	0,91	0,96	0,97	0,97
	NASA		0,98	0,97	0,99	0,97	0,97	0,95	0,91	0,94	0,96	0,95	0,97	0,94
Янгиюль	CRU	r	0,98	0,98	0,97	0,97	0,97	0,95	0,92	0,96	0,95	0,98	0,98	0,96
	NASA		0,98	0,97	0,99	0,96	0,96	0,93	0,87	0,93	0,96	0,97	0,98	0,94

Примечание: цвета представляют уровни корреляции (красный – низкий, зеленый – высокий). Расчёты произведены авторами по данным 60-ти метеорологичеких станций, данным NASA POWER и базы данных CRU.

Согласно таблице 1, по показателю температуры воздуха на большинстве станций данные обеих баз демонстрируют высокую степень соответствия с наземными наблюдениями. Особенно на ряде станций значения коэффициента корреляции **r** на протяжении года сохраняются на высоком уровне, что подтверждает достаточную возможность использования данных NASA POWER и CRU для анализа температуры воздуха. Вместе с тем на отдельных станциях (в частности, Коканд, Каракуль и Акрабад) в некоторые месяцы отмечено заметное снижение уровня взаимосвязи. Эти случаи могут быть обусловлены местными природно-географическими условиями, сложностью рельефа, особенностями размещения станций, а также пространственным обобщением данных баз (интерполяцией и гридированием).

В ходе анализа также была выявлена сезонная особенность: в целом уровень корреляции температуры воздуха в холодное полугодие года (примерно с октября по март) является более стабильным и высоким, тогда как в тёплый сезон на ряде станций отмечается некоторое его снижение. Однако данное уменьшение не оказывает существенного влияния на общие результаты и свидетельствует о том, что данные обеих баз по температуре воздуха в целом являются надёжными.

Данные по атмосферным осадкам из баз NASA POWER и CRU были также оценены путём сопоставления с наземными наблюдениями (табл. 2). Результаты сравнения показали, что уровни корреляции значительно ниже по сравнению с температурой воздуха. Это объясняется природой атмосферных осадков: они характеризуются высокой пространственно-временной изменчивостью (дискретностью) и в значительной степени зависят от локальных конвективных процессов, условий рельефа, фронтальной активности и орографического подъёма. В связи с этим данные, представленные в виде сетки (особенно интерполированные пространственные поля), в ряде случаев не могут полностью отражать точечные наземные наблюдения.

Таблица 2

Корреляция атмосферных осадков, наблюдаемых на метеорологических станциях, с данными баз NASA POWER и CRU

Метеостанции	База		I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
Акбайтал	CRU	r	0,75	0,85	0,85	0,87	0,81	0,70	0,76	0,59	0,58	0,82	0,91	0,59
	NASA		0,84	0,87	0,82	0,87	0,87	0,88	0,89	0,87	0,52	0,72	0,93	0,68
Акрабад	CRU	r	0,83	0,73	0,70	0,71	0,77	0,66	0,85	0,67	0,55	0,67	0,89	0,91
	NASA		0,47	0,12	0,21	0,14	0,45	0,40	0,74	0,42	0,00	0,39	0,48	0,20
Актумсук	CRU	r	0,39	0,08	0,62	0,70	0,62	0,34	0,40	0,29	0,36	0,07	0,51	0,68
	NASA		0,47	0,27	0,80	0,81	0,82	0,71	0,11	0,42	0,59	-0,10	0,57	0,71
Алмалык	CRU	r	0,87	0,89	0,85	0,79	0,74	0,69	0,79	0,70	0,64	0,90	0,93	0,91
	NASA		0,80	0,92	0,83	0,76	0,82	0,50	0,83	0,55	0,78	0,86	0,90	0,45
Андижан	CRU	r	0,84	0,91	0,86	0,83	0,83	0,72	0,70	0,79	0,76	0,91	0,87	0,95

	NASA		0,87	0,79	0,85	0,77	0,92	0,74	0,39	0,52	0,60	0,89	0,74	0,91
Ангрен	CRU	r	0,83	0,83	0,82	0,92	0,83	0,56	0,64	0,60	0,71	0,90	0,88	0,90
	NASA		0,78	0,89	0,80	0,73	0,88	0,53	0,67	0,54	0,55	0,89	0,72	0,68
Аякагытма	CRU	r	0,78	0,51	0,76	0,72	0,79	0,44	0,64	0,72	0,29	0,79	0,82	0,85
	NASA		0,78	0,80	0,68	0,73	0,86	0,32	0,61	0,85	0,31	0,60	0,90	0,90
Бахмал	CRU	r	0,75	0,74	0,65	0,76	0,79	0,46	0,70	0,27	0,57	0,74	0,89	0,91
	NASA		0,75	0,66	0,67	0,78	0,74	0,23	0,19	0,41	0,76	0,76	0,78	0,82
Бекабад	CRU	r	0,68	0,86	0,82	0,83	0,77	0,62	0,80	0,36	0,82	0,78	0,87	0,83
	NASA		0,66	0,64	0,75	0,74	0,81	0,44	0,81	0,25	0,63	0,70	0,85	0,47
Буз	CRU	r	0,83	0,83	0,88	0,75	0,85	0,70	0,67	0,69	0,72	0,90	0,86	0,93
	NASA		0,65	0,65	0,71	0,54	0,85	0,56	0,54	0,51	0,44	0,83	0,79	0,89
Бухара	CRU	r	0,71	0,66	0,77	0,82	0,79	0,75	0,64	0,07	0,84	0,81	0,78	0,89
	NASA		0,86	0,91	0,83	0,90	0,81	0,75	0,68	0,43	0,87	0,81	0,94	0,92
Бузаубай	CRU	r	0,71	0,80	0,71	0,80	0,86	0,54	0,55	0,46	0,65	0,76	0,68	0,90
	NASA		0,55	0,81	0,41	0,69	0,87	0,36	0,37	0,82	0,53	0,83	0,56	0,81
Чимбай	CRU	r	0,70	0,64	0,78	0,85	0,90	0,71	0,27	0,58	0,65	0,87	0,83	0,88
	NASA		0,72	0,94	0,76	0,86	0,80	0,90	0,95	0,95	0,77	0,95	0,91	0,88
Чимган	CRU	r	0,74	0,82	0,85	0,75	0,83	0,68	0,74	0,77	0,86	0,96	0,90	0,84
	NASA		0,80	0,89	0,81	0,82	0,78	0,68	0,74	0,82	0,86	0,97	0,93	0,83
Дахбет	CRU	r	0,73	0,76	0,67	0,86	0,86	0,38	0,89	0,31	0,78	0,85	0,88	0,90
	NASA		0,78	0,83	0,75	0,90	0,81	0,86	0,83	0,77	0,79	0,89	0,93	0,89
Дехканабад	CRU	r	0,84	0,72	0,72	0,81	0,71	0,54	0,19	0,29	0,51	0,55	0,86	0,88
	NASA		0,74	0,81	0,60	0,84	0,56	0,67	0,15	0,83	0,57	0,86	0,90	0,82
Денау	CRU	r	0,69	0,45	0,61	0,85	0,65	0,54	0,46	0,18	0,63	0,69	0,72	0,81
	NASA		0,72	0,49	0,48	0,72	0,77	0,75	0,18	0,29	0,48	0,77	0,79	0,80
Дукент	CRU	r	0,79	0,77	0,89	0,86	0,85	0,62	0,83	0,30	0,75	0,91	0,92	0,84
	NASA		0,76	0,85	0,80	0,82	0,88	0,69	0,74	0,36	0,80	0,90	0,87	0,63
Фергана	CRU	r	0,79	0,84	0,76	0,75	0,83	0,60	0,83	0,63	0,59	0,86	0,76	0,92
	NASA		0,92	0,84	0,89	0,90	0,95	0,81	0,65	0,19	0,77	0,94	0,73	0,94
Галлярал	CRU	r	0,81	0,72	0,69	0,84	0,83	0,70	0,85	0,39	0,70	0,83	0,82	0,88
	NASA		0,54	0,53	0,31	0,65	0,75	0,69	0,50	0,78	0,09	0,71	0,65	0,75
Гузар	CRU	r	0,73	0,66	0,60	0,79	0,82	0,66	0,63	0,53	0,76	0,59	0,90	0,86
	NASA		0,82	0,81	0,67	0,54	0,85	0,66	0,74	0,49	0,67	0,78	0,94	0,93
Жаслык	CRU	r	0,48	0,36	0,56	0,62	0,56	0,36	-0,08	0,53	0,61	0,73	0,88	0,75
	NASA		0,92	0,74	0,93	0,91	0,75	0,70	0,89	0,48	0,79	0,88	0,87	0,93
Джизак	CRU	r	0,65	0,70	0,84	0,79	0,67	0,50	0,59	0,44	0,69	0,87	0,87	0,94
	NASA		0,77	0,85	0,83	0,90	0,86	0,63	0,71	0,69	0,73	0,89	0,93	0,69
Джангельды	CRU	r	0,76	0,70	0,71	0,56	0,78	0,18	0,62	0,71	0,01	0,83	0,75	0,86
	NASA		0,77	0,83	0,77	0,86	0,93	0,00	0,86	0,77	0,73	0,66	0,84	0,89
Ляльмикар	CRU	r	0,81	0,69	0,75	0,87	0,82	0,53	0,80	0,43	0,62	0,87	0,87	0,93
	NASA		0,76	0,81	0,81	0,91	0,84	0,56	0,66	0,86	0,90	0,91	0,92	0,82
Машикудук	CRU	r	0,74	0,43	0,72	0,67	0,77	0,54	0,70	0,55	0,54	0,58	0,80	0,77
	NASA		0,72	0,85	0,72	0,76	0,86	0,71	0,92	0,86	0,93	0,44	0,82	0,88
Мингчукур	CRU	r	0,76	0,80	0,78	0,71	0,81	0,62	0,60	0,81	0,49	0,66	0,81	0,80
	NASA		0,62	0,67	0,72	0,72	0,64	0,79	0,71	0,40	0,66	0,86	0,82	0,83
Муйнак	CRU	r	0,54	0,43	0,57	0,48	0,71	0,87	0,50	0,63	0,41	0,75	0,80	0,69
	NASA		0,39	0,58	0,33	0,41	0,62	0,72	-0,01	-0,01	0,36	0,57	0,63	0,62
Наманган	CRU	r	0,76	0,88	0,85	0,73	0,72	0,77	0,61	0,84	0,49	0,71	0,88	0,91
	NASA		0,78	0,90	0,88	0,87	0,90	0,93	0,69	0,79	0,78	0,87	0,86	0,92
Навои	CRU	r	0,72	0,58	0,72	0,80	0,78	0,43	0,78	0,77	0,69	0,75	0,90	0,91
	NASA		0,94	0,88	0,88	0,92	0,81	0,40	0,56	0,59	0,85	0,78	0,94	0,90
Нукус	CRU	r	0,78	0,58	0,63	0,89	0,88	0,55	0,10	0,72	0,75	0,86	0,77	0,91
	NASA		0,58	0,90	0,87	0,85	0,87	0,81	0,93	0,91	0,97	0,90	0,87	0,95
Нурабад	CRU	r	0,69	0,69	0,70	0,83	0,82	0,63	0,75	0,40	0,77	0,79	0,89	0,78
	NASA		0,80	0,90	0,63	0,65	0,74	0,42	0,79	0,56	0,66	0,81	0,94	0,87
Нурата	CRU	r	0,67	0,47	0,78	0,86	0,79	0,54	0,54	0,76	0,68	0,63	0,91	0,90
	NASA		0,92	0,96	0,94	0,95	0,99	0,94	0,95	0,98	0,81	0,83	0,95	0,97

Ойгаинг	**CRU**	**r**	0,75	0,74	0,86	0,85	0,62	0,60	0,79	0,66	0,72	0,88	0,86	0,70
	NASA		0,80	0,78	0,81	0,84	0,57	0,78	0,73	0,89	0,85	0,93	0,91	0,87
Пап	**CRU**	**r**	0,87	0,77	0,77	0,83	0,80	0,55	0,59	0,76	0,75	0,73	0,82	0,88
	NASA		0,58	0,79	0,76	0,40	0,79	0,44	0,53	0,53	0,41	0,65	0,71	0,72
Пскем	**CRU**	**r**	0,78	0,80	0,90	0,93	0,85	0,79	0,82	0,74	0,79	0,89	0,90	0,87
	NASA		0,89	0,91	0,91	0,84	0,86	0,90	0,92	0,89	0,91	0,95	0,97	0,89
Камчик	**CRU**	**r**	0,67	0,75	0,78	0,90	0,80	0,64	0,70	0,55	0,64	0,78	0,78	0,78
	NASA		0,58	0,83	0,74	0,77	0,81	0,68	0,60	0,54	0,62	0,86	0,78	0,79
Карши	**CRU**	**r**	0,56	0,68	0,66	0,81	0,87	0,54	0,65	0,37	0,75	0,55	0,86	0,77
	NASA		0,90	0,90	0,84	0,61	0,80	0,83	0,95	0,93	0,87	0,90	0,91	0,94
Кунград	**CRU**	**r**	0,68	0,56	0,66	0,52	0,88	0,60	0,21	0,70	0,58	0,70	0,69	0,79
	NASA		0,32	0,55	0,55	0,42	0,58	0,66	0,32	0,24	0,54	0,77	0,77	0,76
Коканд	**CRU**	**r**	0,79	0,68	0,76	0,72	0,70	0,60	0,64	0,43	0,63	0,44	0,79	0,85
	NASA		0,82	0,66	0,76	0,77	0,63	0,57	0,35	0,15	0,45	0,53	0,66	0,88
Каракуль	**CRU**	**r**	0,78	0,74	0,79	0,80	0,75	0,33	0,36	0,04	0,64	0,78	0,90	0,86
	NASA		0,84	0,91	0,85	0,91	0,91	0,54	0,55	0,52	0,83	0,82	0,95	0,92
Каракал-пакстан	**CRU**	**r**	0,49	0,40	0,80	0,82	0,66	0,46	0,56	0,49	0,58	0,71	0,81	0,74
	NASA		0,62	0,83	0,90	0,73	0,64	0,64	0,58	0,80	0,72	0,72	0,88	0,89
Кургантепа	**CRU**	**r**	0,89	0,87	0,86	0,82	0,84	0,49	0,67	0,73	0,64	0,95	0,86	0,89
	NASA		0,88	0,83	0,87	0,76	0,80	0,59	0,29	0,64	0,59	0,86	0,75	0,88
Кува	**CRU**	**r**	0,83	0,92	0,84	0,82	0,85	0,55	0,87	0,69	0,67	0,89	0,83	0,94
	NASA		0,94	0,87	0,89	0,86	0,85	0,60	0,56	0,15	0,70	0,95	0,69	0,96
Самарканд	**CRU**	**r**	0,75	0,73	0,53	0,87	0,85	0,63	0,90	0,34	0,75	0,79	0,89	0,90
	NASA		0,80	0,82	0,80	0,79	0,79	0,84	0,93	0,89	0,85	0,89	0,94	0,93
Сариканда	**CRU**	**r**	0,70	0,66	0,71	0,67	0,68	0,66	0,59	0,37	0,48	0,81	0,69	0,77
	NASA		0,56	0,46	0,60	-0,03	0,58	0,25	0,56	0,10	0,37	0,57	0,61	0,69
Шахрисабз	**CRU**	**r**	0,78	0,77	0,82	0,82	0,85	0,51	0,79	0,47	0,74	0,69	0,93	0,90
	NASA		0,64	0,79	0,76	0,70	0,83	0,41	0,79	0,73	0,71	0,85	0,93	0,86
Шахимардан	**CRU**	**r**	0,71	0,53	0,73	0,46	0,64	0,52	0,66	0,20	0,58	0,81	0,71	0,78
	NASA		0,58	0,52	0,41	0,13	0,56	0,68	0,60	0,21	0,31	0,56	0,74	0,61
Сырдарья	**CRU**	**r**	0,87	0,82	0,85	0,84	0,86	0,62	0,79	0,67	0,73	0,89	0,86	0,93
	NASA		0,85	0,96	0,83	0,92	0,90	0,66	0,89	0,92	0,86	0,96	0,98	0,43
Тахтакупыр	**CRU**	**r**	0,73	0,60	0,63	0,83	0,79	0,62	0,50	0,61	0,57	0,87	0,74	0,88
	NASA		0,64	0,84	0,70	0,75	0,76	0,78	0,33	0,87	0,81	0,86	0,88	0,87
Термез	**CRU**	**r**	0,63	0,27	0,72	0,81	0,91	0,35	0,00	0,00	0,00	0,56	0,57	0,95
	NASA		0,90	0,90	0,79	0,80	0,79	0,77	0,97	0,03	0,75	0,82	0,94	0,96
Тамды	**CRU**	**r**	0,82	0,43	0,73	0,70	0,81	0,49	0,82	0,74	0,21	0,78	0,77	0,79
	NASA		0,69	0,80	0,78	0,98	0,94	0,78	0,98	0,99	0,80	0,88	0,89	0,87
Ташкент	**CRU**	**r**	0,85	0,86	0,71	0,80	0,93	0,64	0,80	0,66	0,81	0,90	0,91	0,94
	NASA		0,89	0,94	0,84	0,91	0,88	0,90	0,80	0,84	0,90	0,96	0,98	0,78
Туябугуз	**CRU**	**r**	0,81	0,89	0,79	0,79	0,75	0,45	0,64	0,72	0,70	0,91	0,90	0,94
	NASA		0,80	0,96	0,79	0,90	0,76	0,64	0,81	0,85	0,79	0,94	0,96	0,42
Туямуюн	**CRU**	**r**	0,74	0,72	0,58	0,67	0,84	0,80	0,36	0,24	0,81	0,80	0,85	0,94
	NASA		0,80	0,80	0,78	0,64	0,94	0,66	0,28	0,45	0,79	0,75	0,90	0,86
Ургенч	**CRU**	**r**	0,88	0,74	0,81	0,76	0,87	0,77	0,79	0,49	0,85	0,91	0,87	0,94
	NASA		0,82	0,89	0,85	0,93	0,97	0,92	0,92	0,47	0,81	0,87	0,95	0,96
Хива	**CRU**	**r**	0,89	0,72	0,77	0,71	0,82	0,81	0,61	0,47	0,75	0,75	0,74	0,90
	NASA		0,63	0,83	0,71	0,77	0,90	0,83	0,37	0,51	0,50	0,61	0,77	0,85
Янгикишлак	**CRU**	**r**	0,66	0,71	0,74	0,79	0,67	0,49	0,52	0,53	0,81	0,79	0,87	0,85
	NASA		0,74	0,79	0,76	0,86	0,68	0,52	0,58	0,64	0,80	0,83	0,95	0,83
Янгиер	**CRU**	**r**	0,61	0,82	0,80	0,83	0,77	0,75	0,64	0,47	0,67	0,86	0,88	0,85
	NASA		0,67	0,73	0,76	0,76	0,82	0,78	0,64	0,31	0,49	0,78	0,86	0,26
Янгиюль	**CRU**	**r**	0,86	0,83	0,70	0,84	0,85	0,69	0,81	0,27	0,77	0,88	0,89	0,94
	NASA		0,90	0,96	0,85	0,93	0,86	0,83	0,86	0,63	0,86	0,96	0,97	0,40

Примечание: цвета представляют уровни корреляции (красный – низкий, зеленый – высокий). Расчёты произведены авторами по данным 60-ти метеорологичеких станций, данным NASA POWER и базы данных CRU.

В таблице 2 отмечено, что в отдельные месяцы более высокая степень взаимосвязи наблюдается для данных NASA POWER, тогда как в ряде случаев для данных CRU фиксируются более низкие значения корреляции. Это может быть связано с тем, что данные CRU имеют «площадной» характер, то есть формируются на основе интерполяции данных наблюдательной сети. Вместе с тем ряд случаев, выделенных в таблице жёлтым цветом, указывает на «удовлетворительный» уровень соответствия для данных по осадкам и свидетельствует о необходимости проявлять осторожность при прямом использовании базовых данных по данному параметру.

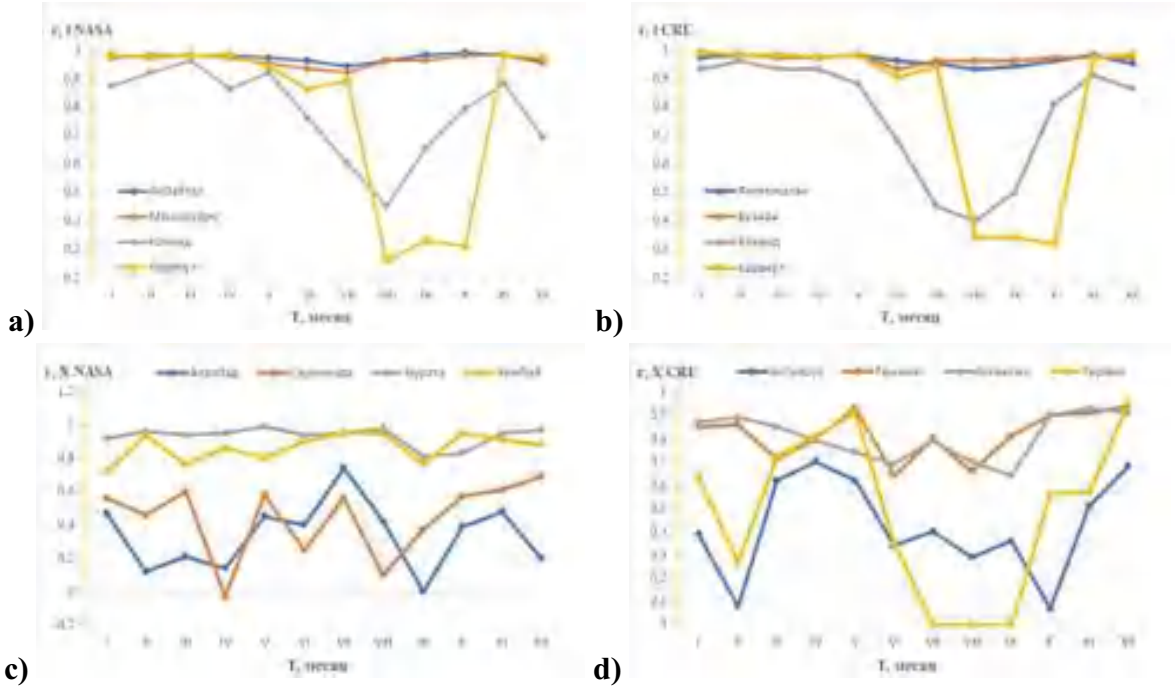


Рис. 3. Графики взаимосвязи значений температуры воздуха и атмосферных осадков на метеорологических станциях с данными баз NASA POWER и CRU

Рисунок составлен авторами.

Взаимосвязь значений температуры воздуха и атмосферных осадков по материалам наблюдений на метеостанциях с данными баз NASA POWER и CRU (их изменение во времени) представлена в графическом виде, при этом данные материалы дополнительно подтверждают результаты, полученные в таблицах (рис. 3a–b). Согласно графическому анализу, на станциях Акбайтал, Машикудук, Бухара, Янгикишлак, Нурата, Чимбай, Ташкент и Алмалык уровень взаимосвязи является стабильно высоким. Напротив, на станциях Каракуль, Коканд, Акрабад, Сариканда, Термез и Актумсук в отдельные месяцы и по ряду параметров наблюдается низкая степень соответствия (рис. 3c–d).

Заключение. Результаты проведённой верификации позволяют сделать более конкретные и научно обоснованные выводы для территории Узбекистана. Установлено, что по параметру температуры воздуха данные баз NASA POWER и CRU демонстрируют высокую степень согласованности с наблюдениями наземных метеорологических станций: на большинстве исследованных станций коэффициенты корреляции характеризуются как высокие, а систематические отклонения незначительны. Это позволяет рекомендовать использование указанных баз данных для анализа температурного режима, выявления долгосрочных трендов и восполнения пропусков в рядах наблюдений, особенно в районах с редкой сетью метеостанций.

В отношении атмосферных осадков полученные результаты свидетельствуют о существенно более низком уровне согласованности. Выявлено, что расхождения между данными NASA POWER, CRU и наземными наблюдениями носят, как случайный, так и систематический характер, что обусловлено высокой пространственно-временной изменчивостью осадков, а также влиянием орографических факторов. В связи с этим использование указанных баз данных для анализа осадков без дополнительной обработки является ограниченно допустимым. Для повышения точности рекомендуется обязательное применение методов корректировки, таких как коррекция смещения (bias correction), масштабирование и калибровка на основе данных метеорологических станций.

Анализ по отдельным метеостанциям показал, что степень соответствия варьирует в зависимости от физико-географических условий территории: на равнинных участках согласованность данных выше, тогда как в горных и предгорных районах наблюдаются более значительные расхождения. Это указывает на необходимость дифференцированного подхода к использованию глобальных климатических баз данных с учётом региональных особенностей.

Таким образом, базы данных NASA POWER и CRU могут рассматриваться как надёжный источник климатической информации для территории Узбекистана при анализе температуры воздуха. В то же время их применение для оценки атмосферных осадков требует обязательной верификации и корректировки, что существенно повышает научно-практическую значимость получаемых результатов и обеспечивает более достоверное использование данных в гидрометеорологических и климатических исследованиях.

Использованная литература:

1. Дехканбаева М.Н. Основные характеристики сезонных изменений климата Узбекистана // Журнал междисциплинарных инноваций и научных исследований в Узбекистане. 2022. Т. 2. № 13. С. 445–450.

2. Зубова Н.В., Шевченко В.А. Оценка потенциала солнечной энергии Чукотского автономного округа // АгроЭкоИнженерия. 2018. № 2 (95). С. 57–66.

3. Хурсандова Н.Р., Куранбаева З.Е., Омонов Н.О. Применение данных CRU на практике (на примере Кашкадарьинской области) // Интеграция проблем изменения климата в Узбекистане в систему образования. Труды Международной конференции. Ташкент, 2024. С. 77-80 (на узб.)

4. Deji et al. (2017), Warming and wetting climate during last century revealed by an ice core *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, Vol. 487, pp. 270–277.

5. Grijsen J. (2014), *Understanding the impact of climate change on hydropower: the case of Cameroon*, Washington, 166 p.

6. Harris I., Osborn T. J., Jones P. D., Lister D. H. (2020), Version 4 of the CRU TS monthly high-resolution gridded multivariate climate dataset, *Scientific Data*, Vol. 7, Art. 109. https://doi.org/10.1038/s41597-020-0453-3

7. Harris I. C., Jones P. D., Osborn T. J., Lister D. H. (2013), Updated high-resolution grids of monthly climatic observations – the CRU TS3.10 dataset, *International Journal of Climatology*, Vol. 34, pp. 623–642.

8. Iwamura T., Wilson K. A., Venter O., Possingham H. P. (2010), Climatic stability approach to conservation investments, *PLoS ONE*, Vol. 5(11), p. 15103.

9. Kemp D. D. (1998), *Glossary of Regional Environment*, London & New York, 1998, 464 p.

10. Miao C., Su L., Sun Q., Duan Q. (2016), A nonstationary bias-correction technique, *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, Vol. 121, pp. 5718–5735.

11. Mitchell T. D., Carter T. R., Jones P. D., Hulme M., New M. (2004), A comprehensive set of high-resolution grids of monthly climate for Europe and the globe, *Tyndall Centre Working Paper*, No. 55.

12. Mitchell T. D., Jones P. D. (2005), An improved method of constructing a database of monthly climate observations and associated high-resolution grids, *International Journal of Climatology*, Vol. 25, pp. 693–712.

13. Nabat P. et al. (2015), Aerosol radiative effect on Mediterranean climate variability, *Climate Dynamics*, Vol. 44, pp. 1127–1155.

14. Nagavciuc V. et al. (2019), Stable oxygen isotopes in Romanian oak tree rings record summer droughts, *Climate Dynamics*, Vol. 52, pp. 6557–6568.

15. New M., Hulme M., Jones P. D. (1999), Representing twentieth-century space–time climate variability. Part I: Development of a 1961–90 mean monthly terrestrial climatology, *Journal of Climate*, Vol. 12, pp. 829–856.

16. New M., Hulme M., Jones P. D. (2000), Representing twentieth-century space–time climate variability. Part II: Development of 1901–96 monthly grids of terrestrial surface climate, *Journal of Climate*, Vol. 13, pp. 2217–2238.

17. Renard D., Tilman D. (2019), National food production stabilized by crop diversity, *Nature*, Vol. 571, pp. 257–260.

18. Vollmer M. K. et al. (2005), Deep-water warming trend in Lake Malawi, East Africa, *Limnology and Oceanography*, Vol. 50, pp. 727–732.

19. Wang J., Yang B., Ljungqvist F. C., Zhao Y. (2013), Relationship between the Atlantic Multidecadal Oscillation and temperature variability in China, *Journal of Quaternary Science*, Vol. 28, pp. 653–658.

20. Weedon G. P. et al. (2014), WFDEI meteorological forcing data set, *Water Resources Research*, Vol. 50, pp. 7505–7514.

21. NASA POWER database. https://power.larc.nasa.gov

22. CRU data portal. https://crudata.uea.ac.uk/cru/data/hrg/cru_ts_4.06

References:

1. Dehkanbaeva M. N. (2022), Main characteristics of seasonal climate changes in Uzbekistan, *Journal of Interdisciplinary Innovations and Scientific Research in Uzbekistan*, Vol. 2, No. 13, pp. 445–450. (in Russian).

2. Zubova N. V., Shevchenko V. A. (2018), Assessment of the solar energy potential of the Chukotka Autonomous Okrug, *AgroEcoEngineering*, No. 2(95), pp. 57–66. (in Russian).

3. Khursandova N. R., Kuranbaeva Z. E., Omononov N. O. (2024), Application of CRU data in practice (a case study of the Kashkadarya region), *Integration of Climate Change Issues in Uzbekistan into Education: Proceedings of the International Conference*, Tashkent, p. 77-80 (in Uzbek).

4. Deji et al. (2017), Warming and wetting climate during last century revealed by an ice core *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, Vol. 487, pp. 270–277.

5. Grijsen J. (2014), *Understanding the impact of climate change on hydropower: the case of Cameroon*, Washington, 166 p.

6. Harris I., Osborn T. J., Jones P. D., Lister D. H. (2020), Version 4 of the CRU TS monthly high-resolution gridded multivariate climate dataset, *Scientific Data*, Vol. 7, Art. 109. https://doi.org/10.1038/s41597-020-0453-3

7. Harris I. C., Jones P. D., Osborn T. J., Lister D. H. (2013), Updated high-resolution grids of monthly climatic observations – the CRU TS3.10 dataset, *International Journal of Climatology*, Vol. 34, pp. 623–642.

8. Iwamura T., Wilson K. A., Venter O., Possingham H. P. (2010), Climatic stability approach to conservation investments, *PLoS ONE*, Vol. 5(11), p. 15103.

9. Kemp D. D. (1998), *Glossary of Regional Environment*, London & New York, 1998, 464 p.

10. Miao C., Su L., Sun Q., Duan Q. (2016), A nonstationary bias-correction technique, *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, Vol. 121, pp. 5718–5735.

11. Mitchell T. D., Carter T. R., Jones P. D., Hulme M., New M. (2004), A comprehensive set of high-resolution grids of monthly climate for Europe and the globe, *Tyndall Centre Working Paper*, No. 55, p. …-…

12. Mitchell T. D., Jones P. D. (2005), An improved method of constructing a database of monthly climate observations and associated high-resolution grids, *International Journal of Climatology*, Vol. 25, pp. 693–712.

13. Nabat P. et al. (2015), Aerosol radiative effect on Mediterranean climate variability, *Climate Dynamics*, Vol. 44, pp. 1127–1155.

14. Nagavciuc V. et al. (2019), Stable oxygen isotopes in Romanian oak tree rings record summer droughts, *Climate Dynamics*, Vol. 52, pp. 6557–6568.

15. New M., Hulme M., Jones P. D. (1999), Representing twentieth-century space–time climate variability. Part I: Development of a 1961–90 mean monthly terrestrial climatology, *Journal of Climate*, Vol. 12, pp. 829–856.

16. New M., Hulme M., Jones P. D. (2000), Representing twentieth-century space–time climate variability. Part II: Development of 1901–96 monthly grids of terrestrial surface climate, *Journal of Climate*, Vol. 13, pp. 2217–2238.

17. Renard D., Tilman D. (2019), National food production stabilized by crop diversity, *Nature*, Vol. 571, pp. 257–260.

18. Vollmer M. K. et al. (2005), Deep-water warming trend in Lake Malawi, East Africa, *Limnology and Oceanography*, Vol. 50, pp. 727–732.

19. Wang J., Yang B., Ljungqvist F. C., Zhao Y. (2013), Relationship between the Atlantic Multidecadal Oscillation and temperature variability in China, *Journal of Quaternary Science*, Vol. 28, pp. 653–658.

20. Weedon G. P. et al. (2014), WFDEI meteorological forcing data set, *Water Resources Research*, Vol. 50, pp. 7505–7514.

21. NASA POWER database. https://power.larc.nasa.gov

22. CRU data portal. https://crudata.uea.ac.uk/cru/data/hrg/cru_ts_4.06

Сведения об авторах:

Омонов Нурмухаммад Одил угли – Научно-исследовательский гидрометорологический институт (НИГМИ) Узгидромета (Ташкент, Узбекистан), младший научный сотрудник. E-mail: oomonov506@gmail.com

Хурсандова Наргиза Рашидовна – Научно-исследовательский гидрометорологический институт (НИГМИ) Узгидромета (Ташкент, Узбекистан), базовый докторант. E-mail: nargizarashidovnan1307@gmail.com

Эшмуратова Гулчехра Шавкатовна – Научно-исследовательский гидрометорологический институт (НИГМИ) Узгидромета (Ташкент, Узбекистан), базовый докторант. E-mail: eshmuratovaguli@gmail.com

Куранбоева Зулфия Элмурод кизи – Научно-исследовёательский гидрометорологический институт (НИГМИ) Узгидромета (Ташкент, Узбекистан), младший научный сотрудник. E-mail: zulfiyamarsova9@gmail.com

Information about the authors:

Nurmukhammad Omonov – Hydrometeorological Research Institute of UzHydroMet (Tashkent, Uzbekistan), the junior research fellow. E-mail: oomonov506@gmail.com

Nargiza Khursandova – Hydrometeorological Research Institute of UzHydroMet (Tashkent, Uzbekistan), basic doctoral student. E-mail: nargizarashidovnan1307@gmail.com

Gulchekhra Eshmuratova – Hydrometeorological Research Institute of UzHydroMet (Tashkent, Uzbekistan), basic doctoral student. E-mail: eshmuratovaguli@gmail.com

Zulfiya Kuranbayeva – Hydrometeorological Research Institute of UzHydroMet (Tashkent, Uzbekistan), the junior research fellow. E-mail: zulfiyamarsova9@gmail.com

Для цитирования:

Омонов Н.О., Хурсандова Н.Р., Эшмуратова Г.Ш., Куранбоева З.Э. Оценка взаимосвязи между данными международных баз NASA POWER и CRU и материалами наземных метеостанций по температуре воздуха и атмосферным осадкам на территории Узбекистана // Центральноазиатский журнал географических исследований. 2026. № 1-2. С. 97-112.

For citation: Omonov N.O., Khursandova N.R., Eshmuratova G.Sh., Quranboeva Z.E. (2026), Evaluation of the relationship between data from the international NASA POWER and CRU bases and materials from ground-based meteorological stations on air temperature and precipitation in the territory of Uzbekistan, *Central Asian Journal of Geographical Researches*, No. 1-2, pp. 97-112. (In Russ.).

УДК: 911.2:556 https://doi.org/10.5281/zenodo.20785653

Халимова Г.С., Каландарова Д.Д.

Бухарский государственный университет, Бухара, Узбекистан

ОПЫТ ИССЛЕДОВАНИЯ ГИДРОГРАФИЧЕСКОЙ СЕТИ НИЗКОГОРИЙ КЫЗЫЛКУМА (НА ПРИМЕРЕ СЕВЕРНОГО СКЛОНА ХРЕБТА КУЛЬДЖУКТАУ)

Аннотация. *В статье исследованы морфометрические особенности русел временных водотоков, формирующихся на северном склоне хребта Кульджуктау в Центральном Кызылкуме. В ходе исследования были определены длина русел, коэффициент их извилистости, а также площадь, длина и ширина их водосборных бассейнов. В работе использованы методы картографического анализа на основе топографических карт масштаба 1:100 000, морфометрических расчётов и полевых исследований. В результате установлено наличие более 30 русел с временными водотоками на северном склоне хребта Кульджуктау и дана оценка их основных морфометрических показателей. Полученные результаты имеют важное значение для разработки научно-практических рекомендаций по эффективному использованию временных водных ресурсов, предупреждению селевых явлений и управлению местными водными ресурсами.*

Ключевые слова: *хребет Кульджуктау, атмосферные осадки, гидрографическая сеть, временные водотоки, водоток, селехранилище, защитная лесополоса.*

Khalimova G.S., Kalandarova D.D.

Bukhara State University, Bukhara, Uzbekistan

EXPERIENCE OF RESEARCHING THE HYDROGRAPHIC NETWORK OF THE KYZYLKUM LOW MOUNTAINS (ON THE EXAMPLE OF THE NORTHERN SLOPE OF THE KULDZHUKTAU RIDGE)

Abstract. *This article examines the morphometric characteristics of temporary streambeds forming on the northern slope of the Kuldzhuktau Ridge in Central Kyzylkum. The study determined the length of the streambeds, their sinuosity coefficient, and the area, length, and width of their drainage basins. The study utilized cartographic analysis methods based on 1:100,000-scale topographic maps, morphometric calculations, and field surveys. As a result, the presence of more than 30 temporary streambeds on the northern slope of the Kuldzhuktau Ridge was identified and their key morphometric parameters were assessed. The findings are important for developing scientific and practical recommendations for the efficient use of temporary water resources, mudflow prevention, and local water resource management.*

Key words: *Kuljuktau Range, precipitation, hydrographic network, ephemeral streams, stream, mudflow reservoir, protective forest belt.*

Введение и постановка проблемы. В настоящее время в мире, в том числе и в Узбекистане, среди актуальных проблем особое место занимает проблема водных ресурсов. Данная проблема с течением времени приобретает всё более масштабный характер, усугубляя ряд других социальных, экономических и политических проблем.

С использованием комплекса климатических моделей и социально-экономических сценариев Институт мировых ресурсов (WRI) рассчитал и спрогнозировал уровень дефицита воды в 167 странах мира к 2030 и 2040 годам [7]. Среди 33 стран, где к 2040 году прогнозируется наибольший дефицит воды, находятся и страны Центральной Азии, в частности, Узбекистан. Для смягчения данной ситуации в Узбекистане правительством проводится значительная работа по обеспечению

населения централизованным питьевым водоснабжением. Большое нормативно-правовое значение в этом контексте имеет принятие в 2025 году Водного кодекса Республики Узбекистан [2].

В пустынных районах нашей республики, в частности в Бухарской и Навоийской областях, эта проблема вызывает серьёзную обеспокоенность как специалистов, так и широких слоёв местного населения. В условиях глобальных климатических изменений, а также с учётом географического положения, условий климата и рельефа этих регионов, можно утверждать, что решение данной проблемы требует конкретного, адресного научного обоснования. Рост численности населения и увеличение потребностей в воде создают ситуацию, когда традиционные водные источники не могут удовлетворить потребности населения. Кроме того, для водопоя скота в отдалённых пустынных районах, проблема водоснабжения также становится крайне актуальной. Одним из путей смягчения этой проблемы является эффективное использование временных водотоков низкогорного хребта Кульджуктау. Это определяет актуальность представляемого исследования.

Хребет Кульджуктау расположен в южной части Центрального Кызылкума, между 40°48′ и 41° северной широты, 63°15′ и 64°15′ восточной долготы, на границе Бухарской и Навоийской областей. Хребет простирается в широтном направлении на 80-100 км. Наивысшая точка находится в западной части хребта и достигает 785 м. Географические особенности временных водотоков, формирующихся на южных склонах хребта, рассматриваются в исследованиях Г.С. Халимовой (2020) [9]. Однако русла временных водотоков на северных склонах хребта Кульджуктау, которые изучаются в настоящем исследовании, до настоящего времени не изучались [3].

Изученность вопроса. Изучение вопросов формирования водных ресурсов в аридных и полуаридных регионах, в частности, исследование гидрографических параметров временных водотоков, возникающих в результате выпадения атмосферных осадков, является одним из важных аспектов региональных исследований в гидрологии суши и физической географии. В таких районах гидрографические сети развиты слабее по сравнению с территориями с влажным климатом, а водные ресурсы формируются преимущественно за счёт редких осадков, образующих временные потоки. Поэтому изучение морфометрических показателей временных водотоков и их водосборных бассейнов, а также гидрологического режима имеет большое научное значение для оценки местных водных ресурсов и их эффективного использования.

В аридных регионах проводились исследования гидрографических сетей и временных водотоков рядом зарубежных учёных. В частности, фундаментальные исследования Л.Б. Леопольда, М.Г. Волмана и Дж.П. Миллера [14] теоретически обосновали морфологию речных систем и процессы их формирования. Этими авторами подробно проанализировано формирование речных сетей, их морфометрия и взаимосвязь с рельефом. Их исследования служат важной методологической основой для проведения морфометрического анализа речных бассейнов.

Широко применяются в современных гидрологических исследованиях методы морфометрического анализа гидрографических сетей, разработанные Р.Е. Хортоном [13] и А.Н. Страхлером [15]. С помощью этих методов определяются такие показатели речных сетей, как плотность, порядок, длина и площадь бассейна, а также оцениваются закономерности развития гидрографических систем. Особенно большое научное значение эти методы имеют при изучении системы временных водотоков в аридных регионах.

Хребет Кульджуктау, как и другие останцовые низкогорья в пустыне Кызылкум, изучался представителями различных научных направлений. Геолого-минералогическое картографирование хребта выполнялось такими русскими и советскими учёными, как И.В. Мушкетов, А.Д. Архангельский, И.П. Герасимов, В.И. Попов. Б.А. Федорович и Ю.А. Скворцов исследовали стекающий со склонов хребта водоток Дарьясай [11].

Однако эти исследования не охватывали всю сеть временных водотоков хребта. Из числа учёных Узбекистана ландшафтно-экологические проблемы низкогорий Центрального Кызылкума изучались С.Б. Аббасовым [1], а пастбищные ресурсы – И.К. Назаровым и Х.Р. Тошовым [4]. Полезные ископаемые хребта изучались А.Х. Хамраевым [10]. Физико-географические факторы формирования водных ресурсов на склонах хребта, а также реки южного склона хребта рассматривались в работах Ф.Х. Хикматова и Г.С. Халимовой [8; 9; 12]. Однако водотоки северного склона хребта, их морфометрические показатели и гидрографическое значение до сих пор остаются не изученными [9].

Цель и задачи работы. Основная цель работы заключается в изучении морфометрических показателей временных водотоков северного склона хребта Кульджуктау на основе результатов полевых и камеральных исследований. Для достижения этой цели были поставлены следующие задачи:

1. Провести анализ литературы, отражающей результаты ранее проведённых исследований хребта Кульджуктау;
2. Провести инвентаризацию сети временных водотоков северного склона хребта с помощью топографической карты масштаба 1:100 000 [6] и уточнить их морфометрические показатели в полевых условиях;
3. На основе собранных в ходе исследования данных предложить рекомендации по частичному смягчению водной проблемы в изучаемом районе.

Материалы и методы. Авторами в ходе исследования сети временных водотоков северного склона Кульджуктау использовались методы картографического анализа, морфометрических расчётов и полевых исследований. Исследование проводилось в несколько этапов. Для уточнения результатов дважды (31.03.2025 и 14.10.2025) проводились полевые измерения на местности (рис. 1–2).



Рис. 1. Морфометрические измерения русла временного водотока Камышты на северном склоне хребта Кульджуктау, 31.03.2025.



Рис. 2. Морфометрические измерения русла временного водотока Яманжарсай на северном склоне хребта Кульджуктау, 14.10.2025.

В ходе полевых исследований были установлены местные названия водотоков, а также проведены геоморфологические измерения.

Длина водотоков (L) была определена с использованием курвиметра на основе топографической карты масштаба 1:100 000. Затем рассчитывался коэффициент извилистости водотоков по формуле:

$$К_{изв} = \frac{lAB}{L},$$

где:

$K_{изв}$ – коэффициент извилистости водотока;

l_{AB} – длина прямой линии, соединяющей точку истока (A) и устья (B) реки;

L – длина реки;

На следующем этапе площадь бассейнов (F) каждого временного водотока северного склона Кульджуктау была рассчитана с помощью палетки.

Длина ($l_б$) и ширина ($L_б$) бассейнов временных водотоков были измерены с помощью курвиметра.

Результаты и их обсуждение. В ходе камеральных работ и полевых исследований авторами статьи в пределах северного склона хребта Кульджуктау в Центральном Кызылкуме было выявлено и изучено в морфометрическом отношении 30 временных водотоков, 3 из которых имеют официальные названия, указанные на топографической карте, а остальные 27 являются безымянными. Однако у некоторых из этих водотоков существуют местные неофициальные названия, о которых авторы узнали в ходе полевых исследований при общении с местным населением. Так, согласно этим данным, водоток № 7 на карте имеет местное название Адилсай, а водоток № 10 – Актасты.

Водотоки исследуемой территории были пронумерованы с востока на запад на основе топографической карты масштаба 1:100 000, после чего проведены измерения их морфометрических параметров (см. табл. 1). Полученные показатели также сопоставлялись с результатами двух полевых исследований.

Таблица 1

Основные морфометрические показатели временных водотоков на северных склонах хребта Кульджуктау

№	Временный водоток	Длина (L), км	Коэффициент извилистости ($K_и$)	Площадь бассейна (F), км²	Длина бассейна (L), км	Ширина бассейна ($B_{макс}$), км
1	1 водоток	2,5	0,9	4	3,5	0,85
2	2 водоток	8,6	0,9	8,2	8,1	0,6
3	3 водоток	9,5	0,8	26,3	10,3	0,9
4	4 водоток	13,2	0,85	12,25	9	0,5
5	5 водоток	10,7	0,85	22,6	12,4	0,65
6	6 водоток	15,2	0,87	49	16,5	1
7	7 водоток (Адилсой)	6	0,92	6,9	6,5	0,6
8	8 водоток	5,2	0,9	8,3	5,5	0,73
9	9 водоток	3,8	0,95	19,1	8,2	0,6
10	10 водоток (Актасты)	8,8	0,85	8,4	8	0,5
11	11 водоток	8,9	0,88	58,1	19,7	1,2
12	12 водоток	6	0,88	5,76	8,1	0,7
13	Камышты	17,6	0,85	117,7	27,7	3,8
14	13 водоток	21	0,8	162,5	39,8	1,2
15	Яманжарсай	20	0,83	456,9	39,2	0,8
16	Кыркчирта (приток Яманжарсая)	14,4	0,83	83,2	22,3	1,3
17	14 водоток	14	0,84	66	20,5	0,8
18	15 водоток	18	0,73	7,9	8,3	1,1
19	16 водоток	10	0,82	14	8,2	0,8
20	17 водоток	10	0,88	15,8	8,5	0,65

21	18 водоток	8,1	0,63	8,3	7,8	0,8
22	19 водоток	6,5	0,92	12,6	8,8	0,7
23	20 водоток	9,7	0,87	9,8	8,2	0,6
24	21 водоток	9,3	0,84	9,6	6,2	0,5
25	22 водоток	6,9	0,84	24,5	7,5	0,7
26	23 водоток	13	0,83	36,6	17,7	0,9
27	24 водоток	11,8	0,85	16,4	7,3	0,9
28	25 водоток	9,4	0,78	3	4	0,4
29	26 водоток	5	0,78	9,9	6,2	0,6
30	27 водоток	7,2	0,76	5,3	4,6	0,7

Таблица составлена авторами по результатам камеральных и полевых исследований гидрографической сети северного склона хребта Кульджуктау.

Самым длинным является водоток № 13, его общая протяжённость составляет 21 км. По площади бассейна лидирует Яманжарсай (456,9 км²). Данные водотоки берут начало на высотах около 460–500 м и в нижнем течении, у подножия хребта, теряются в песках [6].

Выводы. На северном склоне хребта Кульджуктау в Центральном Кызылкуме насчитывается 30 временных водотоков, которые, являясь ключевыми гидрографическими объектами этого района, до настоящего времени оставались не изученными. Проведённое авторами исследование служит восполнению этого пробела в изученности физико-географических условий северного склона Кульджуктау.

Эффективное использование временных водотоков, формирующихся после выпадения атмосферных осадков в пустынных районах, играет важную роль в смягчении дефицита водных ресурсов, и низкогорья Кызылкума в этом плане имеют значительный потенциал. Результаты исследований в хребте Кульджуктау могут служить методологической основой для изучения других низкогорных районов пустыни [4].

Как правило, осадки в пустынных и полупустынных районах Ухбекистана кратковременные, но интенсивные, и быстро впитываются в пески или становятся непригодными для использования из-за своей мутности. В последние годы вследствие деградации пастбищ почвенный слой у подножий останцовых низкогорий смывается, в связи с чем по руслам временных водотоков сходят селевые паводки, нанося ущерб жилой и дорожной инфраструктуре, вызывают смыв почвы. Поэтому разработка рекомендаций по эффективному использованию водных ресурсов временного поверхностного стока остаётся актуальной задачей [8; 12].

У подножий низкогорий в пустынных и полупустынных районах целесообразно строительство небольших водо- или селехранилищ на временных водотоках с целью сбора паводковых вод. Такие сооружения предотвращают впитывание атмосферных осадков в песок и их бесполезную потерю, уменьшают почвенную эрозию, вызванную селями.

Использовать собранную воду можно в различных сферах. Например, для водопоя скота, обводнения и мелиорации пустынных пастбищ, борьбы с их деградацией путем посадки и орошения пустынных травянистых растений (полыни, партека, янтака, астрагала, илака, кандыма, кеурека), а также кустарников и деревьев (саксаула, куянсуека). Эти фитомелиорационные работы служат улучшению экологического состояния территории и снижаю ветровой эрозии почвогрунтов.

Реализация данных мероприятий позволит населению использовать накопленную воду в течение определённого периода. При этом, с учётом специфических особенностей рельефа, почвенного покрова и климатических условий хребта Кульджуктау, указанные рекомендации необходимо реализовывать в рамках потребностей местного населения в водных ресурсах. В то же время, для каждого конкретного района пути решения должны выбираться на основе детального изучения местных условий.

Использованная литература:

1. Аббасов С.Б. Динамика и экология ландшафтов пустыни Кызылкум. Самарканд: СамГУ, 2019. 174 с. (На узб. яз.).

2. Водный кодекс Республики Узбекистан (2025) [Электронный ресурс]. URL: https://lex.uz/ru/docs/-7655343 (Дата обращения: 15.03.2026). (На узб. яз.).

3. Каландарова Д.Д., Халимова Г.С., Назаров И.К. Географические аспекты эффективного использования ресурсов ландшафтов хребта Кульджуктау // География: история, теория, методы, практика. Материалы республиканской научно-практической конференции. Ташкент, 2010. С. 34-35. (На узб. яз.).

4. Назаров И.К., Тошов Х.Р. Территориальное распределение атмосферных осадков в Бухарской области и вопросы их эффективного использования // Инновация-2005. Материалы международной научно-практической конференции. Ташкент, 2005. С. 265-266. (На узб. яз.).

5. Назаров И.К., Халимова Г.С., Каландарова Д.Д. История и современное состояние использования ресурсов ландшафтов хребта Кульджуктау (Кызылкум) // География: инновационные идеи, технологии и проекты. Материалы республиканской научно-практической конференции. Ташкент, 2012. С. 3-6. (На узб. яз.).

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

7. Угрозы водного дефицита: решения не соответствуют масштабам проблем. [Электронный ресурс]. URL: https://kun.uz/news/2023/09/18/ (дата обращения: 15.03.2026). (На узб. яз.).

8. Халимова Г.С. Периодичность, количество и территориальное распределение атмосферных осадков в хребте Кульджуктау // Географические основы эффективного использования ресурсов ландшафтов пустынной зоны. Материалы республиканской научно-теоретической и практической конференции. Бухара, 2010. С. 125-127. (На узб. яз.).

9. Халимова Г.С. Физико-географические факторы формирования водных ресурсов низкогорий и вопросы их эффективного использования (на примере хребта Кульджуктау): автореф. дисс. … докт. филос. (PhD) по геогр. наукам. Ташкент, 2020. 45с. (На узб. яз.).

10. Хамраев А.Х. Петрологические и геохимические особенности базитовых даек и нефелиновых сиенитов гор Кульджуктау (Центральный Кызылкум): автореф. дисс. … докт. филос. по геол.-мин. наукам. Ташкент, 2024. 47 с. (На узб. яз.)

11. Хасанов И.А., Гуломов П.Н., Каюмов А.А. Физическая география Узбекистана. Часть 2. Ташкент, 2010. 161 с. (На узб. яз.).

12. Halimova G.S., Khikmatov F.H., Zaitov Sh., Nematov A.N. (2020), Assessment of Local Water Resources in the Kuljuktov Mountain System, *Test Engineering and Management*, pp. 8665–8668.

13. Horton R.E. (1945), Erosional Development of Streams and Their Drainage Basins: Hydrophysical Approach to Quantitative Morphology, *Geological Society of America Bulletin*, vol. 56, pp. 275–370.

14. Leopold L.B., Wolman M.G., Miller J.P. (1964), *Fluvial Processes in Geomorphology*, San Francisco, 522 p.

15. Strahler A.N. (1957), Quantitative Analysis of Watershed Geomorphology, *Transactions of the American Geophysical Union,* Vol. 38, Issue 6, pp. 913-920.

References:

1. Abbasov S.B. (2019), *Dynamics and Ecology of Landscapes of the Kyzylkum Desert*, Samarkand, 174 p. (In Uzbek).

2. *Water Code of the Republic of Uzbekistan (2025),* URL: https://lex.uz/ru/docs/-7655343 (Accessed 15 March 2026).

3. Kalandarova D.D., Halimova G.S., Nazarov I.K. (2010), Geographical Aspects of Efficient Use of Landscape Resources of the Kuljuktau Ridge, *Geography: History, Theory, Methods, Practice. Proceedings of the Republican scientific and practical conference.* Tashkent, pp. 34-35. (In Uzbek).

4. Nazarov I.K., Toshov Kh.R. (2005), Territorial Distribution of Atmospheric Precipitation in Bukhara Region and Issues of Their Efficient Use, *Innovation-2005, Proceedings of the International Scientific and Practical Conference*, Tashkent, pp. 265-266. (In Uzbek).

5. Nazarov I.K., Halimova G.S., Kalandarova D.D. (2012), History and Current State of the Use of Landscape Resources of the Kuljuktau Ridge (Kyzylkum), *Geography: Innovative Ideas,*

Technologies and Projects. Proceedings of the Republican scientific and practical conference. Tashkent, pp. 3-6. (In Uzbek).

6. *Topographic Map of Bukhara and Navoi Regions* (K-41-XXVIII).

7. *Water Scarcity Threats: Solutions Do Not Match the Scale of Problems (2023), Available at:* https://kun.uz/news/2023/09/18/ (accessed 15 March 2026). (In Uzbek).

8. Khalimova G.S. (2010), Periodicity, Quantitative and Territorial Distribution of Atmospheric Precipitation in the Kuljuktau Ridge, *Geographical Foundations of Efficient Use of Desert Zone Landscape Resources, Proceedings of the Republican Scientific-Theoretical and Practical Conference,* Bukhara, pp. 125-127. (In Uzbek).

9. Khalimova G.S. (2020), *Physical Geographical Factors of Formation of Water Resources in Low Mountains and Issues of Their Efficient Use (Case Study of the Kuljuktau Ridge), abstract of diss. ... PhD in geogr. sciences,* Tashkent, 45 p. (In Uzbek).

10. Khamraev A.Kh. (2024), *Petrological and Geochemical Features of Basite Dikes and Nepheline Syenites of the Kuljuktau Mountains (Central Kyzylkum), abstract of diss. ... PhD in geol.-miner. sciences,* Tashkent, 47 p. (In Uzbek).

11. Khasanov I.A., Gulomov P.N., Kayumov A.A. (2010), *Physical Geography of Uzbekistan*, Part 2, Tashkent, 161 p. (In Uzbek).

12. Halimova G.S., Khikmatov F.H., Zaitov Sh., Nematov A.N. (2020), Assessment of Local Water Resources in the Kuljuktov Mountain System, *Test Engineering and Management*, pp. 8665–8668.

13. Horton R.E. (1945), Erosional Development of Streams and Their Drainage Basins: Hydrophysical Approach to Quantitative Morphology, *Geological Society of America Bulletin*, vol. 56, pp. 275–370.

14. Leopold L.B., Wolman M.G., Miller J.P. (1964), *Fluvial Processes in Geomorphology*, San Francisco, 522 p.

15. Strahler A.N. (1957), Quantitative Analysis of Watershed Geomorphology, *Transactions of the American Geophysical Union,* Vol. 38, Issue 6, pp. 913-920.

Сведения об авторах:

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

Каландарова Дилобар Давроновна – Бухарский государственный университет (Бухара, Узбекистан), базовый (PhD) докторант. E-mail: dilobardavronova7@gmail.com

Information about authors:

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

Dilobar Kalandarova – Bukhara State University (Bukhara, Uzbekistan), basical doctoral (PhD) student. E-mail: dilobardavronova7@gmail.com

Для цитирования:

Халимова Г.С., Каландарова Д.Д. Опыт исследования гидрографической сети низкогорий Кызылкума (на примере северного склона хребта Кульджуктау) // Центральноазиатский журнал географических исследований. 2026. № 1-2. С. 113-119.

For citation:

Khalimova G.S., Kalandarova D.D. (2026), Experience of researching the hydrographic network of the Kyzylkum low mountains (on the example of the northern slope of the Kuldzhuktau ridge), *Central Asian Journal of Geographical Researches*, No. 1-2, pp. 113-119. (In Russ.).

УДК: 528.88:556 https://doi.org/10.5281/zenodo.20784983

Калабаев С.Б.[1,2], Саидов У.И.[1], Исмаилова М.Б.[1]

[1]Научно-исследовательский гидрометеорологический институт, Ташкент, Узбекистан
[2]Ташкентский государственный аграрный университет, Ташкент, Узбекистан

АНАЛИЗ ИЗМЕНЕНИЙ УРОВНЯ ВОДЫ ОЗЕРА САРЫКАМЫШ ПО ДАННЫМ ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ ЗЕМЛИ

Аннотация. *Озёра и происходящие в них гидрологические процессы являются важными индикаторами глобальных экологических и климатических изменений. Изменения уровня и объёма воды в озёрах тесно связаны не только с природными факторами (осадками, испарением, температурным режимом), но и с антропогенной деятельностью. Поэтому регулярный мониторинг динамики уровня воды в озёрах имеет важное значение для эффективного управления водными ресурсами, совершенствования региональных климатических моделей и оценки экологических рисков. В настоящем исследовании проанализированы изменения уровня воды озера Сарыкамыш, расположенного на границе Узбекистана и Туркменистана, на основе данных спутниковой альтиметрии TOPEX/Poseidon, Jason-1/2/3 и Sentinel-3 за период 2001–2024 гг. Согласно результатам анализа, средний рост уровня воды в озере Сарыкамыш составляет +0,16 м/год. Мониторинг уровня воды в озере по данным спутниковой альтиметрии формирует научную основу для более глубокого понимания гидрологического режима озера Сарыкамыш, создания надёжной базы для долгосрочного прогноза изменений уровня воды и разработки стратегий управления водными ресурсами в Приаралье.*

Ключевые слова: *озеро Сарыкамыш, уровень воды, альтиметрия, TOPEX/Poseidon, Jason-1/2/3, Sentinel-3.*

Kalabaev S.B. [1,2], Saidov U.I.[1], Ismoilova M.B.[1]

[1]Hydrometeorological Research Institute, Tashkent, Uzbekistan
[2]Tashkent State Agrarian University, Tashkent, Uzbekistan

ANALYSIS OF CHANGES IN THE WATER LEVEL OF LAKE SARYKAMYSH BASED ON REMOTE SENSING DATA

Abstract. *Lakes and the hydrological processes occurring within them are important indicators of global environmental and climatic changes. Changes in lake water level and volume are closely linked not only to natural factors (precipitation, evaporation, and temperature regime) but also to anthropogenic activities. Therefore, regular monitoring of lake water level dynamics is essential for effective water resources management, improvement of regional climate modeling, and assessment of environmental risks. This study analyzes changes in the water level of Lake Sarygamysh, located on the border between Uzbekistan and Turkmenistan, using satellite altimetry data from TOPEX/Poseidon, Jason-1/2/3, and Sentinel-3 for the period 2001–2024. According to the analysis, the average rate of water level rise in Lake Sarygamysh is +0,16 m/year. Monitoring of lake water levels using satellite altimetry provides a scientific basis for a deeper understanding of the hydrological regime of Lake Sarygamysh, establishes a reliable foundation for long-term forecasting of water level changes, and supports the development of water resources management strategies in the Aral Sea region.*

Key words: *Lake Sarygamysh, water level, altimetry, TOPEX/Poseidon, Jason-1/2/3, Sentinel-3.*

Введение и постановка проблемы. Озёра играют важную роль в водном балансе Земли, климате и локальном экологическом равновесии. Через изменения своего уровня они отражают не только природные процессы, но и влияние антропогенных факторов.

Поэтому регулярный мониторинг уровня озёр необходим для управления водными ресурсами, оценки изменения климата и гидрологического моделирования. Однако нехватка традиционных наблюдательных станций, их неравномерное географическое распределение и отсутствие в удаленных регионах затрудняют получение достоверных данных для многих озёр.

В последние годы глобальное потепление климата, изменение температурного режима и режима атмосферных осадков, а также активное строительство гидротехнических сооружений, оросительных систем и коллекторно-дренажных сетей в результате антропогенной деятельности оказывают значительное влияние на гидрологический режим озёр. Эти процессы наглядно проявляются в таких явлениях, как сокращение Аральского моря и, напротив, наполнение озера Сарыкамыш.

Оз. Сарыкамыш является одним из крупнейших равнинных озёр Средней Азии, расположено на границе Узбекистана и Туркменистана, в примыкающей к чинку части плато Устюрт. В формировании современной котловины озера важную роль сыграли процессы водной эрозии, водной аккумуляции, дефляции и суффозии. Бассейн Сарыкамыша характеризуется низменностями и принадлежит к системе замкнутого накопления воды, отличаясь карстовым рельефом, склонами крутизной до 100 м и солёными болотами [1]. Площадь водосбора ограничена на севере и северо-западе плато Устюрт, на северо-востоке и востоке - Туранской равниной, на юге - пустыней Каракумы.

В исторические периоды воды Амударьи неоднократно заполняли Сарыкамышскую котловину, случались подъёмы уровня озера, а впоследствии, в результате изменения русла реки, его высыхание. В отдельные периоды воды Амударьи переливались из оз. Сарыкамыш и стекали в Каспийское море по руслу Узбоя. По данным А.В. Шпитникова (1969 г.), в результате поступления вод Амударьи в Сарыкамышскую котловину уровень озера поднимался на 3-8 м, и такие события наблюдались в 1878, 1889, 1896, 1921 и 1934 годах. К середине 1960-х годов XX века высохшая котловина озера была покрыта мощным слоем соли, лишь в отдельных понижениях сохранились участки солёной воды, подпитываемые грунтовыми водами [3, 4, 5, 10].

Изученность вопроса. Гидрологический режим озера Сарыкамыш на протяжении длительного времени представлял собой сложную научную задачу, оставаясь недостаточно изученным из-за удаленности объекта и нестабильности его формирования. Поскольку существование современного водоема целиком зависит от антропогенного фактора - притока коллекторно-дренажных вод с орошаемых земель Хорезмского оазиса и Дашогузского велаята, - процесс его исследования развивался параллельно с развитием ирригационных систем региона.

Первые системные шаги по изучению водоема были предприняты в начале 1970-х годов, когда озеро вступило в фазу активного наполнения. Фундаментальные данные по морфометрии и гидрологии были собраны экспедициями института “Киевгидропроект” (1971 г.). Эти работы позволили определить первичные параметры чаши озера и прогнозировать динамику его расширения.

В последующее десятилетие мониторинг приобрел более регулярный характер. В период с 1976 по 1985 годы специалистами Туркменского управления по гидрометеорологии (Туркменского УГМ) и Среднеазиатского научно-исследовательского гидрометеорологического института (САНИГМИ) были проведены комплексные исследования. Они зафиксировали темпы повышения уровня воды, изменения площади зеркала и, что немаловажно, динамику минерализации, которая начала расти по мере накопления солей, вымываемых с сельскохозяйственных полей. Дополнительный вклад в изучение гидрологической динамики внесло Министерство водного хозяйства СССР, которое курировало вопросы эксплуатации Дарьялыкского коллектора - одной из основных артерий, питающих Сарыкамыш.

Современный этап исследований характеризуется переходом от эпизодических экспедиций к использованию высокотехнологичных методов дистанционного зондирования Земли. В последние годы состояние озера было детально проанализировано рядом исследователей, в том числе А.Г. Костяным, С.А. Лебедевым, И.С. Зонном, О.Ю. Лавровой, Д.М. Соловьевым (2011), H. Liu, Y. Chen, Z. Ye, Y. Li, Q. Zhang (2019) и Y. Hu, W. Duan, Y. Chen, P. Kayumba, N. Sahu (2021) [13, 16]. Благодаря привлечению архивных и оперативных спутниковых снимков, исследователям удалось с высокой точностью реконструировать изменения береговой линии и колебания уровня воды за последние десятилетия.

Эти современные данные подтвердили, что Сарыкамыш превратился в стабильный, но крайне чувствительный экологический индикатор региона. На сегодняшний день изучение озера продолжается с акцентом на экологическую безопасность, динамику накопления донных отложений и влияние изменения климата на испаряемость с его поверхности. Сарыкамыш остается важнейшим трансграничным объектом, требующим постоянного внимания со стороны ученых Узбекистана и Туркменистана для поддержания экологического равновесия в Приаралье [4, 5, 6, 12].

Цель и задачи работы. Основной целью данного исследования является мониторинг динамики уровня воды - одного из гидрологических параметров оз. Сарыкамыш - методами дистанционного зондирования, в частности на основе данных спутниковой альтиметрии.

Научные задачи исследования заключаются в следующем:

- формирование базы данных по уровню воды оз. Сарыкамыш на основе измерений спутниковой альтиметрии;
- заполнение пропусков в наборе данных временных рядов с помощью методов интерполяции;
- статистический анализ многолетних тенденций изменения уровня воды в озере.

Результаты данного исследования создают важную научную основу для более глубокого изучения гидрологического режима оз. Сарыкамыш и совершенствования мониторинга водных ресурсов.

Объектом исследования является оз. Сарыкамыш, предметом - определение уровня воды озера на основе данных дистанционного зондирования.

Материалы и методы. Развитие технологий спутниковой альтиметрии в последние годы создало новые возможности для определения уровня воды. Благодаря радиолокационным и лазерным альтиметрическим миссиям, таким как TOPEX/Poseidon, Jason-1/2/3, CryoSat-2, Sentinel-3, ICESat-2, определяется уровень водных объектов на поверхности Земли и формируются долгосрочные данные по уровню воды для многих озёр. Основными преимуществами этого метода являются глобальный охват, регулярная частота наблюдений и возможность получения длительных исторических данных.

За последние двадцать лет объём и качество данных, полученных со спутников для определения уровня воды крупных озёр и водных бассейнов, значительно возросли. Гидрологический режим озёр и рек Южной Америки, Африки и Сибири успешно изучался с использованием данных спутниковой альтиметрии [11, 14]. Уровень воды в нижнем течении р. Волги [15], в каскаде Волжских водохранилищ, а также в озёрах Ильмень и Ладога, расположенных на границе России и Эстонии, изучался с использованием спутниковых альтиметрических измерений [17].

При определении высоты по спутниковым данным первоначально измеряется время прохождения T радиоимпульса от момента излучения до возвращения. Оно умножается на скорость распространения радиоимпульса, равную скорости света ($c \approx 3\times10^8$ м/с), и находится высота диапазона R (дальность), которая вычисляется следующим образом [2, 6, 7]:

$$R = T \times c. \quad (1)$$

Высота поверхности находится как разность высоты альтиметра и высоты

диапазона по следующему выражению:

$$h = H - R, \quad (2)$$

где h - высота поверхности относительно эллипсоида, м;

H - высота космического аппарата относительно эллипсоида, м;

R - высота космического аппарата относительно поверхности, м.

Уровень воды рассчитывается относительно геоида. Геоид - это эквипотенциальная поверхность Земли, которая совпадает со средним уровнем моря над океанами и гипотетически расположена под всеми поверхностями суши. Эллипсоид - это геометрическая фигура, близкая к форме поверхности Земли.

Альтиметрический радар обладает такими преимуществами, как нечувствительность к облакам или туману, возможность проведения измерений практически в любой точке мира, получение данных практически в реальном времени, высокая точность продукции, а также наличие непрерывной серии данных с октября 1992 г. С начала 1990-х годов постоянно осуществляются измерения с помощью спутниковых радиолокационных альтиметров серий ERS-1/2 (European Remote Sensing Satellite), Envisat (Environmental Satellite) и Saral (Satellite with ARgos and Altika), а также Topex/Poseidon (Topographic Experiment), Jason-1/2/3 (Joint Altimetry Satellite Oceanography Network), GFO (Geosat Follow-On), HY-2A (Haiyang) и CryoSat-2 [8, 15].

Sentinel-3 является одной из альтиметрических миссий нового поколения, предназначенных для долгосрочных наблюдений, его первый спутник Sentinel-3A был выведен на орбиту в феврале 2016 г. Во всех альтиметрических миссиях измерения проводятся только в надирном направлении, то есть по вертикальным точкам непосредственно под спутником. По этой причине их пространственное покрытие ограничено, что является одним из основных недостатков этих наблюдений [18].

Альтиметрические данные предоставляются с задержкой от 2-24 ч до, в некоторых случаях, 30-75 сут, в зависимости от уровня их обработки [11]. Для гидрологических анализов альтиметрические данные делятся на две основные категории: GDR (Geophysical Data Records) и SGDR (Sensor Geophysical Data Records).

Этот набор данных включает все геофизические параметры, необходимые для расчёта уровня воды для каждого сегмента трассы. В настоящее время они представляются в стандартизированном формате NetCDF (Network Common Data Form).

В данном исследовании для определения высоты уровня воды оз. Сарыкамыш использовался архивный набор измерений за период 2001-2024 гг. из специализированной базы данных NASA Science.

Результаты и обсуждение. Согласно результатам исследования, в базе данных NASA Science за период 2001-2024 гг. имеются регулярные данные наблюдений за уровнем воды оз. Сарыкамыш с 10-дневными интервалами (рис. 1). Таким образом, в данном исследовании альтиметрические данные были загружены из базы данных NASA Science в формате NetCDF для оценки высоты уровня воды.

В настоящее время точность спутниковых альтиметрических измерений значительно возросла по сравнению с радиовысотомерами первого поколения. Миссии TOPEX/Poseidon, Jason-1/2/3 и Sentinel-6 оснащены высокоточными радиолокационными альтиметрическими системами, общей особенностью которых является работа на орбите с коротким (10-дневным) циклом повторения.

В долгосрочных спутниковых рядах наблюдений иногда встречаются разрывы или пропуски в данных. В таких случаях для восстановления данных были опробованы методы линейной интерполяции, метода k-ближайших соседей, полиномиальной интерполяции 2-го и 3-го порядка, кусочно-кубической интерполяции Эрмита.

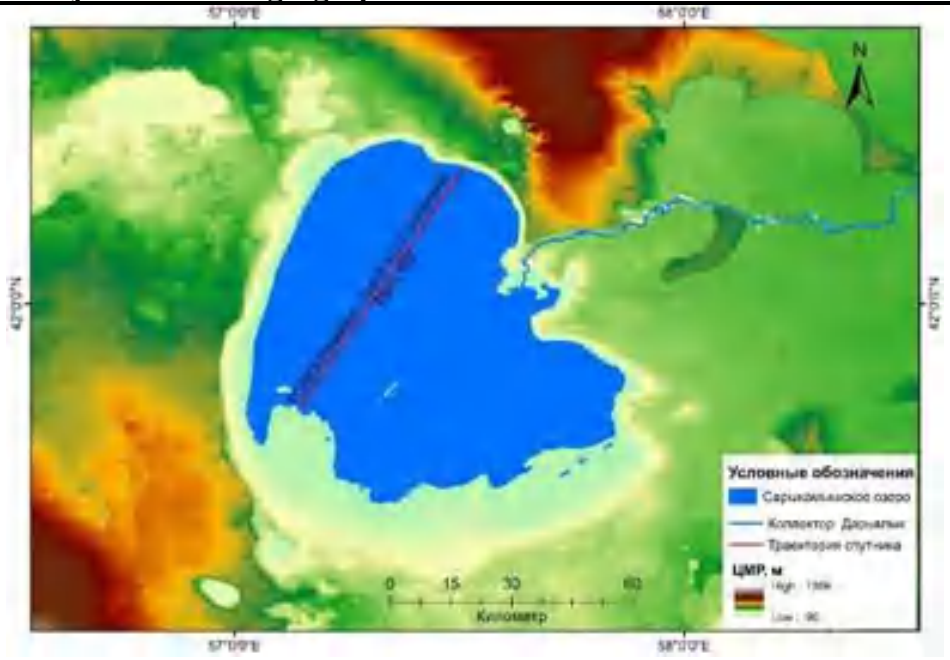


Рис. 1. Траектории спутников-альтиметров TOPEX/Poseidon, Jason-1/2/3 и Sentinel-6

Рисунок составлен авторами на основе программы ArcMap и модели SRTM NASA.

Согласно результатам предыдущих исследований, метод линейной интерполяции даёт наиболее приемлемые результаты для заполнения пропусков в рядах спутниковых альтиметрических данных. Пропуски в альтиметрических данных были заполнены с помощью метода линейной интерполяции (рис. 2).

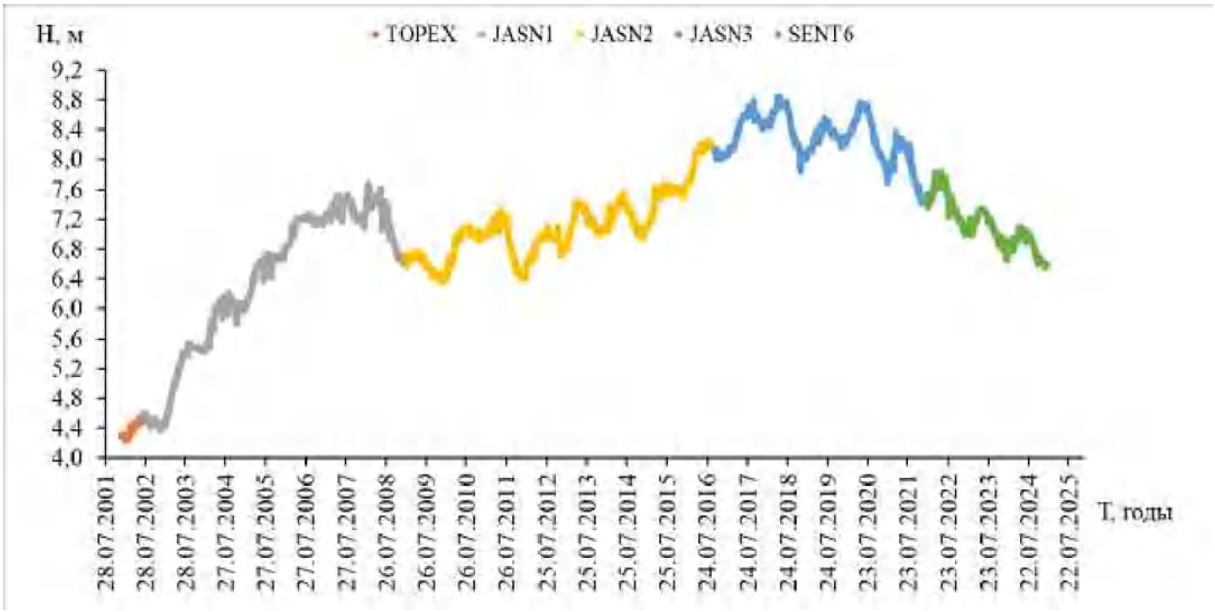


Рис. 2. Восстановленные значения уровня воды озера Сарыкамыш

Рисунок составлен авторами с помощью пакета Microsoft Office.

В результате были восстановлены ежедневные данные уровня воды в озере за 2001-2024 гг. Поскольку на территории озера отсутствуют данные in situ, возможности сравнения заполненных альтиметрических данных нет.

На следующем этапе исследования были рассчитаны статистические характеристики долгосрочных стандартных рядов, такие как среднее, максимальное, минимальное значения, стандартное отклонение и дисперсия (табл. 1).

Таблица 1

Статистическое описание серии спутниковых наблюдений

Период	Тенденция	Статистический показатель	Значение, м	Время наблюдения
2001-2024	+0,16	σ	0,91	-
2002-2007	+0,56	s^2	0,82	-
2008-2009	−0,60	$H_{ср}$, m	7,12	2013
2010-2020	+0,15	$H_{макс}$, m	8,84	24-29.04.2018
2021-2024	−0,36	$H_{мин}$, m	4,23	07-09.02.2002

Примечание: σ - стандартное отклонение, s^2 - дисперсия, $H_{ср}$ - средняя высота уровня воды, $H_{макс}$ - максимальная высота уровня воды, $H_{мин}$ - минимальная высота уровня воды.

Таблица составлена авторами с помощью пакета Microsoft Office.

Согласно результатам статистического расчёта восстановленных данных, самый низкий уровень воды в 2001-2024 гг. был зафиксирован 24-29 февраля 2002 г. и составил 4,23 м. Самый высокий уровень воды наблюдался 24-29 апреля 2018 г. и составил 8,84 м. Из анализа многолетних значений уровня воды выяснилось, что дисперсия составила 0,82 м, а значение среднего квадратического отклонения - 0,91 м.

Основным фактором, определяющим гидрологический режим озера, является приток воды. По Дарьялыкскому коллектору в озеро ежегодно поступает приблизительно 3-5 км³ воды [10]. В настоящее время получить достоверные наземные данные о расходе коллектора со стороны Туркменистана невозможно, поэтому изменения уровня воды в озере были статистически сопоставлены со среднегодовым расходом воды Амударьи на гидропосту Туя-Муюн. Результаты анализа показали низкий коэффициент корреляции (r = 0,43). Это объясняется тем, что сток коллектора формируется главным образом за счет дренажно-возвратных вод орошаемых земель, а гидрологические режимы коллектора и реки существенно различаются.

Тем не менее начиная с 2020 г. на фоне снижения водности Амударьи наблюдается понижение уровня воды и в озере, что указывает на наличие косвенного влияния речного стока на состояние озера.

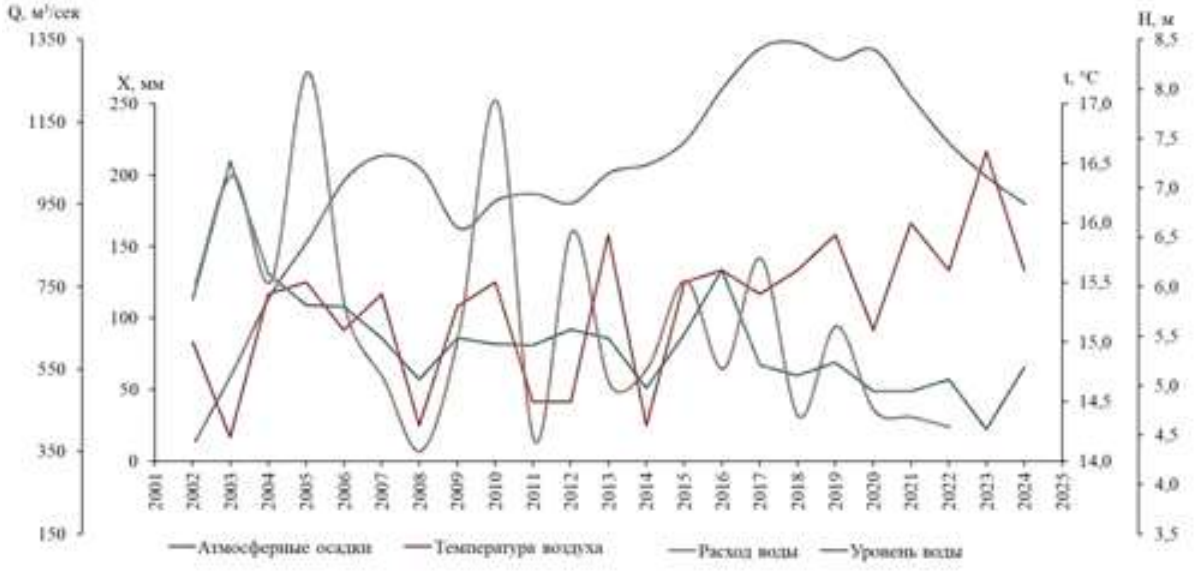


Рис. 3. График изменения уровня воды в сочетании с речным стоком и метеорологическими показателями

Рисунок составлен авторами с помощью пакета Microsoft Office.

Метеорологические факторы также играют важную роль в межгодовой изменчивости уровня воды (рис. 3). Для оценки влияния метеорологических условий

использованы данные ближайшей к озеру метеостанции Екеже. Согласно результатам статистического анализа атмосферных осадков и температуры воздуха, связь между уровнем воды и температурой воздуха оказалась весьма слабой (r = 0,36), тогда как с количеством осадков выявлена более значимая корреляция (r = 0,60).

Например, одним из лет с наибольшим уровнем воды за последнее десятилетие был 2016 г., когда уровень озера составил 8,02 м. В этот же год количество атмосферных осадков достигло 134 мм [9] , что примерно на 40 мм больше по сравнению с предыдущими годами. Это подтверждает, что количество осадков является важным метеорологическим фактором, влияющим на изменение уровня озера после притока.

В целом, начиная с 2020 года наблюдается устойчивое снижение уровня воды в озере. Этот процесс объясняется, с одной стороны, уменьшением стока Амударьи и снижением количества атмосферных осадков по годам, а с другой - повышением температуры воздуха, приводящим к усилению процессов испарения.

Выводы. На основе ретроспективного анализа данных спутниковой альтиметрии за период 2001-2024 гг. было установлено, что гидрологический режим озера Сарыкамыш характеризовался выраженной этапной изменчивостью. В течение последних десятилетий динамика уровня воды не была линейной: наблюдались периоды как относительной стабилизации и повышения, так и значительного снижения водного зеркала. Такая волатильность объясняется сложным взаимодействием естественных климатических циклов и антропогенного воздействия на водосборный бассейн.

В первой половине исследуемого периода (2001-2012 гг.) колебания уровня воды в основном зависели от объемов поступления коллекторно-дренажных вод через системы Дарьялык. Эти объемы, в свою очередь, диктовались интенсивностью орошения сельскохозяйственных угодий в низовьях Амударьи. Природные факторы, такие как сезонные паводки и циклы многоводья, временно компенсировали потери на испарение, поддерживая экосистему озера в относительном равновесии.

Результаты исследования показывают, что начиная с 2020 года, в озере Сарыкамыш установилась устойчивая и прогрессирующая тенденция ежегодного снижения уровня воды. Данная негативная динамика обусловлена эффектом следующих факторов:

• Усиливающееся воздействие глобального изменения климата в Центральноазиатском регионе привело к росту среднегодовых температур, что резко увеличило интенсивность испарения с поверхности озера.

• Сокращение объемов сброса дренажных вод из-за внедрения водосберегающих технологий в сельском хозяйстве или перераспределения стока привело к критическому дефициту водного баланса.

Если текущая тенденция сохранится, продолжающееся обмеление Сарыкамыша может привести к необратимым экологическим последствиям. Прежде всего, это повлечет за собой резкое повышение минерализации воды, что создаст непригодные условия для жизни многих видов рыб и гидробионтов.

Нарушение естественного баланса экосистемы неизбежно приведет к деградации прибрежной флоры и сокращению биоразнообразия фауны, включая места обитания перелетных птиц. Более того, обнажение дна озера создает риск формирования новых очагов пылевых и солевых выносов, что окажет негативное воздействие на здоровье населения и состояние почв прилегающих территорий.

Использованная литература:

1. Аденбаев Б.Е., Калабаев С.Б. Гидрография, морфометрия и мониторинг современного состояния озера Джылтырбас // Водное хозяйство России: проблемы, технологии, управление. 2023. № 5. С. 43-53. https://doi.org/10.35567/19994508_2023_5_4

2. Артыкова Ф.Я., Калабаев С.Б. Перспективы использования спутниковых данных для определения уровня воды в крупных озерах // Современные проблемы дистанционного

зондирования Земли из космоса. 2024. Т. 21. № 4. С. 251-259. https://doi.org/10.21046/2070-7401-2024-21-4-251-259. Scopus ID-59329867100

3. Артыкова Ф.Я., Калабаев С.Б. Долгосрочные фазовые изменения озер Южного Приаралья // Водное хозяйство России: проблемы, технологии, управление 2025. № 1. С. 40-56. https://doi.org/10.35567/19994508-2025-1-40-56

4. Донати Т.А., Нурбаев Д.Д. Многолетние изменения гидрометеорологического режима озеро Сарыкамыш // Труды СНИГМИ имени В.А.Бугаева. Ташкент, Выпуск 162 (243). 2003. С. 81-94.

5. Горелкин Н.Е., Мансимов *М.* Гидрометеорологический, гидрохимический режим и водносолевой баланс оз. Сарыкамыш // Труды СНИГМИ имени В.А.Бугаева. Выпуск 133 (214). 1990. С. 71-83.

6. Калабаев С.Б. Возможности использования спектральных индексов в определении границ поверхностных водных объектов с помощью изображений Landsat // Гидрометеорология и мониторинг окружающей среды. 2023. № 4. С. 36-43. (На узб. яз.).

7. Калабаев С.Б., Аденбаев Б.Е. Оценка изменений площадей водной поверхности озера Междуречье по спутниковым снимкам // Материалы международной научно-практической конференции «Роль современной геоинформационной картографии, методов и технологий дистанционного зондирования в географических исследованиях». Ташкент, 2024. С. 505-508.

8. Калабаев С.Б., Артикова Ф.Я. Картографирование и мониторинг озёр по материалам спутникового наблюдения // Гидрометеорология и мониторинг окружающей срелы. 2024. № 1. С. 87-92. (На узб. яз.).

9. Калабаев С.Б., Артыкова Ф.Я., Аденбаев Б.Е. Анализ долгосрочных тенденций осадков в Южном Приаралье // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2025. Т. 22. № 4. С. 317-332. https://doi.org/10.21046/2070-7401-2025-22-4-317-332

10. Калабаев С.Б., Йулдошбаева М.Р. Гидрографическое описание водных объектов Низовьев Амударьи // Известия Географического общества Узбекистана. 2019. Т. 56. С. 235-239. (На узб. яз.).

11. Костяной А.Г., Лебедев С.А., Казьмина М.В., Цепелев В.Ю., Варлашина В.М., Нещадимова Г.Г. Спутниковый мониторинг трансграничных вод России и Эстонии. Москва: Сигнал, 2012. 16 с.

12. Рубанов И.В. Озерно-почвенное соленакопление в Узбекистане. Ташкент: Фан, 1977. 156 с.

13. Hu Y., Duan W., Chen Y., Kayumba P., Sahu N. (2021), An integrated assessment of runoff dynamics in the Amu Darya River Basin: Confronting climate change and multiple human activities, 1960–2017, *Journal of Hydrology*, p. 603.

14. Kostianoy A.G., Kostianaia E.A., Lebedev S.A., Serykh I.V., Prokofiev Y.A. (2021), Interannual variability in the level of lakes in northwestern Russia, *Proceedings of the VI International Scientific and Practical Conference "Fundamental and Applied Aspects of Geology, Geophysics and Geoecology Using Modern Information Technologies"*, Maykop, Part 1, pp. 158-167.

15. Lebedev S.A., Kostianoy A.G. (2006), Satellite Altimetry of the Caspian Sea, *Proceedings of the Symposium on 15 Years of Progress in Radar Altimetry*, Venice,Vol. SP 614.

16. Liu H., Chen Y., Ye Z., Li Y., Zhang Q. (2019), Recent Lake Area Changes in Central Asia, *Scientific Reports*, 2019, No. 9:16277.

17. Troitskaya Y.I., Rybushkina G.V., Soustova I.A., Balandina G.N., Lebedev S.A. (2012), Kostianoy A.G. Satellite altimetry of inland water bodies, *Hydrophysical Processes*, Vol. 39, pp. 184-199.

18. Yang L.K., Qin J., Hou J., Lei Y., Wang J., and et. al. (2022), Strict Validation of MODIS Lake Surface Water Temperature on the Tibetan Plateau, *Remote Sens*., Vol. 14, pp. 5454. https://doi.org/10.3390/rs14215454

References:

1. Adenbaev B.E., Kalabaev S.B. (2023), Hydrography, morphometry and monitoring of the current state of Lake Dzhiltyrbas, *Water Sector of Russia: Problems, Technologies, Management,* No. 5, pp. 43-53. https://doi.org/10.35567/19994508_2023_5_4 (in Russian)

2. Artikova F.Ya., Kalabaev S.B. (2024), Prospects for using satellite data to determine water levels in large lakes, *Current Problems in Remote Sensing of the Earth from Space,* Vol. 21, No. 4, pp.

251-259. https://doi.org/10.21046/2070-7401-2024-21-4-251-259 (in Russian)

3. Artikova F.Ya., Kalabaev S.B. (2025), Long-Term Phase Changes In The South Aral Sea Region Lakes, *Water Sector of Russia: Problems, Technologies, Management,* No. 1, pp. 40-56. https://doi.org/10.35567/19994508-2025-1-40-56 (in Russian)

4. Donati T.A., Nurbaev D.D. (2003), Long-term changes in the hydrometeorological regime of Lake Sarykamysh, *Proceedings of SANIGMI named after V.A. Bugaev,* Issue 162 (243), pp. 81-94. (in Russian)

5. Gorelkin N.E., Mansimov M. (1990), Hydrometeorological, hydrochemical regime and water-salt balance of Lake Sarykamysh, *Proceedings of SANIGMI named after V.A. Bugaev,* Issue 133 (214), pp. 71-83. (in Russian)

6. Kalabaev S.B. (2023), Possibilities of using spectral indices in determining the boundaries of surface water objects using Landsat images, *Hydrometeorology and Environmental Monitoring,* No. 4, pp. 36-43. (in Uzbek)

7. Kalabaev S.B., Adenbaev B.E. (2024), Estimation of changes in the water surface areas of Lake Mezhdurechye from satellite images, *Materials of the international scientific-practical conference "The role of modern geoinformation cartography, methods and technologies of remote sensing in geographical research",* Tashkent, pp. 505-508. (in Russian)

8. Kalabaev S.B., Artikova F.Ya. (2024), Mapping and monitoring of lakes based on satellite observation data, *Hydrometeorology and Environmental Monitoring,* No. 1, pp. 87-92. (in Uzbek)

9. Kalabaev S.B., Artikova F.Ya., Adenbaev B.E. (2025), Analysis of long-term precipitation trends in the Southern Aral Sea region, *Current Problems in Remote Sensing of the Earth from Space*, Vol. 22, No. 4, pp. 317-332. https://doi.org/10.21046/2070-7401-2025-22-4-317-332 (in Russian)

10. Kalabaev S.B., Yuldoshbaeva M.R. (2019), Hydrographic characteristics of water bodies of the Lower Amudarya, *The Annales of the Geographical Society of Uzbekistan*, Vol. 56, pp. 235-239. (in Uzbek)

11. Kostianoy A.G., Lebedev S.A., Kazmina M.V., Tsepelev V.Yu., Varlashina V.M., Neshchadimova G.G. (2012), *Satellite monitoring of transboundary waters of Russia and Estonia,* Moscow, 16 p. (in Russian)

12. Rubanov I.V. (1977), *Lake-soil salt accumulation in Uzbekistan*, Tashkent, 156 p. (in Russian).

13. Hu Y., Duan W., Chen Y., Kayumba P., Sahu N. (2021), An integrated assessment of runoff dynamics in the Amu Darya River Basin: Confronting climate change and multiple human activities, 1960–2017, *Journal of Hydrology*, p. 603.

14. Kostianoy A.G., Kostianaia E.A., Lebedev S.A., Serykh I.V., Prokofiev Y.A. (2021), Interannual variability in the level of lakes in northwestern Russia, *Proceedings of the VI International Scientific and Practical Conference "Fundamental and Applied Aspects of Geology, Geophysics and Geoecology Using Modern Information Technologies"*, Maykop, Part 1, pp. 158-167.

15. Lebedev S.A., Kostianoy A.G. (2006), Satellite Altimetry of the Caspian Sea, *Proceedings of the Symposium on 15 Years of Progress in Radar Altimetry*, Venice,Vol. SP 614.

16. Liu H., Chen Y., Ye Z., Li Y., Zhang Q. (2019), Recent Lake Area Changes in Central Asia, *Scientific Reports*, 2019, No. 9:16277.

17. Troitskaya Y.I., Rybushkina G.V., Soustova I.A., Balandina G.N., Lebedev S.A. (2012), Kostianoy A.G. Satellite altimetry of inland water bodies, *Hydrophysical Processes*, Vol. 39, pp. 184-199.

18. Yang L.K., Qin J., Hou J., Lei Y., Wang J., and et. al. (2022), Strict Validation of MODIS Lake Surface Water Temperature on the Tibetan Plateau, *Remote Sens*., Vol. 14, pp. 5454. https://doi.org/10.3390/rs14215454

Сведения об авторах:

Калабаев Салауат Бахитбай ули – Научно-исследовательский гидрометеорологический институт (Ташкент, Узбекистан), Ташкентский государственный аграрный университет (Ташкент, Узбекистан), доктор философии (PhD) по географическим наукам. E-mail: salauat.kalabaev@gmail.com.

Саидов Улмас Исматилло угли – Научно-исследовательский гидрометеорологический институт (Ташкент, Узбекистан), младший научный сотрудник.

Исмаилова Мохичехра Бахтияровна – Научно-исследовательский гидрометеорологический институт (Ташкент, Узбекистан), научный сотрудник.

Information about the authors:

Salauat Kalabaev – Hydrometeorological Research Institute (Tashkent, Uzbekistan), Tashkent State Agrarian University (Tashkent, Uzbekistan), Doctor of Philosophy (PhD) in Geographical Sciences. E-mail: salauat.kalabaev@gmail.com.

Ulmas Saidov – Hydrometeorological Research Institute (Tashkent, Uzbekistan), Junior Researcher.

Mokhichekhra Ismailova – Hydrometeorological Research Institute (Tashkent, Uzbekistan), Researcher.

Для цитирования:

Калабаев С.Б., Саидов У.И., Исмаилова М.Б. Анализ изменений уровня воды озера Сарыкамыш по данным дистанционного зондирования Земли // Центральноазиатский журнал географических исследований. 2026. № 1-2. С. 120-129.

For citation:

Kalabaev S.B., Saidov U.I, Ismoilova M.B. (2026), Analysis of changes in the water level of lake Sarykamysh based on remote sensing data, *Central Asian Journal of Geographical Sciences*, No. 1-2, pp. 120-129. (In Russ.).

УДК 556.555 : 551.58 : 528.88 https://doi.org/10.5281/zenodo.20785128

Мягков С.С., Дергачева И.В.

Научно-исследовательский гидрометеорологический институт, Ташкент, Узбекистан

СЕЗОННАЯ ДИНАМИКА ПЛОЩАДИ ВОДНОЙ ПОВЕРХНОСТИ ОЗЕРА ДАУТКУЛЬ В ПРИАРАЛЬЕ ПО ДАННЫМ SENTINEL-2

Аннотация. *В статье рассмотрена внутригодовая динамика водной поверхности озера Даутkуль, расположенного в аридной зоне Приаралья. Исследование выполнено на основе мультиспектральных спутниковых данных Sentinel-2 за период с декабря 2024 г. по ноябрь 2025 г. Для выделения водной поверхности применён нормализованный водный индекс NDWI, позволяющий осуществлять автоматизированное дешифрирование водных объектов по данным дистанционного зондирования Земли. Выполнены векторизация водной поверхности и расчёт площади озера для каждого месяца исследуемого периода. Установлено, что площадь водного зеркала изменялась в диапазоне от 0,48 до 23,66 км², что свидетельствует о высокой сезонной изменчивости площади водной поверхности озера. Максимальные значения площади наблюдались в зимне-весенний период, минимальные — в конце летнего сезона. Полученные результаты позволяют предположить, что выявленная динамика связана с природными условиями аридной зоны и особенностями поступления коллекторно-дренажных вод. Полученные результаты подтверждают эффективность использования спутникового мониторинга для оценки сезонной динамики водной поверхности озёр аридных территорий.*

Ключевые слова: *озеро Даутkуль, Приаралье, аридные территории, Sentinel-2, дистанционное зондирование Земли, NDWI, сезонная динамика водной поверхности.*

Myagkov S.S., Dergacheva I.V.

Hydrometeorological Research Institute, Tashkent, Uzbekistan

SEASONAL DYNAMICS OF THE WATER SURFACE AREA OF DAUTKUL LAKE IN THE ARAL SEA REGION BASED ON SENTINEL-2 DATA

Abstract. *The article examines the intra-annual dynamics of the water surface area of Lake Dautkul, located in the arid zone of the Aral Sea region. The study was carried out using multispectral Sentinel-2 satellite data for the period from December 2024 to November 2025. The Normalized Difference Water Index (NDWI) was applied to delineate the water surface, enabling automated identification of water bodies based on remote sensing data. Vectorization of the water surface and calculation of the lake area were performed for each month of the study period. It was established that the water surface area varied from 0.48 to 23.66 km², indicating high seasonal variability of the lake's water surface area. The maximum area values were observed during the winter–spring period, while the minimum values occurred at the end of the summer season. The obtained results suggest that the identified dynamics are associated with the natural conditions of the arid zone and the characteristics of collector-drainage water inflow. The results confirm the effectiveness of satellite monitoring for assessing the seasonal dynamics of lake water surfaces in arid territories.*

Key words: *Dautkul Lake, Aral Sea region, arid territories, Sentinel-2, remote sensing, NDWI, seasonal water dynamics.*

Введение и постановка проблемы. В условиях современного изменения климата и возрастающего дефицита водных ресурсов особую актуальность приобретает исследование сезонной динамики и пространственно-временной изменчивости озёр аридных территорий. Для водоёмов Центральной Азии характерны высокая сезонная изменчивость площади водной поверхности и значительная зависимость от климатических и антропогенных факторов. Особенно остро данные процессы

проявляются в пределах Приаралья, где в результате трансформации речного стока и интенсивного водохозяйственного освоения произошли существенные изменения структуры водных объектов территории [1, 4, 18].

Озёрные системы Приаралья представляют собой важный элемент природно-хозяйственной структуры региона и выполняют значимые экологические функции. Они участвуют в перераспределении поверхностного стока, оказывают влияние на локальные микроклиматические условия, являются местами концентрации биологических ресурсов и одновременно выступают индикаторами изменения природно-хозяйственной обстановки. В условиях аридного климата даже незначительные изменения водопритока и испаряемости способны вызывать резкие колебания площади водной поверхности [3, 7, 9].

Для большинства озёр дельтовых и коллекторно-дренажных систем характерен неустойчивый режим изменчивости площади, определяемый сочетанием природных и антропогенных процессов. К числу ключевых факторов относятся:

- высокая интенсивность испарения;
- сезонная изменчивость температурного режима;
- нерегулярность поступления коллекторно-дренажных вод;
- особенности водохозяйственного регулирования;
- изменение режима водопользования в вегетационный и межвегетационный периоды.

Одним из типичных водоёмов подобного типа является озеро Дауткуль, расположенное в пределах Приаралья. Формирование и существование данного озера в значительной степени связано с перераспределением дренажного стока и функционированием коллекторно-дренажной сети. Вследствие этого площадь водной поверхности озера характеризуется выраженной сезонной изменчивостью и высокой чувствительностью к изменениям водообеспечения территории.

Традиционные гидрологические наблюдения, основанные на стационарных измерениях, в условиях труднодоступности и пространственной неоднородности дельтовых территорий не всегда обеспечивают получение оперативной и детализированной информации о состоянии водоёмов. В этой связи методы дистанционного зондирования Земли становятся одним из наиболее эффективных инструментов мониторинга водных объектов [5, 6].

Современные спутниковые системы, в частности миссия Sentinel-2 программы Copernicus, обеспечивают получение мультиспектральных данных высокого пространственного и временного разрешения, что позволяет проводить регулярный мониторинг сезонной динамики водной поверхности [11]. Использование спектральных индексов позволяет автоматизировать оценку морфометрических характеристик озёр и анализ сезонной изменчивости их площади. [12, 13, 17, 22].

Несмотря на значительное количество исследований, посвящённых мониторингу водных объектов по спутниковым данным, вопросы внутригодовой динамики озёр аридной зоны Приаралья остаются недостаточно изученными. Особенно ограничены исследования, ориентированные на количественный анализ сезонной трансформации малых и средних озёр коллекторно-дренажных систем.

В связи с этим исследование сезонной динамики площади водной поверхности озера Дауткуль на основе спутникового мониторинга представляет научный и практический интерес для оценки состояния водных ресурсов аридных территорий и совершенствования методов дистанционного мониторинга водных объектов [2, 8].

Изученность вопроса. Исследования сезонной динамики и пространственно-временной изменчивости озёр аридных территорий Центральной Азии в последние десятилетия приобрели особую актуальность в связи с деградацией водных экосистем Приаралья и изменением регионального водного баланса [1, 2, 4, 18]. Значительное внимание в научной литературе уделяется вопросам трансформации озёрных систем под воздействием климатических изменений и антропогенного регулирования стока.

Одним из ключевых направлений современных исследований является применение методов дистанционного зондирования Земли для мониторинга поверхностных вод [3, 6]. Использование спутниковых данных позволяет получать регулярную и пространственно детализированную информацию о динамике водных объектов, что особенно важно для труднодоступных территорий и регионов с ограниченной сетью гидрологических наблюдений. В последние годы широкое развитие получили облачные платформы обработки спутниковых данных, включая Google Earth Engine, обеспечивающие автоматизированный анализ многовременных рядов Sentinel-2 [15].

Для выделения водной поверхности широко применяются спектральные индексы, основанные на различиях отражательной способности воды в видимом и инфракрасном диапазонах спектра. Наиболее распространённым является нормализованный водный индекс NDWI, предложенный S. McFeeters [17]. Данный индекс получил широкое распространение благодаря простоте расчёта и высокой эффективности при идентификации открытой водной поверхности.

В дальнейшем методика была усовершенствована рядом исследователей. H. Xu предложил модифицированный индекс MNDWI, обеспечивающий более устойчивое выделение водных объектов в условиях сложного фонового покрытия [22]. Исследования Ji et al. показали необходимость адаптации пороговых значений индексов в зависимости от природных условий исследуемой территории [14].

С развитием спутниковых систем высокого разрешения значительно расширились возможности дистанционного мониторинга водных объектов. Особое значение имеют данные миссии Sentinel-2, обеспечивающие сочетание высокой пространственной детализации и регулярности наблюдений [11, 12]. Использование многовременных рядов Sentinel-1/2 и облачных платформ обработки данных, включая Google Earth Engine, позволяет эффективно выполнять автоматизированное картографирование и мониторинг водно-болотных угодий и озёрных систем [19]. Применение данных Sentinel-2 создаёт возможность детального анализа сезонной динамики водоёмов, изменения береговой линии и внутригодовой изменчивости площади водной поверхности.

Для территорий Приаралья исследования с применением спутниковых данных в основном посвящены крупным водным объектам, изменениям водной поверхности Аральского моря и трансформации водно-болотных угодий дельтовых территорий [5, 7, 20]. При этом значительно меньше внимания уделяется озёрам коллекторно-дренажного происхождения, характеризующимся высокой сезонной изменчивостью и существенной зависимостью от водохозяйственного регулирования.

Ряд исследований показывает, что водоёмы аридной зоны отличаются повышенной чувствительностью к изменениям испаряемости и режиму водопритока [3, 9, 13]. В условиях высоких летних температур даже кратковременное сокращение поступления воды способно приводить к быстрому уменьшению площади водной поверхности и фрагментации озёр.

Несмотря на активное развитие методов дистанционного мониторинга, вопросы внутригодовой динамики площади водной поверхности озёр Приаралья остаются недостаточно изученными. Особенно ограничены исследования, основанные на систематическом анализе временных рядов спутниковых данных с оценкой сезонных фаз изменения площади водной поверхности. При этом специализированные исследования внутригодовой динамики площади водной поверхности озера Дауткуль на основе многовременных спутниковых данных Sentinel-2 в доступной научной литературе представлены ограниченно.

В связи с этим применение спутникового мониторинга для исследования сезонной динамики озера Дауткуль представляет собой актуальное направление геоинформационных и дистанционных исследований водных объектов аридной зоны, ориентированное на количественную оценку сезонной изменчивости площади водной поверхности [6, 16, 21].

Цель и задачи работы. Целью исследования является оценка сезонной изменчивости площади водной поверхности озера Дауткуль в условиях аридной зоны Приаралья на основе мультиспектральных спутниковых данных Sentinel-2 и индекса NDWI.

Для достижения поставленной цели были решены следующие задачи:

1. Реализовано автоматизированное выделение водной поверхности озера с использованием нормализованного водного индекса NDWI.
2. Выполнены векторизация водной поверхности и расчёт площади озера для каждого этапа наблюдений.
3. Проанализирована сезонная изменчивость площади водной поверхности озера и выделены основные фазы её изменения.
4. Выполнена интерпретация выявленной сезонной динамики площади водной поверхности озера Дауткуль.

Материалы и методы. Объектом исследования является озеро Дауткуль, расположенное в пределах Приаралья на территории Республики Узбекистан. Озеро относится к числу водоёмов аридной зоны, режим изменчивости площади которых формируется под воздействием как природных, так и антропогенных факторов.

Озеро Дауткуль расположено в северо-западной части Республики Узбекистан, в пределах дельтовой равнины Амударьи на территории Республики Каракалпакстан. Центральная часть исследуемого водоёма расположена в 42°51′59″ с.ш. и 59°18′40″ в.д. Географическое положение района исследования представлено на рис. 1.



Рис. 1. Географическое положение озера Дауткуль в пределах Приаралья

Водоём относится к озёрам коллекторно-дренажного происхождения, формирующимся под влиянием ирригационного водопользования и перераспределения дренажного стока. Питание озера осуществляется преимущественно за счёт коллекторно-дренажных вод, поступающих из оросительных систем Приаралья. Для озера характерны высокая минерализация и значительная сезонная изменчивость площади водной поверхности.

Особенностью исследуемого водоёма является его зависимость от поступления коллекторно-дренажных вод и перераспределения стока в условиях развитого ирригационного земледелия.

В условиях аридного климата Приаралья сочетание высоких летних температур и ограниченного водопритока обусловливает значительную сезонную изменчивость площади водной поверхности, что делает озеро Дауткуль репрезентативным объектом для исследования динамики озёр аридной зоны.

В качестве исходных материалов использовались мультиспектральные спутниковые изображения Sentinel-2 программы Copernicus [11]. Данные получены с сенсора MSI (Multispectral Instrument), обеспечивающего съёмку земной поверхности в 13 спектральных диапазонах с пространственным разрешением 10, 20 и 60 м.

Для исследования применялись спутниковые продукты уровня обработки Level-2A (L2A), содержащие значения отражательной способности земной поверхности, скорректированные с учётом атмосферного влияния. Использование данных данного уровня обеспечивает сопоставимость результатов при многовременном анализе и позволяет минимизировать влияние атмосферных искажений.

Для выделения водной поверхности использовались спектральные каналы B3 (Green, 0,560 мкм, пространственное разрешение 10 м) и B8 (NIR, 0,842 мкм, пространственное разрешение 10 м).

Выбор данных каналов обусловлен спектральными особенностями воды, характеризующейся повышенным поглощением излучения в ближнем инфракрасном диапазоне и более высокой отражательной способностью в зелёной области спектра [17, 22].

Для анализа внутригодовой динамики был сформирован временной ряд, включающий 12 спутниковых сцен за период с декабря 2024 г. по ноябрь 2025 г. Информация о датах спутниковых съёмок и показателях облачности использованных сцен Sentinel-2 приведена в таблице 1.

Таблица 1

Основные характеристики спутниковых сцен Sentinel-2, использованных для анализа сезонной динамики озера Дауткуль

Месяц	Дата съёмки	Облачность сцены, %	Месяц	Дата съёмки	Облачность сцены, %
Декабрь	26.12.2024	0.037468	Июнь	29.06.2025	0.000903
Январь	10.01.2025	5.142473	Июль	19.07.2025	0.028659
Февраль	09.02.2025	0.52675	Август	28.08.2025	0.000053
Март	11.03.2025	6.219403	Сентябрь	27.09.2025	0.001815
Апрель	07.04.2025	0.005827	Октябрь	24.10.2025	0.011196
Май	30.05.2025	0.00117	Ноябрь	26.11.2025	0.021766

Таблица составлена авторами.

Отбор изображений выполнялся по следующим критериям:

- минимальная облачность;
- отсутствие выраженных атмосферных искажений;
- репрезентативность сцены для соответствующего месяца;
- сопоставимость условий съёмки.

Период повторного покрытия территории спутниками Sentinel-2A и Sentinel-2B составляет около 5 суток, что обеспечивает возможность регулярного мониторинга динамики водных объектов.

Предварительная обработка данных включала визуальный контроль качества спутниковых сцен, проверку пространственной привязки и формирование единого временного ряда данных. Поскольку используемые спектральные каналы имеют

одинаковое пространственное разрешение 10 м, дополнительная процедура приведения пространственного разрешения не требовалась.

Для автоматизированного выделения водной поверхности использовался нормализованный водный индекс NDWI, основанный на различии отражательной способности воды в зелёном и ближнем инфракрасном диапазонах [17].

$$NDWI = \frac{B3 - B8}{B3 + B8} \quad (1)$$

где: B3 — отражательная способность в зелёном диапазоне, B8 — отражательная способность в ближнем инфракрасном диапазоне.

Физическая основа метода заключается в том, что вода интенсивно поглощает электромагнитное излучение в ближнем инфракрасном диапазоне, вследствие чего значения индекса для водной поверхности принимают положительные значения, тогда как для суши характерны отрицательные значения NDWI.

Для классификации водной поверхности применялась пороговая бинаризация [13]:

- NDWI > 0 — водная поверхность;
- NDWI ≤ 0 — прочие объекты.

Пороговое значение NDWI > 0 выбрано на основе рекомендаций McFeeters [17] и дополнительно проверено визуальным сопоставлением результатов классификации с исходными спутниковыми изображениями Sentinel-2 для территории исследования.

После бинарной классификации выполнялась постобработка результатов, включавшая:

- удаление одиночных пикселей;
- фильтрацию мелких изолированных объектов;
- устранение шумов классификации;
- корректировку границ водной поверхности.

Контроль корректности выделения водной поверхности выполнялся путём визуального сопоставления результатов классификации NDWI с синтезированными спутниковыми изображениями Sentinel-2 в естественных цветах. Дополнительно проверялась согласованность конфигурации береговой линии между соседними временными сценами.

Дополнительно выполнялась визуальная оценка корректности классификации водной поверхности путём сопоставления результатов бинаризации NDWI с исходными мультиспектральными изображениями Sentinel-2 в естественных цветах. Проверка показала высокую согласованность выделенных контуров водной поверхности с фактическими границами озера на спутниковых сценах исследуемого периода.

Полученные бинарные растры преобразовывались в векторный формат, после чего выполнялся расчёт площади водной поверхности озера. Площадные характеристики определялись в метрической проекции, обеспечивающей корректность пространственных измерений.

Для каждого месяца исследуемого периода были получены значения площади водного зеркала, на основе которых сформирован временной ряд внутригодовой динамики озера Дауткуль.

При интерпретации результатов учитывались ограничения, характерные для дистанционного мониторинга водных объектов аридных территорий [8, 11, 12]. Основными факторами, влияющими на точность выделения водной поверхности, являются:

- наличие влажных почв;
- засолённые поверхности;
- прибрежная растительность;
- высокая мутность воды;
- влияние атмосферных условий.

Несмотря на указанные ограничения, использование данных Sentinel-2 и индексного подхода NDWI обеспечивает достаточную точность оценки сезонной динамики площади водной поверхности и позволяет эффективно анализировать гидрологическое состояние озёр аридной зоны.

Результаты и их обсуждение. В результате обработки мультиспектральных спутниковых изображений Sentinel-2 был сформирован временной ряд, характеризующий внутригодовую динамику площади водной поверхности озера Дауткуль за период с декабря 2024 г. по ноябрь 2025 г.

На основе расчёта индекса NDWI выполнено автоматизированное выделение водной поверхности озера для каждого месяца исследуемого периода. Подобный подход широко применяется в современных исследованиях автоматизированного картографирования и многовременного мониторинга озёрных систем по спутниковым данным [23]. Полученные результаты позволили определить пространственные границы водоёма и выполнить количественную оценку изменений площади водного зеркала. Пространственные изменения площади и конфигурации водной поверхности озера в течение исследуемого периода представлены на рис. 2. Результаты расчёта площади водной поверхности представлены в таблице 2.

Таблица 2

Внутригодовая динамика площади водной поверхности озера Дауткуль

Месяц	Площадь, км²	Месяц	Площадь, км²
Декабрь	16,66	Июнь	11,59
Январь	20,22	Июль	11,38
Февраль	23,66	Август	2,37
Март	23,51	Сентябрь	0,48
Апрель	21,99	Октябрь	5,98
Май	18,25	Ноябрь	18,57

Таблица составлена авторами.

В зимне-весенний период (декабрь – апрель) наблюдаются наиболее высокие значения площади водной поверхности. В данный период площадь озера изменялась в пределах от 16,66 до 23,66 км². Формирование максимальной площади водной поверхности в конце зимы и начале весны может быть связано сочетанием нескольких факторов:

- снижением интенсивности испарения при низких температурах воздуха;
- возможным увеличением поступления коллекторно-дренажных вод;
- аккумуляцией водных масс в межвегетационный период;
- уменьшением водозабора на хозяйственные нужды.

Наибольшая площадь озера отмечена в феврале–марте, что свидетельствует о преобладании процессов накопления воды над потерями на испарение [3, 9].

Начиная с мая наблюдается устойчивая тенденция сокращения площади водной поверхности. В летний период наблюдается интенсивное сокращение площади озера. Площадь водного зеркала уменьшается с 18,25 км² в мае до 11,38 км² в июле.

Данная динамика обусловлена:

- резким увеличением испаряемости;
- высокими температурами воздуха;
- усилением дефицита влаги;
- сокращением поступления воды в озеро;
- активным водопотреблением в период вегетации.

Особенно интенсивное уменьшение площади фиксируется в августе и сентябре. В августе площадь водной поверхности составила 2,37 км², а в сентябре сократилась до минимального значения — 0,48 км². Критическое уменьшение площади озера в конце летнего периода свидетельствует о высокой зависимости водоёма от внешнего водопритока.

В условиях аридного климата даже кратковременное сокращение поступления воды приводит к резкому уменьшению акватории.

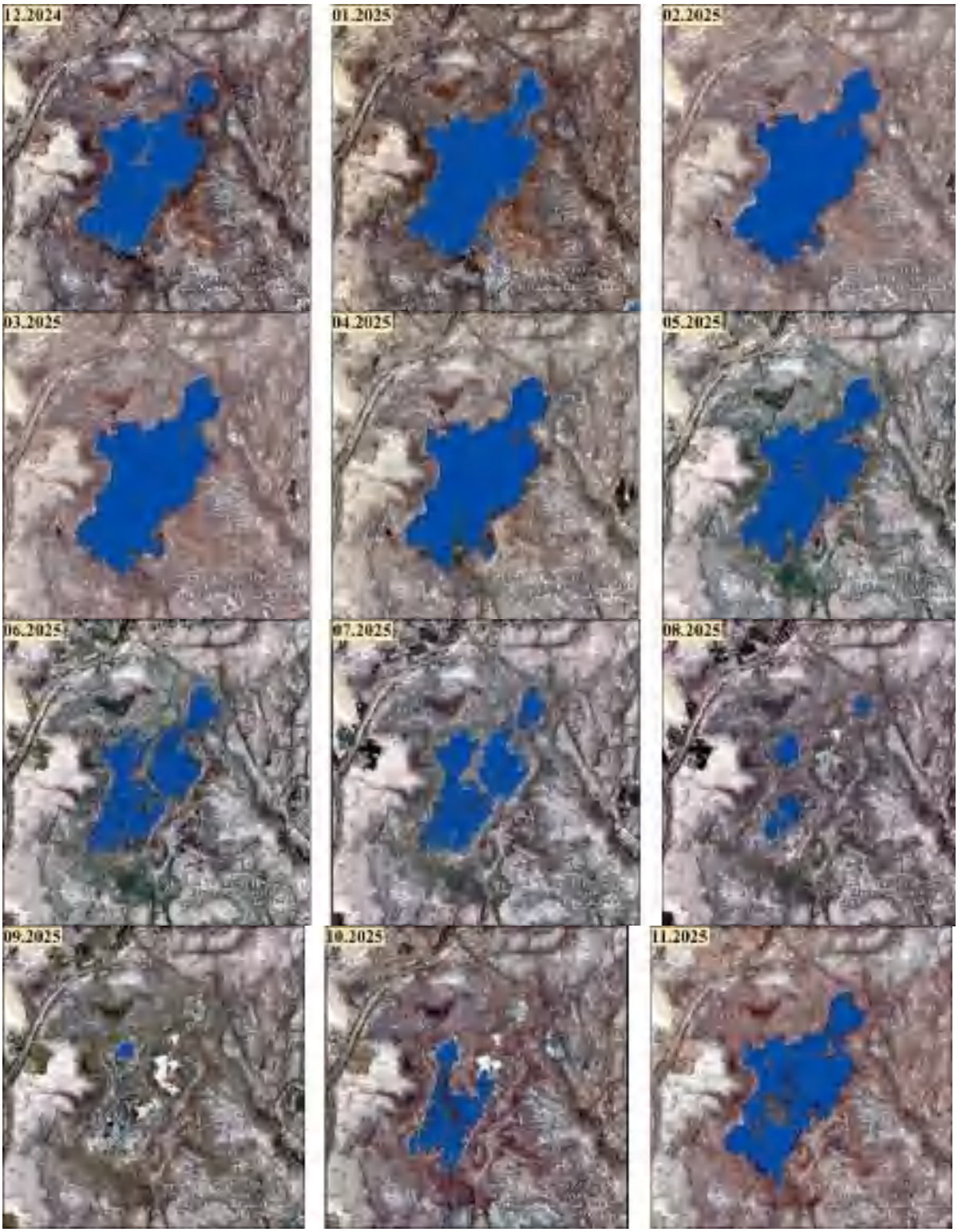


Рис. 2. Сезонная динамика водной поверхности озера Дауткуль по данным спутникового мониторинга Sentinel-2 (декабрь 2024 г. – ноябрь 2025 г.)

Полученные результаты позволяют предположить, что в данный период происходила частичная фрагментация водоёма с образованием отдельных изолированных участков водной поверхности, что типично для озёр коллекторно-дренажного происхождения [4, 8].

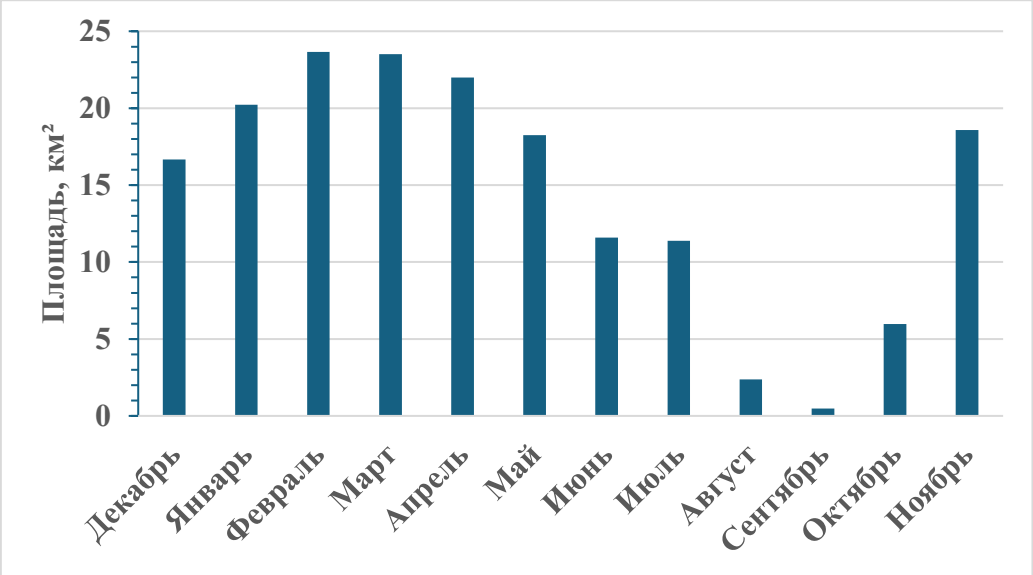


Рис. 3. Внутригодовая динамика площади водной поверхности озера Дауткуль в 2024–2025 гг.

Рисунок составлен автором.

В осенний период наблюдается повторное увеличение площади озера. В октябре площадь составила 5,98 км², а в ноябре увеличилась до 18,57 км².

Повторное увеличение площади водной поверхности озера может быть связано со следующими факторами:

- уменьшением интенсивности испарения;
- сезонным изменением режима водопользования;
- увеличением объёмов коллекторно-дренажного стока;
- особенностями водохозяйственного регулирования территории.

Резкий рост площади в ноябре указывает на существенное увеличение поступления воды в озеро. Подобная динамика характерна для водоёмов, режим изменчивости площади которых определяется не только природными процессами, но и антропогенным регулированием водного стока [4, 7].

Полученные результаты позволяют предположить, что существенное влияние на сезонную динамику площади озера оказывают климатические условия аридной зоны и особенности водохозяйственного функционирования территории.

В условиях аридного климата Приаралья сезонная изменчивость площади водной поверхности озёр тесно связана с природными условиями территории и особенностями водообеспечения [3, 9, 13]. В тёплый период года интенсивность испарения существенно возрастает, что приводит к ускоренному сокращению площади водной поверхности при отсутствии стабильного притока воды.

Одновременно значительное влияние оказывает антропогенный фактор. Озеро Дауткуль связано с системой коллекторно-дренажных вод, вследствие чего его режим изменчивости площади зависит от:

- режима ирригационного водопользования;
- перераспределения стока;
- сезонных водохозяйственных сбросов;
- функционирования дренажной сети.

Проведённое исследование показало высокую эффективность использования спутниковых данных Sentinel-2 для мониторинга сезонной динамики водной поверхности озёр аридной зоны [11, 12, 21].

Применение индексного метода NDWI обеспечило:

- устойчивое выделение водной поверхности;
- возможность автоматизированной обработки данных;
- получение сопоставимых результатов для многовременного анализа;
- количественную оценку сезонной динамики водного зеркала.

Использование данных Sentinel-2 с пространственным разрешением 10 м позволило детально отобразить изменения береговой линии и оценить динамику площади водной поверхности даже при значительном сокращении акватории [10].

Вместе с тем необходимо учитывать ограничения метода. Потенциальные ошибки классификации могут возникать [8, 14]:

- в зонах влажных почв;
- на засолённых поверхностях;
- в участках с разреженной растительностью;
- при высокой мутности воды.

Несмотря на указанные ограничения, полученные результаты хорошо согласуются с ожидаемыми закономерностями сезонной динамики озёр аридной зоны и подтверждают возможность эффективного применения спутникового мониторинга для оценки сезонной динамики водных объектов Приаралья.

Выводы. На основе мультиспектральных спутниковых данных Sentinel-2 и нормализованного водного индекса NDWI выполнено автоматизированное выделение водной поверхности озера Дауткуль и сформирован временной ряд сезонной динамики площади водного зеркала за период с декабря 2024 г. по ноябрь 2025 г.

Установлено, что площадь водной поверхности озера Дауткуль характеризуется высокой сезонной изменчивостью. В течение исследуемого периода площадь озера изменялась в диапазоне от 0,48 до 23,66 км², а амплитуда внутригодовых колебаний составила 23,18 км².

Выявлена выраженная сезонная закономерность изменения площади водной поверхности озера. Максимальные значения площади наблюдались в зимне-весенний период — в феврале (23,66 км²) и марте (23,51 км²), тогда как минимальные значения были зафиксированы в конце летнего периода — в августе (2,37 км²) и сентябре (0,48 км²).

Анализ многовременных спутниковых изображений показал, что в летне-осенний период происходит значительное сокращение площади водной поверхности и изменение конфигурации акватории озера, включая частичную фрагментацию отдельных участков водоёма.

Полученные результаты позволяют предположить, что выявленная сезонная динамика озера Дауткуль связана с сочетанием природных условий аридной зоны и особенностями поступления коллекторно-дренажных вод. При этом для количественной оценки влияния климатических и водохозяйственных факторов необходимы дополнительные гидрометеорологические наблюдения и данные о водохозяйственном регулировании.

Разработанный подход может быть использован для мониторинга озёрных систем Приаралья, оценки пространственно-временной изменчивости водной поверхности и информационной поддержки исследований водных объектов аридной зоны.

Полученные результаты демонстрируют высокую эффективность применения спутниковых данных Sentinel-2 и индексного подхода NDWI для мониторинга внутригодовой динамики озёр. Выявленные особенности сезонной изменчивости площади водной поверхности озера Дауткуль отражают высокую зависимость водоёма от режима поступления коллекторно-дренажных вод и климатических условий региона. Разработанный подход может быть использован для автоматизированного мониторинга состояния озёрных систем Приаралья, оценки изменений водных ресурсов и поддержки гидролого-экологических исследований аридных территорий.

Использованная литература:

1. Алибеков Л.А., Федорко В.Н. Аральский экологический кризис: предпосылки, последствия, перспективы // Известия Географического общества Узбекистана. 2020. Т. 57. С. 29-37.

2. Бортник В.Н., Чуб В.Е. Современные гидрологические проблемы Приаралья // Вестник НУУз. Серия географических наук. 2018. № 3. С. 41-48.

3. Гельдиева Г.В. Изменение гидрологического режима водоёмов аридной зоны Центральной Азии // Проблемы освоения пустынь. 2019. № 2. С. 15-23.

4. Духовный В.А., Соколов В.И. Интегрированное управление водными ресурсами в бассейне Аральского моря. Ташкент: НИЦ МКВК, 2003. 210 с.

5. Каюмов А.А., Турсунов Э.Т. Мониторинг водных объектов Приаралья по спутниковым данным // Геодезия и картография. 2021. № 5. С. 32-39.

6. Николаенко М.А., Романов А.А. Применение данных Sentinel-2 для мониторинга озёрных систем аридных территорий // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2022. Т. 19. № 4. С. 118-129.

7. Саидов А.Х., Юлдашев И.Х. Влияние климатических факторов на динамику водных ресурсов Приаралья // Метеорология и гидрология. 2017. № 9. С. 77-84.

8. Федорко В.Н. Территориальные природно-хозяйственные системы устьев крупных рек мира. Ростов-на-Дону: Изд-во Южного федерального университета, 2016. 112 с.

9. Чуб В.Е. Изменение климата и его влияние на гидрологические процессы в Узбекистане. Ташкент: SANIGMI, 2007. 133 с.

10. Ayalke Z.G., Şişman A. (2024), Mapping Wetlands Using Sentinel-2 Satellite Imagery and Auxiliary Data with Google Earth Engine, *Advanced Engineering Days*, Vol. 9, pp. 975–978.

11. Drusch M., Del Bello U., Carlier S. et al. (2012), Sentinel-2: ESA's Optical High-Resolution Mission for GMES Operational Services, *Remote Sensing of Environment*, Vol. 120, pp. 25-36.

12. Du Y., Zhang Y., Ling F., Wang Q., Li W., Li X. (2016), Water bodies' mapping from Sentinel-2 imagery with modified normalized difference water index, *Remote Sensing*, Vol. 8, No. 4, pp. 354.

13. Feyisa G.L., Meilby H., Fensholt R., Proud S.R. (2014), Automated Water Extraction Index: A new technique for surface water mapping, *Remote Sensing of Environment*, Vol. 140, pp. 23-35.

14. Ji L., Zhang L., Wylie B. (2009), Analysis of dynamic thresholds for the normalized difference water index, *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*, Vol. 75, No. 11, pp. 1307-1317.

15. Kwong I.H.Y., Wong F.K.K., Fung T. (2022), Automatic Mapping and Monitoring of Marine Water Quality Parameters Using Sentinel-2 Image Time-Series and Google Earth Engine Cloud Computing, *Frontiers in Marine Science*, Vol. 9, Article 871470.

16. Lehner B., Döll P. (2004), Development and validation of a global database of lakes, reservoirs and wetlands, *Journal of Hydrology*, Vol. 296, No. 1-4, pp. 1-22.

17. 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, No. 7, pp. 1425-1432.

18. Micklin P. (2007), The Aral Sea disaster, *Annual Review of Earth and Planetary Sciences*, Vol. 35, pp. 47-72.

19. Mohseni F., Ticehurst C., Phinn S. (2023), Wetland Mapping in Great Lakes Using Sentinel-1/2 Time-Series Data on the Google Earth Engine Platform, *Remote Sensing*, Vol. 15, No. 9, pp. 1–24.

20. Monitoring of Changes in the Water Surface and Wetland Area of the Aral Sea and the Aral Region (2025), *SIC ICWC Information System on Water and Land Resources in the Aral Sea Basin*. Available at: https://www.cawater-info.net/aral/data/monitoring_amu_e.htm (accessed: 04.06.2026).

21. Pekel J.-F., Cottam A., Gorelick N., Belward A.S. (2016), High-resolution mapping of global surface water and its long-term changes, *Nature*, Vol. 540, pp. 418-422.

22. Xu H. (2006), Modification of Normalised Difference Water Index (NDWI) to enhance open water features in remotely sensed imagery, *International Journal of Remote Sensing*, Vol. 27, No. 14, pp. 3025-3033.

23. Zhou T., Zhang Y., Li X. (2025), A Novel Framework for Accurate, Automated and Dynamic Lake Mapping Using Optical Satellite Imagery, *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, Vol. 221, pp. 102–118.

References:

1. Alibekov L.A., Fedorko V.N. (2020), Aral ecological crisis: prerequisites, consequences, prospects, *The Annales of the Geographical Society of Uzbekistan*, Vol. 57, pp. 29-37. (In Russ.).

2. Bortnik V.N., Chub V.E. (2018), Modern hydrological problems of the Aral Sea region, *Bulletin of the National University of Uzbekistan. Series of Geographical Sciences*, No. 3, pp. 41-48. (In Russ.).

3. Geldiyeva G.V. (2019), Changes in the hydrological regime of water bodies in the arid zone of Central Asia, Problems of Desert Development, No. 2, pp. 15-23. (In Russ.).

4. Dukhovny V.A., Sokolov V.I. (2003), *Integrated Water Resources Management in the Aral Sea Basin*, Tashkent, 210 p. (In Russ.).

5. Kayumov A.A., Tursunov E.T. (2021), Monitoring of water bodies in the Aral Sea region using satellite data, *Geodesy and Cartography*, No. 5, pp. 32-39. (In Russ.).

6. Nikolaenko M.A., Romanov A.A. (2022), Application of Sentinel-2 data for monitoring lake systems in arid territories, *Current Problems in Remote Sensing of the Earth from Space*, Vol. 19, No. 4, pp. 118-129. (In Russ.).

7. Saidov A.Kh., Yuldashev I.Kh. (2017), Influence of climatic factors on the dynamics of water resources in the Aral Sea region, *Meteorology and Hydrology*, No. 9, pp. 77–84. (In Russ.).

8. Fedorko V.N. (2016), *Territorial Natural-Economic Systems of the Mouths of Large Rivers of the World*, Rostov-on-Don, 112 p. (In Russ.).

9. Chub V.E. (2007), *Climate Change and Its Influence on Hydrological Processes in Uzbekistan*, Tashkent, 133 p. (In Russ.).

10. Ayalke Z.G., Şişman A. (2024), Mapping Wetlands Using Sentinel-2 Satellite Imagery and Auxiliary Data with Google Earth Engine, *Advanced Engineering Days*, Vol. 9, pp. 975–978.

11. Drusch M., Del Bello U., Carlier S. et al. (2012), Sentinel-2: ESA's Optical High-Resolution Mission for GMES Operational Services, *Remote Sensing of Environment*, Vol. 120, pp. 25-36.

12. Du Y., Zhang Y., Ling F., Wang Q., Li W., Li X. (2016), Water bodies' mapping from Sentinel-2 imagery with modified normalized difference water index, *Remote Sensing*, Vol. 8, No. 4, pp. 354.

13. Feyisa G.L., Meilby H., Fensholt R., Proud S.R. (2014), Automated Water Extraction Index: A new technique for surface water mapping, *Remote Sensing of Environment*, Vol. 140, pp. 23-35.

14. Ji L., Zhang L., Wylie B. (2009), Analysis of dynamic thresholds for the normalized difference water index, *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*, Vol. 75, No. 11, pp. 1307-1317.

15. Kwong I.H.Y., Wong F.K.K., Fung T. (2022), Automatic Mapping and Monitoring of Marine Water Quality Parameters Using Sentinel-2 Image Time-Series and Google Earth Engine Cloud Computing, *Frontiers in Marine Science*, Vol. 9, Article 871470.

16. Lehner B., Döll P. (2004), Development and validation of a global database of lakes, reservoirs and wetlands, *Journal of Hydrology*, Vol. 296, No. 1-4, pp. 1-22.

17. 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, No. 7, pp. 1425-1432.

18. Micklin P. (2007), The Aral Sea disaster, *Annual Review of Earth and Planetary Sciences*, Vol. 35, pp. 47-72.

19. Mohseni F., Ticehurst C., Phinn S. (2023), Wetland Mapping in Great Lakes Using Sentinel-1/2 Time-Series Data on the Google Earth Engine Platform, *Remote Sensing*, Vol. 15, No. 9, pp. 1–24.

20. Monitoring of Changes in the Water Surface and Wetland Area of the Aral Sea and the Aral Region (2025), *SIC ICWC Information System on Water and Land Resources in the Aral Sea Basin*. Available at: https://www.cawater-info.net/aral/data/monitoring_amu_e.htm (accessed: 04.06.2026).

21. Pekel J.-F., Cottam A., Gorelick N., Belward A.S. (2016), High-resolution mapping of global surface water and its long-term changes, *Nature*, Vol. 540, pp. 418-422.

22. Xu H. (2006), Modification of Normalised Difference Water Index (NDWI) to enhance open water features in remotely sensed imagery, *International Journal of Remote Sensing*, Vol. 27, No. 14, pp. 3025-3033.

23. Zhou T., Zhang Y., Li X. (2025), A Novel Framework for Accurate, Automated and Dynamic Lake Mapping Using Optical Satellite Imagery, *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, Vol. 221, pp. 102–118.

Сведения об авторах:

Мягков Сергей Сергеевич – Научно-исследовательский гидрометеорологический институт (Ташкент, Узбекистан), доктор философии (PhD) по географическим наукам, старший научный сотрудник. E-mail: s.s.myagkov@gmail.com

Дергачева Ирина Викторовна – Научно-исследовательский гидрометеорологический институт (Ташкент, Узбекистан), доктор географических наук (DSc). E-mail: dergacheva_iv@mail.ru

Information about authors:

Sergey Myagkov – Hydrometeorological Research Institute (Tashkent, Uzbekistan), PhD in Geographical Sciences, Senior Researcher. E-mail: s.s.myagkov@gmail.com

Irina Dergacheva – Hydrometeorological Research Institute (Tashkent, Uzbekistan), Doctor in Geographical Sciences (DSc). E-mail: dergacheva_iv@mail.ru

Для цитирования:

Мягков С.С., Дергачева И.В. Сезонная динамика площади водной поверхности озера Дауткуль в Приаралье по данным Sentinel-2 // Центральноазиатский журнал географических исследований. 2026. № 1-2. С. 130-142.

For citation:

Myagkov S.S., Dergacheva I.V. (2026), Seasonal dynamics of the water surface area of Dautkul lake in the Aral Sea region based on Sentinel-2 data, *Central Asian Journal of Geographical Sciences*, No. 1-2, pp. 130-142. (In Russ.).

КАРТОГРАФИЯ И ГЕОИНФОРМАТИКА

CARTOGRAPHY AND GEOINFORMATICS

УДК 550.8 https://doi.org/10.5281/zenodo.20786556

Яротов А.Е.[1, 2], Вихарев Н.Г.[3], Куприянюк К.В.[4], Лукашёв О.В.[3], Пейхвассер В.Н.[3]

[1]Национальный научно-исследовательский центр мониторинга озоносферы БГУ, Минск, Беларусь
[2]ОО «Белорусское географическое общество», Минск, Беларусь
[3]Белорусский государственный университет, Минск, Беларусь
[4]ООО «Геоэкопроект», Минск, Беларусь

ОПЫТ ПРИМЕНЕНИЯ ТЕХНОЛОГИИ ГЕОРАДАРНОГО ЗОНДИРОВАНИЯ В ИССЛЕДОВАНИИ ОБЪЕКТОВ ИСТОРИКО-КУЛЬТУРНОГО НАСЛЕДИЯ В РЕСПУБЛИКЕ БЕЛАРУСЬ

Аннотация. *В статье рассматривается опыт внедрения технологии георадарного зондирования в практику исследований объектов историко-культурного наследия на примере изысканий на территории не сохранившихся до наших дней доминиканского монастыря и костёла святого Казимира XVII века в городе Столбцы с целью выявления их погребённых остатков, а также изысканий на территории руин Кревского замка с целью выявления ранее неизвестных остатков сооружений на его территории. Результатом данных работ стало обнаружение останков Фабиана Малишевского (значимой для Беларуси духовной фигуры) в Столбцах и открытие фундаментов ранее неизвестных сооружений в Кревском замке. Кратко приведена методика применения данной технологии. Рассмотрены полученные в результате изысканий результаты, сделаны выводы об эффективности, преимуществах и недостатках применения технологии георадарного зондирования в данном направлении. Сделаны выводы о перспективах дальнейшего применения и совершенствования данной технологии.*

Ключевые слова: *георадиолокационное зондирование, георадар, геофизические исследования, интерпретация результатов зондирования, объекты историко-культурного наследия, археология, археологическая геофизика, неинвазивные методы.*

Yarotau A.[1,2], Vikharau M.[3], Kupryianiuk K.[4], Lukashov O.[3], Peykhvasser V.[3]

[1] National Ozone Monitoring Research Center Belarus State University, Minsk, Belarus
[2] Public Association Belarusian Geographical Society, Minsk, Belarus
[2] Belarusian state university, Minsk, Belarus
[3] LLC “Geoekoprojekt”, Minsk, Belarus

EXPERIENCE OF APPLYING GROUND PENETRATING RADAR IN THE RESEARCH OF HISTORICAL AND CULTURAL HERITAGE SITES IN THE REPUBLIC OF BELARUS

Abstract. *The article discusses the experience of implementing ground penetrating radar in the practice of research of historical and cultural heritage sites on the example of surveys on the territory of the Dominican monastery and the 17th-century Church of St. Casimir, which have not survived to this day, in the town of Stolbtsy, in order to identify its buried underground remains, as well as surveys on the territory of the ruins of the Krevsky Castle, in order to identify previously unknown remains of structures on its territory. The result of these works was the discovery of the remains of Fabian Malishevsky (a significant spiritual figure for Belarus) in Stolbtsy and the discovery of the foundations*

of previously unknown structures in Krevsky Castle. The article briefly describes the methodology for using this technology. The results of the research are reviewed, and conclusions are drawn about the effectiveness, advantages, and disadvantages of using ground penetrating radar for such purposes. Conclusions are drawn about the prospects for further application and improvement of this technology.
Key words: *ground penetrating radar, geophysical research, interpretation of surveying results, historical and cultural heritage sites, archaeology, archaeological geophysics non-invasive methods*.

Введение и постановка проблемы. В настоящее время не существует такого геофизического метода исследований, который позволил бы гарантированно при любых условиях получать исчерпывающие данные о строении приповерхностной части геологической среды, что требуется не только при проведении инженерных изысканий, но и в других отраслях науки, в том числе, в археологии.

Однако зачастую непосредственное детальное исследование посредством сплошных раскопов или бурения скважин является дорогим или же вовсе невозможным по тем или иным причинам (плотная городская застройка и т.п.). Также необходимо понимать, что такого рода исследования в любом случае нарушают сохранность изучаемого объекта. Геофизические же исследования являются неинвазивными, то есть как правило не влияют на сохранность археологических объектов. Их использование позволяет получить часть информации без непосредственного вмешательства в среду, а даже в случае необходимости такового позволяет значительно его оптимизировать путём выделения наиболее перспективных участков. В связи с этим крайне востребованным является развитие комплекса взаимодополняющих методов геофизического изучения грунтов, одним из которых является георадиолокация.

Георадиолокация — геофизический метод, использующий электромагнитное поле для определения неоднородностей в диэлектрической проницаемости геологической среды с целью выделения объектов и структур [10].

Радиолокация в грунте имеет значительные отличия от зондирования в воздушной среде, вызванные большой разницей в геофизических характеристиках данных сред [13]. Поэтому георадиолокация давно обособилась в отдельную область радиофизики [6]. Стремительное совершенствование вычислительной техники дало существенный импульс развитию георадиолокации, т.к. современные компьютеры позволяют намного быстрее и качественнее обрабатывать получаемые результаты, а также используются для их мгновенной визуализации.

Указанный метод уже успел найти широкое применение в инженерной геологии и экологическом мониторинге, что обусловлено его неоспоримыми преимуществами, такими как высокая скорость проведения работ, их дешевизна и простота, высокая мобильность, компактность, а также неинвазивный характер исследований. Однако есть у данного метода и серьёзные недостатки, основными из которых являются не самый широкий диапазон применения (георадары малоэффективны при работе на влажных глинистых грунтах или при наличии помех), а также сложная, неоднозначная интерпретация полученных результатов, требующая от специалиста глубоких теоретических знаний и большого практического опыта работы [1].

Несмотря на всё вышесказанное, георадиолокация на сегодняшний день в изучении объектов историко-культурного наследия в Республике Беларуси используется всё ещё довольно ограниченно. Дальнейшее внедрение и совершенствование данного метода является проблемой, поставленной в этой работе.

Изученность проблемы. Принципиальная возможность применения радиофизических методов в геологических исследованиях была известна ещё в начале прошлого века, однако ввиду недостаточного развития промышленности и технологий и, главное, отсутствия достаточных вычислительных мощностей, технология георадиолокации не имела широкого распространения и почти не развивалась вплоть до

конца 1960-х годов, когда одновременно, и в Советском Союзе, и в западных странах началось параллельное развитие данного метода в связи с его внедрением в исследования Арктики и Антарктики (данный метод позволил быстро и дешево определять мощность ледяного покрова) [14]. Одним из основоположников развития данного метода в Советском Союзе стал профессор М.И. Финкельштейн [5].

Какое-то время данная технология не могла получить массового распространения ввиду отсутствия достаточно мощных вычислительных устройств для обработки получаемых данных. Однако уже в 1980-е годы стали появляться первые серийные модели [5], а в 1990-е произошла настоящая революция, связанная с появлением намного более доступных компьютеров [11]. С тех пор область применения георадаров значительно расширилась. На сегодняшний день технология сохраняет свою популярность и продолжает совершенствоваться.

Если говорить о применении георадара в археологических исследованиях, то одной из первых попыток его внедрения были исследования американских исследователей Викерса и Долфина в каньоне Чако, Нью-Мексико, США [12]. Первые попытки сопровождались определёнными сложностями, однако тем не менее дали результаты и тем самым показали принципиальную возможность применения георадиолокации в археологии и необходимость её дальнейшего совершенствования. На сегодняшний день это дало результаты и георадарная съёмка активно используется во всём мире [15, 17].

На территории стран СНГ, однако, данный метод по-прежнему крайне ограниченно применяется в изучении объектов историко-культурного наследия. Одним из примеров его эффективного применения в данном регионе стали исследования, проведённые специалистами Российской Академии наук на территории крепости Узундара – археологического памятника в Узбекистане [2]. Для Республики Беларусь одна из первых попыток внедрения данного инновационного метода в практику изучения историко-культурного наследия изложена в статье [1].

Объект исследования – практика исследования объектов историко-культурного наследия.

Предмет исследования – технология георадарного зондирования: методика, эффективность, преимущества и недостатки, перспективы дальнейшего применения.

Цель и задачи работы. Основной целью данной работы является способствование дальнейшему внедрению технологии георадарного зондирования в практику изучения объектов историко-культурного наследия.

Для её достижения были поставлены следующие задачи: рассмотреть опыт применения георадара на примере его передового использования в изысканиях, проведённых в последние годы в Республике Беларусь; сделать выводы об эффективности и дальнейших перспективах применения метода.

Материалы и методы. Методика использования георадара основывается на явлении отражения электромагнитных волн от границ, на которых скачкообразно изменяются электромагнитные свойства материи. Излучаемые георадаром электромагнитные импульсы, распространяясь в обследуемой среде, отражаются от находящихся там объектов, границ слоев грунта, принимаются антенной, усиливаются, преобразуются в цифровой вид, обрабатываются компьютером, где далее информация об обнаруженном объекте визуализируется на мониторе. Протяжённые объекты или границу между разными по свойствам слоями оператор видит как выделяющуюся линию на радарограмме (рис. 1), точечный же объект, ввиду особенностей распространения радиоволн, будет представлен перевёрнутой параболой на профиле (рис. 2).

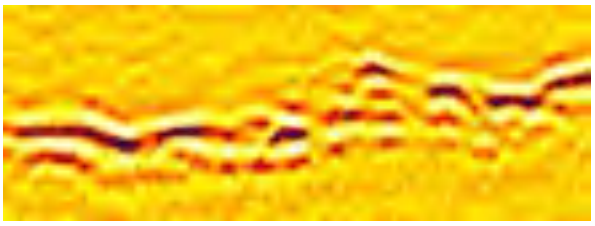


Рис. 1. Граница раздела сред с различной диэлектрической проницаемостью



Рис. 2. Пример точечного отражающего объекта на радарограмме

Процесс проведения изысканий можно разделить на три этапа. Первый этап – подготовительный, заключается в изучении имеющейся архивной информации по объекту, визуальной рекогносцировке с целью выяснения особенностей территории, подготовке площадки к проведению зондирования и выносе в натуру линий профилей. Второй этап – непосредственно зондирование. Уже на данном этапе исследователь видит предварительные результаты на мониторе и, исходя из них, возможно внесение корректировок в схему проведения съёмки. Финальный этап – камеральная обработка полученных результатов – заключается в анализе полученных данных, составлении итоговой схемы и отчёта о результатах проделанной работы.

Работы, о которых далее пойдёт речь, были выполнены георадаром USRadar Q5 Series GPR System [16] с частотой антенны 500 МГц. Частота антенны и особенности исследуемой среды обусловили эффективную глубину зондирования до 3 м в обоих случаях, которой хватило для обнаружения искомых объектов. Однако при более благоприятной геофизической обстановке и детальной калибровке антенны глубину исследования можно увеличить до 5 м. Разрешающая способность антенны зависит от длины волны, и для данной антенны составляет около 0,15 м.

Результаты и их обсуждение. Начнём рассмотрение результатов с изысканий на территории бывшего доминиканского монастыря и костёла святого Казимира в городе Столбцы Минской области в октябре 2021 г.

На первом этапе было выявлено, что площадка исследований представляет собой хорошо фиксируемую в рельефе возвышенность, крутизна склонов которой максимальна на юго-восточной границе, склоны закреплены почвенно-растительным грунтом частично: встречаются обнажения грунта с характерными включениями керамического кирпича. На западной стороне уклон более пологий, спланирован в ходе организации рельефа вдоль улицы, уклон имеет сплошной почвенно-растительный покров.

На момент проведения изысканий площадку занимает футбольное поле с размерами 48 на 27 метров (внутренние размеры), окружённое асфальтной беговой дорожкой.

Согласно имеющейся исторической информации (фотографии), высота имеющейся возвышенности была несущественно ниже существующей отметки (от 0,3 до 0,5 м) до сноса костела в 1950-ых годах (рис. 3).

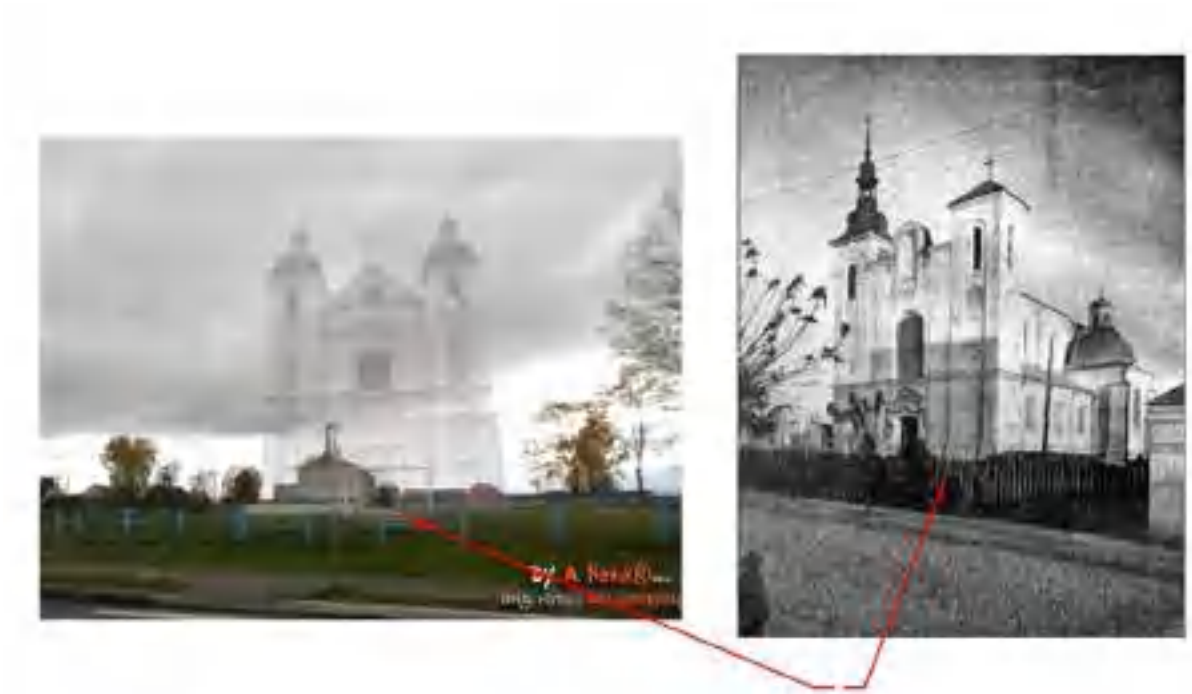


Рис. 3. Сравнение современной (слева) и сделанной в 1930-х годах (справа) фотографий [8]

В ходе рекогносцировки на поверхности земли не было обнаружено элементов фундамента. В результате георадарных обследований было выполнено 33 поперечных профиля (рис. 4-5). Учитывая предположение, что текущая отметка рельефа выше ранее существующей, обработка сигналов, учет их интенсивности велся с глубины 0,5 м.



Рис. 4. Схема проведения работ с нанесёнными на неё неоднородностями, зафиксированными на профилях [8]

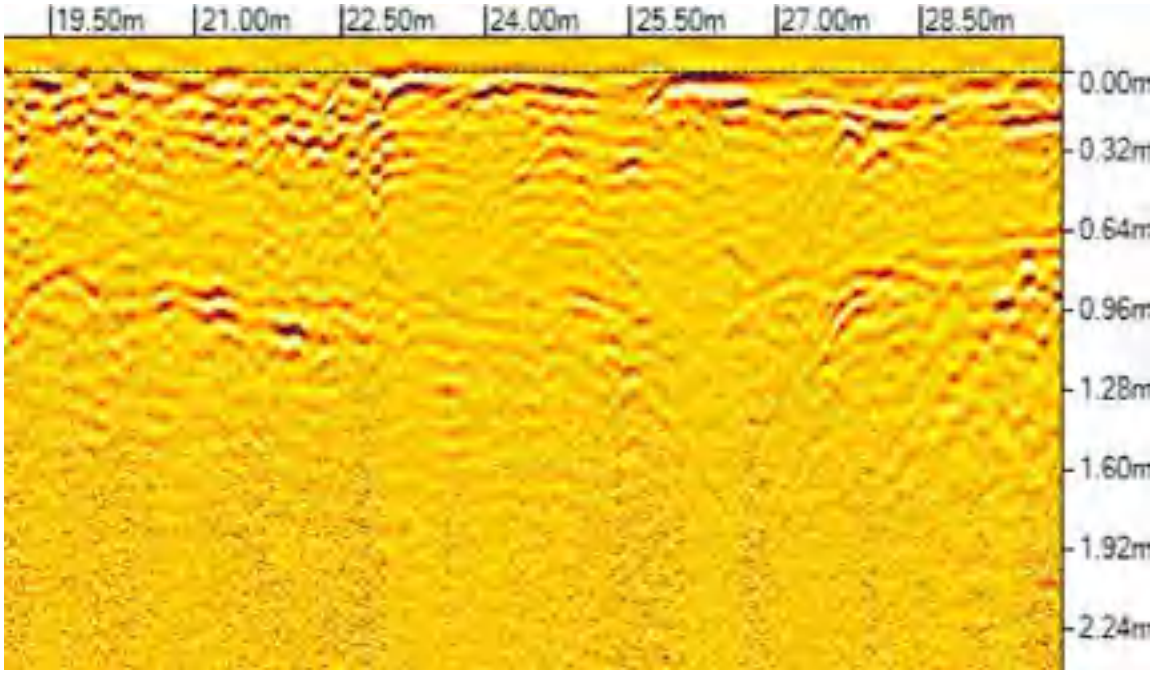


Рис. 5. Фрагмент профиля 15 с зафиксированными на нём неоднородностями [8]

По итогу камеральной обработки была составлена схема (рис. 4), вынос неоднородностей на которую не позволил обнаружить целостный монолитный фундамент. Этот факт привел авторов к выводу о том, что скорее всего до нашего времени сохранились лишь фрагменты фундамента. В целом же по месту наибольшей концентрации неоднородностей был выделен участок, наиболее перспективный для проведения последующих работ.

В результате проведённых далее раскопок, во многом основанных на данных, полученных в результате георадарной съёмки, было совершено открытие – обнаружены останки, которые по результату междисциплинарной экспертизы принадлежат Фабиану Малишевскому – первому доминиканскому приору в Столбцах, основателю костёла святого Казимира [4, 7]. Фигура Малишевского занимает центральное место в региональном духовном контексте благодаря многовековой традиции почитания, сформировавшейся еще в XVII веке.

Обнаружение останков осенью 2021 года и их последующая верификация стали результатом интеграции архивных данных с методами современной междисциплинарной экспертизы. Уникальность данного события заключается в научно обоснованном подтверждении подлинности мощей: судебно-экспертные исследования Следственного комитета позволили провести графическую реконструкцию прижизненного облика, подтвердить генотип и соотнести результаты радиоуглеродного анализа с хронологией жизни Малишевского. Возвращение исторического участка земли католическому приходу и торжественное перезахоронение останков в декабре 2022 года в новом храме святого Казимира символизируют восстановление культурной преемственности и выступают примером конструктивного взаимодействия между государственными институтами и религиозными организациями в вопросах сохранения национального исторического наследия.

Таким образом, георадарное обследование упростило археологические раскопки, сузив область поиска, и по итогу привело к значимому для социокультурного ландшафта Беларуси событию.

В Кревском замке (агрогородок Крево, Сморгонский район Гродненской области) были проведены два этапа геофизических исследований: в 2022 и 2025 годах. В первом случае изучению подлежал значительно меньший участок, расположенный в восточном

углу укрепления (рис. 6). Работы проводились в рамках комплекса археологических и консервационных работ. В результате георадарной съёмки было выполнено 9 профилей, на которых отчётливо просматривался вытянутый объект (рис. 7), составленный из близкорасположенных точечных неоднородностей, который был интерпретирован как сложенная из валунов стена.

В следующий сезон на обследованном участке с учётом полученной информации был заложен раскоп, который подтвердил правильность проведённой ранее интерпретации – были вскрыты участки стен ранее неизвестных сооружений, предварительно датированных XIV-XV веками [3].

Таким образом, георадарное зондирование позволило выявить ранее неизвестный археологический объект и тем самым обосновать проведение археологических раскопок, открывших остатки ранее неизвестных сооружений, что значительно корректирует современные представления об архитектурной истории объекта.

Второй этап изысканий, проведённый в 2025 году, покрывал прилегающую к юго-западной стене территорию и был значительно большим по площади (рис. 8). Задачей изысканий стал поиск остатков галереи, которая по предположению археологов могла протянуться с внутренней стороны вдоль внешней стены замка.

При проведении второго этапа в дополнение к георадару USRadar был привлечён георадар «ОКО-3» [9] с антенной частотой 100 МГц, что обусловило большую глубину зондирования, однако с меньшей разрешающей способностью.



Рис. 6. Схема проведения работ на первом этапе изысканий в Кревском замке [3]

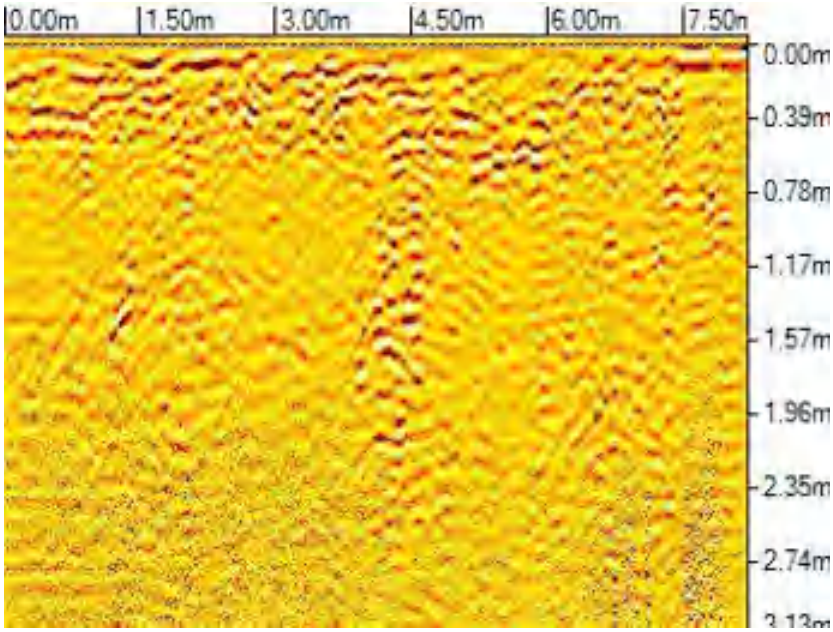


Рис. 7. Профиль 2 с расположенными по центру остатками стены (вертикально вытянутое скопление аномалий) [3]

К сожалению, второй этап изысканий сопровождался значительными трудностями: участок изысканий не был в достаточной степени спланирован, а неблагоприятные погодные условия обусловили высокую влажность грунта, что серьёзно уменьшило глубину эффективного зондирования. По этим причинам изыскания привели лишь к выявлению ряда неоднородностей, из которых однозначно удалось интерпретировать лишь железобетонные конструкции времён первой мировой войны в северной части профиля 1-2, т.к. их приблизительное местоположение было известно ранее. Остальные же неоднородности ясной для понимания картины не дают, однако являются хорошим обоснованием для проведения дальнейших археологических работ на данном участке.

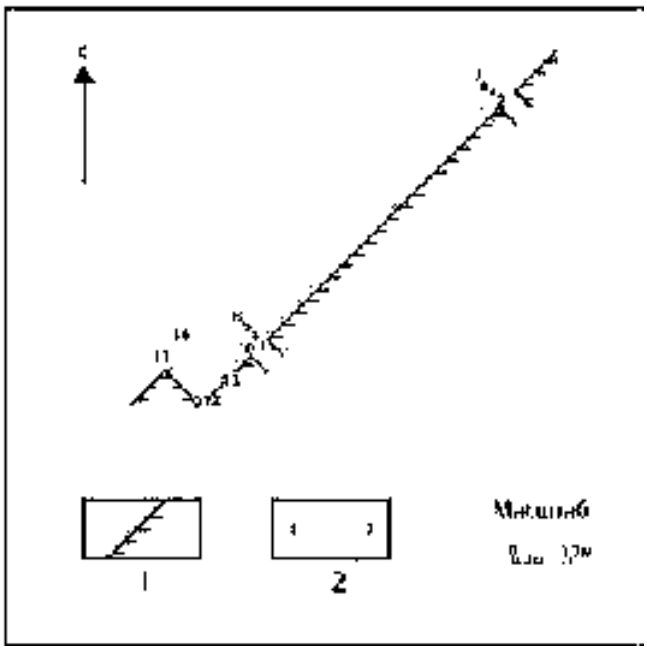


Рис. 8. Схема проведения работ на втором этапе изысканий в Кревском замке: 1 – контуры стен, 2 – георадарные профили

Выводы. Практический опыт применения георадарного зондирования на объектах историко-культурного наследия Беларуси подтвердил научную ценность метода как инструмента прецизионной локализации скрытых структур. В ходе изысканий на территории бывшего доминиканского монастыря в городе Столбцы именно использование георадара обеспечило переход от гипотетического поиска к точному позиционированию аномалий, что стало определяющим фактором в обнаружении останков Фабиана Малишевского — события исключительной значимости для духовного и культурного контекста страны.

Аналогичные результаты были достигнуты в Кревском замке, где неинвазивная идентификация линейных неоднородностей позволила с высокой точностью вскрыть фундаменты ранее неизвестных сооружений, предварительно датированных XIV–XV веками, тем самым внеся фундаментальные коррективы в научные представления об архитектурной эволюции этого фортификационного объекта. Главное преимущество георадарной съемки в данных исследованиях выразилось в радикальной оптимизации археологического процесса: замена масштабных сплошных раскопов точечным, научно обоснованным вмешательством позволила совершить крупные открытия при максимальном сохранении целостности культурного слоя. Таким образом, интеграция метода в комплекс изысканий обеспечила высокую достоверность предварительной интерпретации объектов и доказала свою эффективность как базовой технологии для верификации исторических данных и планирования дальнейших консервационных работ.

Существуют, однако, по-прежнему и некоторые сложности в применении георадарной съемки, иногда сказывающиеся на качестве получаемых результатов. Так, эффективность зондирования оказалась неудовлетворительной в увлажнённых пылевато-глинистых и водонасыщенных песчаных грунтах. Применение георадиолокационного зондирования при таких условиях с использованием диапазона частот 100-500 МГц, следовательно, не рекомендуется. Однако это не отрицает целесообразность его дальнейшего применения, которое в том числе приведёт и к дальнейшему совершенствованию методики.

Использованная литература:

1. Вихарев Н.Г. Новый метод изучения исторических памятников Беларуси // География. 2025. 2 (195). С. 17-22.

2. Двуреченская Н.Д., Двуреченский О.В., Морозов П.А., Гладченков А.А. Георадарные исследования крепости Узундара // Древние памятники, культура и прогресс. Москва: ИА РАН, 2020. С. 62-93.

3. Дзярновіч А.І., Віхараў М.Г., Купрыянюк К.В., Яротаў А.Я. Эксперыментальнае выкарыстанне метада геарадыёлакацыі ў даследваннях Крэускага замка // Наука и инновации. 2024. N 8 (258). С. 72-78.

4. Захаров А.В. В Столбцах перезахоронили останки Фабиана Малишевского, к которым еще в XVIII веке приходили за чудесами // СБ. Беларусь сегодня. 9 дек. 2022. [Электронный ресурс]. — Режим доступа: https://www.sb.by/articles/v-stolbtsakh-perezakhoronili-ostanki-fabiana-mileshevskogo-k-kotorym-eshche-v-xviii-veke-prikhodili-.html. — Дата доступа: 15.04.2026.

5. Ивашов С.И. История исследований, разработки и использования подповерхностных радиолокаторов в СССР и России с 60-х годов по настоящее время. // Материалы XV научно-технической конференции «Радиолокационные системы малой и сверхмалой дальности». Москва, 1 марта 2024 г. С. 248-256.

6. Изюмов С.В. Теория и методы георадиолокации. Москва: Издательство Московского государственного горного университета, 2008. 196 с.

7. Наркевич Г. Лис: для идентификации останков Фабиана Малишевского потребовались уникальные экспертизы // Информационное агентство «Минская правда». 9 дек 2022. [Электронный ресурс]. — Режим доступа: http://mlyn.by/09122022/lis-dlya-identifikaczii-ostankov-fabiana-malishevskogo-potrebovalis-unikalnye-ekspertizy/. — Дата доступа: 15.04.2026.

8. Пояснительная записка по георадарному обследованию на территории спортивного стадиона среднеобразовательной средней школы № 2, по адресу: г. Столбцы, ул. Мицкевича 6. Минск: Общественное Объединение «Белорусское Географическое Общество». 2021. 9с.

9. Радиотехнический прибор подповерхностного зондирования (георадар) «ОКО-3»: техническое описание, инструкция по эксплуатации. Раменское: ООО «Логистические Системы». 2021. 42 с.

10. Annan A.P. (2003), *Ground Penetrating Radar: Principles, Procedures and Applications*, Mississauga, 2003. 278 p.

11. Balabin R.V., Volkomirskaya L.B., Gulevich O.A. et al. (2015), Georadar sensing from terrestrial surface and shafts: Approaches to evaluation of rock fracturing, *Physics of Wave Phenomena*, Vol. 23, pp. 143–153.

12. Gidusko K. (2014), *Ground Penetrating Radar: Overview and Applications in Archaeology and Forensic Science with a Focus on Florida*, Orlando, 43 p.

13. Jol H.M. (2009), *Ground Penetrating Radar: Theory and Applications*, New York, 544 p.

14. Metelkin V.N., Finkelstein M.I. (1991), Digital Processing by Sea Ice Thickness Measuring. *Proceedings of the IGARSS'91 Remote Sensing: Global Monitoring for Earth Management*, Espoo, FI, June 3-6, pp. 2481-2482.

15. Sato M. et al. (2024), GPR and ERT Exploration in the Western Cemetery in Giza, Egypt, *Archeological Prospection,* No. 31, pp. 187-198.

16. *USRADAR Q5C: Hardware guide* (2015), Morganville, 7 p.

17. Utsi E.C., Colls K.S. (2017), The GPR investigation of the Shakespeare family graves, *Archeological Prospection,* No. 24, pp. 335-352.

References:

1. Vikharau M. (2025), A new method for studying historical monuments in Belarus, *Geography*, No. 2 (195), pp. 17-22. (in Russ.).

2. Dvurechenskaya N.D., Dvurechensky O.V., Morozov P.A., Gladchenkov A.A. (2020), Ground-penetrating radar studies of Uzundara fortress, *Ancient monuments, culture and progress*, Moscow, pp. 62-93. (in Russ.).

3. Dzyarnovich A.I., Vikharau M., Kupriyanuk K.V., Yaratov A.Ya. (2024), Experimental use of ground-penetrating radar method in the studies of Kreusa Castle, *Science and Innovations*, No. 8 (258), pp. 72-78. (in Belarus.).

4. Zakharov A.V. (2022), In Stolbtsy, the remains of Fabian Malishevsky were reburied, to which people came for miracles back in the 18th century, *SB. Belarus Today*, December 9, [Electronic resource]. — Access mode: https://www.sb.by/articles/v-stolbtsakh-perezakhoronili-ostanki-fabiana-mileshevskogo-k-kotorym-eshche-v-xviii-veke-prikhodili-.html. — Access date: April 15, 2026. (in Russ.).

5. Ivashov S.I. (2024), History of research, development and use of subsurface radars in the USSR and Russia from the 60s to the present time, *Procedings of the XV scientific and technical conference "Short and ultra-short range radar systems"*, Moscow, March 1, pp. 248-256. (in Russ.).

6. Izyumov S.V. (2008), *Theory and methods of ground-penetrating radar*, Moscow, 196 p. (in Russ.).

7. Narkevich G. (2022), Lis: unique expertise were required to identify the remains of Fabian Malishevsky, *Information Agency "Minskaya Pravda"*. December 9. [Electronic resource]. — Access mode: http://mlyn.by/09122022/lis-dlya-identifikaczii-ostankov-fabiana-malishevskogo-potrebovalis-unikalnye-ekspertizy/. — Access date: April 15, 2026. (in Russ.).

8. *Explanatory note on GPR survey on the territory of the sports stadium of secondary school* (2022), No. 2, located at Stolbtsy, Mitskevich Street 6, Minsk, 9 p. (in Russ.).

9. *Radio engineering device for subsurface sounding (ground-penetrating radar) "OKO-3": technical description, operation manual* (2021), Ramenskoe, 42 p. (in Russ.).

10. Annan A.P. (2003), *Ground Penetrating Radar: Principles, Procedures and Applications*, Mississauga, 2003. 278 p.

11. Balabin R.V., Volkomirskaya L.B., Gulevich O.A. et al. (2015), Georadar sensing from terrestrial surface and shafts: Approaches to evaluation of rock fracturing, *Physics of Wave Phenomena*, Vol. 23, pp. 143–153.

12. Gidusko K. (2014), *Ground Penetrating Radar: Overview and Applications in Archaeology and Forensic Science with a Focus on Florida*, Orlando, 43 p.

13. Jol H.M. (2009), *Ground Penetrating Radar: Theory and Applications*, New York, 544 p.

14. Metelkin V.N., Finkelstein M.I. (1991), Digital Processing by Sea Ice Thickness Measuring. *Proceedings of the IGARSS'91 Remote Sensing: Global Monitoring for Earth Management*, Espoo, FI, June 3-6, pp. 2481-2482.

15. Sato M. et al. (2024), GPR and ERT Exploration in the Western Cemetery in Giza, Egypt, *Archeological Prospection,* No. 31, pp. 187-198.

16. *USRADAR Q5C: Hardware guide* (2015), Morganville, 7 p.

17. Utsi E.C., Colls K.S. (2017), The GPR investigation of the Shakespeare family graves, *Archeological Prospection,* No. 24, pp. 335-352.

Сведения об авторах:

Яротов Алексей Евгеньевич – Национальный научно-исследовательский центр мониторинга озоносферы Белорусского государственного университета (Минск, Беларусь), ОО «Белорусское географическое общество» (Минск, Беларусь), кандидат географических наук, доцент. E-mail: yarotau@gmail.com

Вихарев Никита Геннадьевич – Белорусский государственный университет (Минск, Беларусь), студент. E-mail: vikharau.mikita@gmail.com

Куприянюк Константин Витальевич – ООО «Геоэкопроект» (Минск, Беларусь), инженер-геолог, специалист по георадарным системам, E-mail: 7246348@gmail.com

Лукашёв Олег Валентинович – Белорусский государственный университет (Минск, Беларусь), кандидат географических наук, доцент. E-mail: 240660@mail.ru

Пейхвассер Вячеслав Николаевич – Белорусский государственный университет (Минск, Беларусь), старший преподаватель. E-mail: pvasser@bsu.by

Information about authors:

Alexei Yarotau – National Ozone Monitoring Research Center of Belarus State University (Minsk, Belarus), the Public Association «Belarusian Geographical Society» (Minsk, Belarus), PhD in Geography, Associate Professor. E-mail: yarotau@gmail.com

Mikita Vikharau – Belarusian State University (Minsk, Belarus), student. E-mail: vikharau.mikita@gmail.com

Konstantin Kupryianiuk – Limited Liability Company «Geoekoprojekt» (Minsk, Belarus), geologist, GPR Systems Specialist. E-mail: 7246348@gmail.com

Oleg Lukashov – Belarusian State University (Minsk, Belarus), PhD, Associate Professor. E-mail: 240660@mail.ru

Vyacheslav Peykhvasser – Belarusian State University (Minsk, Belarus), Senior Lecturer. E-mail: pvasser@bsu.by

Для цитирования:

Яротов А.Е., Вихарев Н.Г., Куприянюк К.В., Лукашёв О.В., Пейхвассер В.Н. Опыт применения технологии георадарного зондирования в исследовании объектов историко-культурного наследия в Республике Беларусь // Центральноазиатский журнал географических исследований. 2026. № 1-2. С. 143-153.

For citation:

Yarotau A., Vikharau M., Kupryianiuk K., Lukashov O., Peykhvasser V. (2026), Experience of applying ground penetrating radar in the research of historical and cultural heritage sites in the Republic of Belarus, *Central Asian Journal of Geographical Sciences*, No. 1-2, pp. 143-153. (In Russ.).

УДК 528.2/5 https://doi.org/10.5281/zenodo.20785040

Мирмахмудов Э.Р., Наврузов Р.М.

Национальный университет Узбекистана, Ташкент, Узбекистан

О РЕКОГНОСЦИРОВОЧНЫХ ЭКСПЕДИЦИЯХ ПОЛКОВНИКА П.К. ЗАЛЕССКОГО В ТУРКЕСТАНСКОМ КРАЕ В 1882-1912 ГГ.

Аннотация. *Авторами статьи выполнен библиографический обзор рекогносцировочных работ и астрономических определений военного топографа Корпуса военных топографов в Туркестанском крае Петра Карловича Залесского, произведённых в течение 1882-1912 годов. В хронологическом порядке указаны экспедиционные маршруты по селениям, горным тропам, вдоль рек Сырдарья и Амударья. Изложены количество и точность определенных астрономических широт с помощью малого вертикального круга. Отдельно описывается роль Ташкентской астрономической обсерватории при определении географических координат. Подчёркивается преимущество хронометрического метода определения долгот пунктов. Отмечается высокая оценка Императорским Русским географическим обществом трудов П.К. Залесского, результатами которых стали выдающие топографо-геодезические измерения в Хивинской, Амударьинской и Туркестанской экспедициях.*

Ключевые слова: *П.К. Залесский, КВТ, ТАО, ВТО, хронометрические измерения, широта, долгота.*

Mirmakhmudov E., Navruzov R.

National University of Uzbekistan, Tashkent, Uzbekistan

ON THE RECONNAISSANCE EXPEDITIONS OF COLONEL P.K. ZALESKY IN THE TURKESTAN REGION IN 1882-1912

Abstract. *The authors of this article provide a bibliographic review of the reconnaissance work and astronomical determinations of Pyotr Karlovich Zalessky, a military topographer with the Corps of Military Topographers in the Turkestan region, conducted between 1882 and 1912. The article lists expedition routes through villages, mountain trails, and along the Syr Darya and Amu Darya rivers in chronological order. The number and accuracy of astronomical latitudes determined using a small vertical circle are described. The role of the Tashkent Astronomical Observatory in determining geographic coordinates is separately described. The advantage of the chronometric method for determining longitudes is emphasized. The Imperial Russian Geographical Society highly praises P.K. Zalessky's work, which resulted in outstanding topographic and geodetic measurements during the Khiva, Amu Darya, and Turkestan expeditions.*

Key words: *Zalessky P.K., KMT, TAO, MTD, chronometric measurements, latitude, longitude.*

Введение и постановка проблемы. Известно, что топографическая съемка любого участка зависит от рельефа местности и точности геодезических инструментов. Традиционно теодолиты и нивелиры проходят метрологическую калибровку перед полевыми работами. Это позволяет минимизировать систематическую ошибку при окончательном уравнивании результатов измерений. Что касается труднодоступных районов, то приходится искать оптимальные пути расположения пикетных точек с целью равномерной конфигурации на исследуемой территории. В таких случаях огромную роль играет установка вехи или рейки в местах, где рельеф может быть сложным. В полевых условиях пикеты подбирают опытным путем для того, чтобы конфигурация горизонталей на топографической карте отражала реальную геометрию земной поверхности. Например, рельеф Туркестанского края разнообразен и сложен из-за

физико-географических и геоморфологических характеристик [15]. Если рассматривать Памиро-Алайский тектонический блок [5], то он состоит из горных массивов, где сосредоточены различные формы рельефа, возникшие в результате геофизических и тектонических процессов. Активные тектонические флуктуации и землетрясения, связанные с продолжающимся горообразованием на значительной части территории, обуславливают высокую сейсмичность этого региона [6]. Климатические и гидрологические факторы влияют на развитие и активизацию оползневых процессов в предгорных районах. Соответственно, выполнение рекогносцировочных работ и топографической съемки в таких местах сопровождается большими трудностями.

Несмотря на указанные выше сложные физико-географические процессы, в Туркестанском военном округе (ТВО) были выполнены полевые геодезические работы в пустынных и горных местностях офицерами Корпуса военных топографов (КВТ) [11,14]. Среди участников научных экспедиций были также учителя, врачи, инженеры и агрономы [2]. Но огромную роль внесли военные геодезисты и астрономы [20] Ташкентской астрономической обсерватории (ТАО), которые способствовали созданию опорной астрономо-геодезической сети для картографирования территории [7]. Были выполнены географические, метеорологические, магнитные и другие наблюдения [13,16], в которых принимали участие высококвалифицированные офицеры топографы Д.Д. Гедеонов [4], И.И. Померанцев [17], Г.Е. Родионов, Н.А. Бендерский и др. Среди них особую роль следует отметить полковника П.К Залесского, которому посмертно было присвоено звание генерал-майора Российской империи (рис. 1).



Рис. 1. Пётр Карлович Залесский (1867-1916)

Источник: [23].

Петр Карлович Залесский [1,20] родился 31 января (12 февраля) 1850 года в городе Белостоке Гродненской губернии (ныне Польша) Российской империи. В расположенном близ Белостока имении своего отца, потомственного дворянина, он провел детские годы. В 1871 году, окончив Белостокское реальное училище, 18 (30) мая поступил на военную службу и начал учиться в Санкт-Петербургском Военно-топографическом юнкерском училище. Через два года он окончил училище по первому разряду, получил звание подпоручика Корпуса военных топографов. В 1873 году был направлен в Туркестанский Военно-топографический отдел (ВТО). В 1874 году его назначили ответственным за создание триангуляционных и нивелирных сетей. С 1878 года до конца жизни он был помощником заведующего Ташкентской астрономической обсерваторией. В 1882-1912 годах участвовал в 46 экспедициях, в ходе которых определил координаты 700 астрономических пунктов, ставших опорными при

картографировании края [8]. Им были выполнены определения долгот 29 городов и ускорения силы тяжести в 145 гравиметрических пунктах. За совокупность этих работ Императорским Русским географическим обществом в 1894 году ему была присуждена Золотая медаль имени Ф.П. Литке (рис. 2). Помимо этого, П.К. Залесский был награжден Золотой медалью Бухарского Эмирата за уникальные рекогносцировочные работы труднодоступных районов окрестностей Бухары и прилегающих территорий (рис.3).



Рис. 2. Золотая медаль имени Литке
Источник: [23].



Рис. 3. Золотая медаль Бухарского Эмирата
Источник: [23].

Изученность проблемы. Указанный период творческой деятельности П.К. Залесского привлекал внимание не только военных топографов, но и ведущих зарубежных специалистов [22]. Многочисленные научные статьи об этих исследованиях были опубликованы академиком В.П. Щегловым [21]. Большая часть результатов определения координат и ускорения силы тяжести приведены в записках Военно-топографического отдела Главного штаба [9].

В 1916 году работы по определению гравиметрических пунктов прекратились со смертью П.К. Залесского. Они возобновились в 1930 году с применением нового прибора Штюкрата. Эти работы выполнялись под руководством Я.П. Цукерваника [18]. К тому времени выявилась большая практическая ценность гравиметрических определений для целей геологических разведок. Краткий анализ исследований П.К. Залесского выполнил Ч.В. Гальков в своей диссертации, посвящённой деятельности офицеров ТВО [3].

Цель и задачи работы. Целью работы является описание рекогносцировочных работ и астрономических наблюдений П.К. Залеского в Туркестане. Для реализации цели необходимо было произвести анализ трудов Императорского Русского географического общества, ТАО и ТВО, которые находятся в Национальных, академических и ведомственных библиотеках Российской Федерации и Республики Узбекистан.



Рис. 4. Обложка Записок ВТО Главного штаба
Источник: [15].

Материалы и методы. В качестве источников и библиографических данных выступили труды Императорского Русского географического общества, ТАО [12] и записки ВТО (рис. 4), журналы и изданные каталоги астрономических и геодезических пунктов. В этих работах приведены результаты наблюдений и измерений, выполненных, в основном, П.К. Залесским и другими офицерами КВТ.

Результаты и их обсуждение. До назначения П.К. Залесского помощником заведующего ТАО, географо-астрономические работы на территории Туркестана исчислялись единицами и носили случайный характер. Первое определение географических координат Ташкента было выполнено В.К. Шарнгорстом (1846-1908) в 1871 году на холме Минг-Урюк [19]. Широта была определена большим вертикальным кругом Репсольда (рис. 5) и редуцирована к центру меридианного круга Астрономической обсерватории в 1875 году посредством триангуляции. Определение же долгот по измеренным зенитным расстояниям Луны и моментам покрытия звезд Луной оказались приближенными. В связи с этим, П.К. Залесский предложил использовать телеграфный и хронометрический метод определения долгот в полевых условиях.

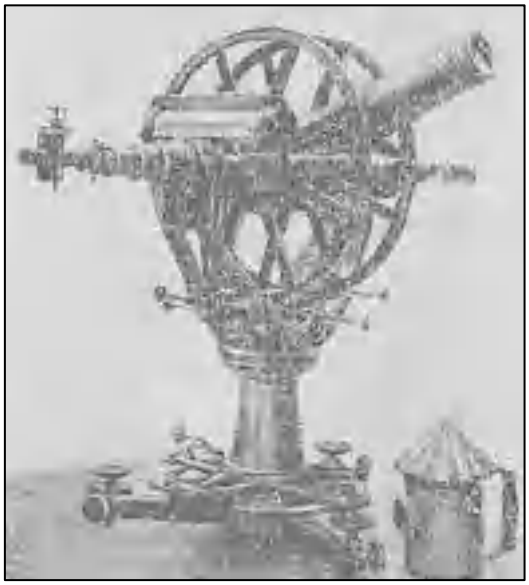


Рис. 5. Вертикальный круг Репсольда

Источник: [20].

С 1881 года в Туркестанском крае астрономические работы по определению координат принимают определенный порядок, благодаря огромному опыту П.К. Залесского.

Производившиеся при этом работы условно можно разделить на три класса:

- определение долгот по телеграфу и широт из наблюдений четырех пар звезд;
- определение долгот из краткосрочных хронометрических рейсов с восемью и более хронометрами и широт из наблюдений избранных звезд;
- определение долгот из продолжительных хронометрических рейсов и широт из наблюдений кругом Пистора.

Определение координат с помощью большого вертикального круга Репсольда оказалось затруднительным в условиях высокогорий и пустынь Туркестанского края. В связи с этими обстоятельствами в 1891 году директор ТАО делает заказ и получает более компактный малый вертикальный круг (рис. 6), который не уступал большому по точности вертикальному кругу.

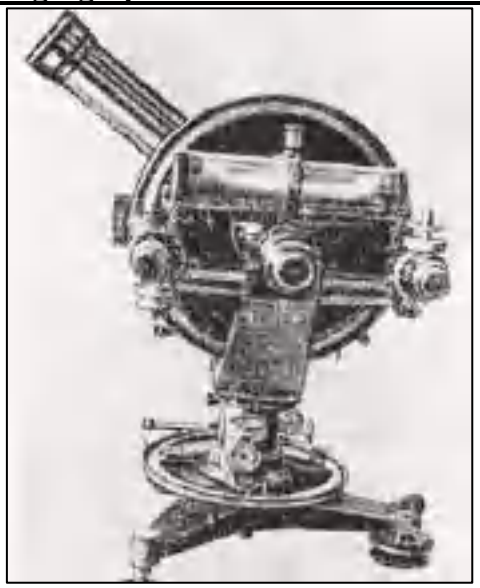


Рис. 6. Малый вертикальный круг

Источник: [20].

Проведенные экспедиционные работы П.К. Залесского в Туркестанском крае были основаны на планах ВТО и ТАО по созданию опорной астрономо-геодезической сети, необходимой для обоснования топографических съемок на тогда еще совершенно не картографированной территории. Оно было необходимо из-за отсутствия в то время железнодорожной и телеграфной сети.

Таблица 1

Маршруты рекогносцировочных съемок полковника Залесского П.К. в 1882-1899 гг.

№	Годы	Маршруты следования
1	1882	Ташкент, Самарканд, Пенджикент
2	1884	Коканд, Наманган, Новый Маргилан
3	1885	Каттакурган, село Зирабулак, Зиаэддин, Кермине, Каракуль, Чарджуй
4	1886	Селение Акмоллы, Чимкент, Шарапхана
5	1888	Ферганская область
6	1889	1. Чарджуй, на каюке по Амударье, Петро-Александровск, с. Ханка, Хива, обратно в Петро-Александровск. 2. Петро-Александровск, по правому берегу Амударьи, с. Шейхбасвали, станция Биштюбе, укрепление Нукус, с. Чимбай, Петро-Александровск. 3. Нукус, Куняургенч, Кунград, мыс Урга, бугор Каратюбе, Кунград урочище Карабайлы, Нукус. 4. Нукус, Гурлен, Петро-Александровск. 5. Петро-Александровск, по левому берегу Амударьи, Питняк, село Дарганава, Чарджуй
7	1890 I	1. Нукус, село Чимбай, р. Янысу, Нукус. 2. Нукус, по протоку Куваншджарме, р. Янысу, обратно до Кукской переправы, мимо озера Джуйрюк, село Джаманкала, зимовье Гэраклы. 3. Зимовья Гэраклы, Кулдаулы, село Кук, берег реки Улькундарья, Чимбай, Нукус 4. Нукус, протоки Ишан, Тилябан, по озерам, р. Улькундарья, с. Кук. 5. Село Кук, левым берегом Улькундарьи, развалины Аккала, Чимбай

	II 1890 III	1. Ташкент, Арысь, село Икан, Туркестан. 2. Туркестан, через хр. Каратау, село Сузак, пер. Турлен, Туркестан. 3. Туркестан, переправа Учкаюк на р. Сырдарья, по правому берегу до переправы Ишкеульмас. 4. От села Бугунь к р. Сырдарья, переправа Ишкеульмас, по правому берегу до впадины р. Арысь, по берегу р. Арысь, станция Арысь, Ташкент. 1. Чиназ, переправа Косарал, на р. Сырдарья по левому берегу, Чиназ. 2. Ташкент, ст. Малек, Мурзарабат, Джизак. 3. Джизак, ст.Агачты, с. Заамин, вниз по Сырдарье, Чиназ, Ташкент.
8	1891	1. Ош, Новый Маргилан, село Кува, Мынтюбе, Ош. 2. Ош, укрепление Гульча, урочище Учтюбе, Хатынартаузы, Бардаба, Арчабулак, Джаман, Кырчин, Дарауткурган, Новый Маргилан. 3. От урочища Бардаба, р. Коксу, оз. Каракуль, р. Музкол, 4. От р. Музкол, по Памиру, к оз. Рангкуль, р. Аксу, обратно по р. Акбайтал, р. Музкол. 5. От р. Аксу, по Памиру к горе Акташ и обратно на перевал Кушбель
9	1892	1. Казалинск, станции Алтынкудук, Аксай, Чулак-кайракты, Оренбург. 2. Оренбург, станции Терекли, Камышлыбаш, Казалинск. 3. Казалинск, форт №1, Перовск, форт Джулек, ст. Саур, Туркестан.
10	1892	Ташкент, Чимган, пер. Сарыкбулак, пер. Терекдаван, Наманган, урочища Дарауткурган, Гарм, по Дарвазу, Гарм, Файзабад, Самарканд.
11	1893	1. Ташкент, Джизак, вдоль подошвы Нуратинских гор, кол. Темиркавук, село Гиждуван, Бухара. 2. Бухара, село Нурата, урочище Аяккудук, урочище Тамды, колодцы Казган, Куырбукан, Перовск, Ташкент. 3. Маргилан, перевал Тенгизбай, урочище Дарауткурган, село Думбарачи, Гарм, Куляб, Файзабад, Керки.
12	1894	1. В восточном районе Сырдарьинской и Ферганской областей (между Аулиеата и Наманганом). 2. По Кызылкуму. 3. Ташкент, подножье Нуратинских гор, Туркестан.
13	1895	1. Асхабат, крепость Кызыларват, станция Узунада, Баку. 2. Перовск, укрепление Джулек и обратно. 3. На Памире: от могилы Шаджан до горы Акташ, оз. Виктория, перевал Бендерского, перевал Уртабель, Кызылрават. 4. От устья р. Михманджула до могилы Шаджан. 5. От Самарканда до Бухары и обратно.
14	1896	1. Новая Бухара, Чарджуй. 2. Новая Бухара, Керки, Кермине, Новая Бухара, Старая Бухара. 3. Пенджикент, вверх по реке Зарафшан, Пенджикент, пер. Лаудан, оз. Искандер-Куль, пер. Ахбайпорнон, Каратаг. 4. Душанбе, перевал Хоки к р. Ягнобдарья, вниз по реке, село Хашартаб, перевалы Дарх, Камадон, Ташкент. 5. Аулиеата, по левому берегу р. Талас, южная окраина Муюнкумов, село Чулаккурган, по предгорьям хр. Каратау. 6. Аулиеата, Чимкент.

15	1897	1. Ташкент, Карши, Керки, по левому берегу р. Амударья, селения Боссага, Келиф, Чушкагузар, Ширабад, Какайты, Кабадиан, Айвадж, Паттагиссар, Керки. 2. Петро-Александровск, Куня-Ургенч, по руслу Кунядарьи до Сарыкамыша, селения Шахабад, Ханка, Петро-Александровск, крепость Данишеркала, урочища Джегербент, Дарваната, станция Амударья. 3. Оз. Каракуль, перевал Анак, по р. Таныкмас, крепость Ташкурган, Памирский мост, обратно до оз. Кара-Куль, р. Музкол, перевал Акбайтал, рабат №1 (Корнайтарты), Ош.
16	1898	1. Ташкент, Яккабаг, село Дербент, Байсун, село Пянджаб, село Игарчи, Ширабад, Денау, Сарыджуй, село Дашабад, Каратаг, Гиссар, Файзабад, через р. Вахш, пост Карультюбе, Хатынрабатский пост, Термез. 2. Ош, Памирский мост, устье р. Харгош, вниз по р. Пяндж, селения Лянгеригишт, Андераб, Вирхорог, вниз по р. Пяндж, Каланвамар, обратно в село Вирхорог. 3. Пост Хорогский, по р. Гунт, пер. Койтезек, долина р. Аличур, Памирский пост, рабат №1, рабат Суфикурган.
17	1899	1. Ташкент, Петро-Александровск, Куня-Ургенч, укрепление у подножья Устюрта, колодцы Узункуя, Казакты, Кумсебшен, Туар, рабат Янгису, колодец Каскырбулак, Красноводск. 2. Самарканд, зимовье Куруксай, селения Шатры, Хазара, Яккабаг, Хазретилянгар, Чим, Нагаган, Чиракчы, Калкама, зимовье Беклямиш, колодец Кият, Самарканд. 3. Андижан, перевал Кенкул, перевал Каракыр, селение Чарбаг, урочище Тогузбулак, перевал Кугарт, Андижан, перевалы Гурумды, Читты, Тассыркай, Акбогуз, селение Узгень, урочище Биштерек, реки Гурумды, Карашура, Каракульджа, урочища Карагаш, Уч-куль, р. Карагуз, перевалы Башгурумды, Читты, Терекбуль, Ош, Ташкент. 4. Новый Маргилан, селение Учкурган, перевал Тенгизбай, зимовье Арамкунгей, могила Алтынмазар, селение Дамбурчи, перевал Акбайсатырги, селение Сытар, укрепление Рохар, Пашвара, Джарв, Каланхум, селение Сагрыдашт, перевал Сарыоб, селение Калаиходжа, Ховалинг, Бальджуан, селение Деучашма, Кургантюбе, Кабадиан, колодец Говарали, селение Паттакиссар.

Примечание. Данные получены из результатов отчетов П.К. Залесского [8].

Проложенные маршруты дали возможность выполнить астрономические [10], топографические (рис. 7) и гравиметрические измерения.



Рис. 7. Схема маршрута нивелировки Туркестана в 1908 г.

Источник: [23].

Чтобы оценить такую трудоемкую работу П.К. Залесского, надо сопоставить количество определенных гравиметрических пунктов в дореволюционную эпоху на территории всей России (400 пунктов). С 1901 по 1911 год он определил ускорения силы тяжести в 145 пунктах на территории Туркестанского края, которые вошли в гравиметрический каталог. Более подробно об этих исследованиях авторы планируют изложить в последующих публикациях.

Выводы. К сожалению, при определении координат пунктов на территории Туркестанского края не были составлены кроки и абрисы с реперами и центрами. Поэтому, недостатком астрономических работ П.К. Залесского и других топографов было то, что пункты не закреплялись фундаментально на местности. В результате, закладываемые центры не обеспечивали сохранность на ближайшие годы. Несмотря на это, вышеописанные экспедиционные работы и рекогносцировочные исследования говорят о значительном прогрессе в создании планово-высотной основы геодезической сети Туркестанского края, выполненные П.К. Залесским в период службы и заведования ТАО. Полученные точности географических долгот ± 0.011 временных секунд и вероятная ошибка широты $1^{//}$ являются ценными данными, которые еще долго будут использованы при анализе изменяемости географических координат и неполярного колебания геометрической оси вращения Земли.

Таким образом, можно подчеркнуть, что П.К. Залесский определил географические координаты около 700 астрономических пунктов, создав геодезическую сеть для картографирования Туркестанского края и сопредельных земель. Выполненные полевые геодезические работы в пустынных и холмистых районах с малым вертикальным кругом доказали одинаковую точность определения координат по сравнению с большим вертикальным кругом Репсольда.

Авторы выражают признательность редакции и рецензентам за полезные советы, критические замечания и корректные рекомендации, которые позволили более внимательно отредактировать подготовленную рукопись.

Использованная литература:

1. Блох Ю.И. Гравиметристы Российской империи (К 300-летию российской гравиметрии). Москва, 2020. 129 с.

2. Булаевский Н.Ф. П.К. Залесский и его научная деятельность (1850-1916) // Известия Туркестанского отдела ИРГО. 1917. Т. 13. Вып. 1. С. 1-14.

3. Гальков Ч.В. Туркестанский Военно-топографический отдел и его работы по картографированию Средней Азии в 1867-1914: автореф. дисс. ... канд. геогр. наук. Ташкент, 1958. 18 с.

4. Гедеонов Д. Д. Изменение широты Ташкента в 1895-96 годах // Записки ВТО, 1901. Ч. LVIII. С.123-140.

5. Григорьев А.В. К нижнемезойской истории Памиро-Алайской тектонической зоны // Труды Всесоюзного аэрогеологического треста МинГео СССР. 1958. С. 13.

6. Ермилин В.И., Чигарев Н.В. Горообразование и сейсмичность Памиро-Алая. Москва: Наука, 1981. 126 с.

7. Жилинский С.И. Исторический очерк учреждения обсерватории в Ташкенте // Записки ТА и ФО. 1885. Вып. 1. С. 1-18.

8. Залесский П.К. Краткий отчет о Хивинской, Амударьинской, Туркестанской, Оренбургской и Памирской астрономических экспедициях в 1889,1890 и 1891г. Санкт-Петербург, 1893. 26 с.

9. Залесский П.К. Список пунктов гравиметрических определений полковника Залесского в Туркестане и соседних районах (1901-1911 г.). Ташкент: Издание Туркестанского отдела ИРГО, 1914. 40 с.

10. Залесский П.К. Полный каталог астрономических пунктов Туркестанского военного округа и прилегающих к нему земель. Ташкент,1914. 56 с.

11. Записки Военно-топографического отдела Главного штаба (Записки ВТО). Санкт-Петербург [1866-1902]. Ч. 27-59. Отд. 1-2.

12. Известия Императорского Русского географического общества. 1886. Том XXII. С. 301-305.

13. Кудрявцев М.К. 150 лет военно-топографической службе, 1797-1947 гг. Москва, 1948. С. 17.

14. Маслова О.В. Обзор русских путешествий и экспедиций в Среднюю Азию. Часть IV. 1881-1886. Материалы к библиографии. Вып. 11. Ташкент: Фан, 1971. 138 с.

15. Мушкетов Д.И. Материалы по общей и прикладной геологии. Вып. 10. Петроград: Геологический комитет, 1919. 40 с.

16. Отчет о геодезических, астрономических, топографических и картографических работах, произведенных чинами Корпуса военных топографов в 1881-1900 // Записки Военно-топографического отдела Главного штаба. Санкт-Петербург, 1884. Ч. 41. Отд. 2. С. 9.

17. Померанцев И.И. О фигуре геоида в районе Ферганской области // Записки ВТО. 1897. Ч. LIV. С. 76-120.

18. Цукерваник Я.П. Гравиметрические работы ТАО // Труды ТАО. 1935. Т.5. С. 117-125.

19. Шарнгорст В.К. Астрономические определения основных пунктов в Сибири посредством телеграфа // Записки ВТО. 1880. Ч. XXXVII. 434 с.

20. Щеглов В.П. Из прошлой русской науки. Страницы истории Ташкентской астрономической обсерватории. Петр Карлович Залесский // Астрономический журнал. 1951. Т. 28. Вып.1. 208 с.

21. Щеглов В.П. Астрономическому институту 100 лет. Ташкент: Фан, 1973. 144 с.

22. Cifford J. Mucnier (2016), Grid and Datum of the Republic of Uzbekistan, *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*, Vol. 82, No. 7, pp. 473–474. 0099-1112/16/473-474. © 2016 American Society for Photogrammetry and Remote Sensing. doi: 10.14358/PERS.82.7.473.

23. www.google.com (Дата обращения: 29.01.2026)

References:

1. Bloch Yu. I. (2020), *Gravimetrists of the Russian Empire (On the 300th Anniversary of Russian Gravimetry)*, 129 p. (In Russ.).

2. Bulaevsky N. F. (1917), P.K. Zalessky and his scientific activity (1850-1916), *The Annales of the Turkestan Department of the IRGS*, Vol. 13, Issue 1, pp. 1-14. (In Russ.).

3. Galkov Ch. V. (1958), *Turkestan Military Topographic Department and its works on mapping Central Asia in 1867-1914: abstract of diss. ... cand. of geogr. sciences,* 18 p. (In Russ.).

4. Gedeonov D. D. (1901), Change in Tashkent's Latitude in 1895-96, *Notes of the Russian Geographical Society*, Part LVIII, pp.123-125. (In Russ.).

5. Grigoriev A. V. (1958), On the Lower Mesozoic History of the Pamir-Alai Tectonic Zone, *Proceedings of the All-Union Aerogeological Trust of the USSR Ministry of Geosciences,* P. 13. (In Russ.).

6. Ermilin V. I., Chigarev N. V. (1981), *Mountain Building and Seismicity of the Pamir-Alai*, Moscow, 126 p. (In Russ.).

7. Zhilinsky S. I. (1885), Historical Essay on the Establishment of the Observatory in Tashkent, *Notes of the Turkestan Military District and the Geophysical Region*, Issue 1, p. 1-18. (In Russ.).

8. Zalessky P. K. (1893), *Brief report on the Khiva, Amu Darya, Turkestan, Orenburg and Pamir astronomical expeditions in 1889, 1890 and 1891*, St. Petersburg, 26 p. (In Russ.).

9. Zalessky P. K. (1914), List of gravimetric determination points of Colonel Zalessky in Turkestan and neighboring regions (1901-1911), *The Annales of the Turkestan department of the IRGS*, 40 p. (In Russ.).

10. Zalessky P. K. (1914), *Complete Catalog of Astronomical Points of the Turkestan Military District and Adjacent Lands*, Tashkent, 56 p. (In Russ.).

11. *Notes of the Military Topographic Department of the General Staff (Notes of the VTO)*, St. Petersburg, [1866-1902], Part 27-59, parts 1-2.

12. *The Annales of the Imperial Russian Geographical Society* (1886), Vol. XXII, pp. 301-305. (In Russ.).

13.Kudryavtsev M. K. (1948), *150 years of military topographic service, 1797-1947*, Moscow, p. 17. (In Russ.).

14. Maslova O. V. (1971), *Review of Russian travels and expeditions to Central Asia. Part IV. 1881-1886. Materials for the bibliography*, Issue 11, Tashkent, 138 p. (In Russ.).

15. Mushketov D.I. (1919), *Materials on general and applied geology*, St. Petersburg, Issue 10. 40 p. (In Russ.).

16. Report on the geodetic, astronomical, topographic, and cartographic work carried out by members of the Corps of Military Topographers in 1881-1900 (1884-1902), *Notes of the Military Topographic Department of the General Staff*, Parts 39-59, Section 1. (In Russ.).

17. Pomerantsev I. I. (1897), On the figure of the geoid in the Fergana region, *Notes of the VTO*, part LIV, pp. 76-120. (In Russ.).

18. Tsukervanik Ya. P. (1935), Gravimetric works of the TAO, *Proceedings of the TAO,* Vol. 5, pp. 117-125. (In Russ.).

19. Scharnhorst V. K. (1880), Astronomical determinations of the main points in Siberia by means of telegraph, *The Notes VTO*, Part XXXVII, 434 p. (In Russ.).

20. Shcheglov V. P. (1951), From the past of Russian science. Pages of the history of the Tashkent Astronomical Observatory. Petr Karlovich Zalessky, *Astronomical Journal*, Vol. 28. No. 1, 208 p. (In Russ.).

21. Shcheglov V. P. (1973), *The Astronomical Institute is 100 years old*, Tashkent, 144 p. (In Russ.).

22. Cifford J. Mucnier (2016), Grid and Datum of the Republic of Uzbekistan, *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*, Vol. 82, No. 7, pp. 473–474. 0099-1112/16/473-474. © 2016 American Society for Photogrammetry and Remote Sensing. doi: 10.14358/PERS.82.7.473.

23. www.google.com (29.01.2026)

Сведения об авторах:

Мирмахмудов Эркин Рахимжанович – Национальный университет Узбекистана (Ташкент, Узбекистан), доктор географических наук, профессор. E-mail: erkin_mir@mail.ru

Наврузов Рахмат Махмудович – Национальный университет Узбекистана (Ташкент, Узбекистан), старший преподаватель. E-mail: rahmatnavruzov99@gmail.com

Information about authors:

Erkin Mirmakhmudov – National University of Uzbekistan (Tashkent, Uzbekistan), Doctor of Geographical Sciences, Professor. E-mail: erkin_mir@mail.ru

Rakhmat Navruzov – National University of Uzbekistan (Tashkent, Uzbekistan), Senior Lecturer. E-mail: rahmatnavruzov99@gmail.com

Для цитирования:

Мирмахмудов Э.Р., Наврузов Р.М. О рекогносцировочных экспедициях полковника П.К. Залесского в Туркестанском крае в 1882-1912 гг. // Центральноазиатский журнал географических исследований. 2026. № 1-2. С. 154-164.

For citation:

Mirmakhmudov E., Navruzov R. (2026), On the reconnaissance expeditions of colonel P.K. Zalesky in the Turkestan region in 1882-1912, *Central Asian Journal of Geographical Sciences*, No. 1-2, pp. 154-164. (In Russ.).

ЮБИЛЕИ

ANNIVERSARIES

АНАТОЛИЮ АЛЕКСАНДРОВИЧУ НИ – 80 ЛЕТ!



Видный деятель географической науки Узбекистана, известный исследователь в областях гляциологии, климатологии, физики атмосферы, гидрологии и проблематики Аральского моря, кавалер ордена «Дустлик», кандидат географических наук Анатолий Александрович Ни 9 мая 2026 года отметил свой 80-летний юбилей!

А. А. Ни родился в 1946 году в Ташкентской области. В 1963 г. поступил на Физический факультет Ташкентского университета по специальности «Физика атмосферы», окончив его в 1968 г.

В 1979 году в Одессе А.А. Ни защитил диссертацию на соискание учёной степени кандидата географических наук на тему «Ледниковый ветер в горах Средней Азии» по специальности 11.00.09 – Метеорология, климатология, физика атмосферы под научным руководством доктора физико-математических наук, профессора В.И. Губина.

Область исследований юбиляра охватывает преимущественно гляциологию и палеогеографии. Он на основе комплексного подхода проанализировал процессы формирования ледников в горах, их морфологическое строение и взаимосвязь с климатом. Результаты его исследований позволили сформулировать важные научные выводы о ледниках Западного Тянь-Шаня. Особую значимость представляют его работы, посвящённые изучению сокращения площади ледников Западного Тянь-Шаня и их чувствительности к изменениям климата. Полученные результаты служат фундаментальной базой для объяснения процессов формирования водных ресурсов в высокогорьях, зависимости речного стока от состояния ледников.

А.А. Ни является автором более 80 публикаций в республиканских и зарубежных журналах с высоким импакт-фактором, а также 5 научных монографий («Геологический фактор в режиме ледников Западного Тянь-Шаня и Памира» (Ташкент, 1985), «Горное оледенение, климат, сток» (Ташкент, 2008), «Эволюция и динамика природных и техногенных процессов и их влияние на окружающую среду» (Ташкент, 2021) и др.).

Юбиляр принимал активное участие во многих международных проектах (Германия, Польша, Россия). Также за годы своей деятельности учёный реализовал ряд значимых научных проектов в сотрудничестве с ведущими гляциологами республики. Так, совместно с А.А. Тихановской и И.Г. Томашевской он определил роль геоэкологических факторов в нивально-гляциальной зоне. В рамках международных грантов им была выявлена роль ледникового стока в эволюции бессточных озер Центральной Азии для палеогляциологической реконструкции климата и оледенения в периоды плейстоцена и голоцена. Им также проведена оценка и научное прогнозирование изменений ледников и стока в различных климатических условиях.

В настоящее время Анатолий Александрович находится на заслуженном отдыхе и активно консультирует сотрудников Центра гляциальной геологии Института геологии и геофизики имени Х.М. Абдуллаева. Научные работы Анатолия Александровича Ни и его ценные консультации широко используются современными исследователями.

Мы сердечно поздравляем Анатолия Александровича Ни с его славным 80-летним юбилеем, желаем юбиляру долгих лет счастливой жизни, крепкого здоровья, неиссякаемой энергии и жизнерадостного настроения!

Редакционная коллегия Международного научного журнала «Центральноазиатский журнал географических исследований»

ВЯЧЕСЛАВУ ЛЕОНИДОВИЧУ БАБУРИНУ – 75 ЛЕТ!



Известный российский учёный в области социально-экономической географии, профессору, доктор географических наук, Заслуженному профессору Московского государственного университета имени М.В. Ломоносова Вячеслав Леонидович Бабурин родился 31 мая 1951 года в Москве.

В 1976 году он окончил Географический факультет Московского государственного университета имени М.В. Ломоносова по специальности «Экономическая география»

Работая на кафедре экономической и социальной географии России МГУ имени М.В. Ломоносова, В.Л. Бабурин последовательно прошёл все ступени от старшего лаборанта до профессора и заведующего кафедрой.

В 1985 году он защитил кандидатскую диссертацию по специальности 11.00.02 – Экономическая и социальная география на тему «Территориальная организация и управление промышленностью в условиях научно-технической революции (на примере Московского региона)» под руководством доктора географических наук, профессора А.Т. Хрущёва. В 2002 году им была защищена докторская диссертация по шифру 25.00.24 – Экономическая, социальная и политическая география на тему «География развития инновационных процессов в пределах российского пространства».

Профессор В.Л. Бабурин считается основоположником такого направления, как география инноваций, в российской общественно-географической науке. Он внёс значительный вклад в исследование инновационных циклов в экономике, обосновал естественноисторический подход в исследовании инновационных процессов и циклический подход в исследовании территориальных социально-экономических систем. Он по праву признаётся крупным специалистом в сферах регионального анализа и территориального управления, географии инвестиционного комплекса, географии оборонно-промышленного комплекса, социально-экономической географии постсоветского пространства, в т.ч. стран Центральной Азии, оценки природных рисков и ущербов.

Юбиляр является автором около 300 научных публикаций, в частности более 20 книг – монографий, учебников и учебных пособий. В последние десятилетия Вячеслав Леонидович выпустил в соавторстве несколько учебников по экономической и социальной географии постсоветских стран для высшей и средней школы России. Под руководством профессора В.Л. Бабурина защищено 18 кандидатских диссертаций.

Давние и прочные связи сложились у В.Л. Бабурина с коллегами из стран Центральной Азии. Он многократно бывал в странах региона в рамках экспедиционных проектов, исследовал современные процессы социально-экономического развития стран региона. Долгие годы он участвовал в работе диссертационного совета по географическим наукам при Таджикском государственном педагогическом университете имени С. Айни в Душанбе.

В 2019 г. В.Л. Бабурину было присуждено почётное звание «Почётный иностранный член Географического общества Узбекистана».

Поздравляем Вячеслава Леонидовича Бабурина с его 75-летием, желаем ему крепкого здоровья, благополучия и многолетней успешной творческой деятельности.

Редакционная коллегия Международного научного журнала
«Центральноазиатский журнал географических исследований»

ПАМЯТЬ

MEMORY

ЕВГЕНИЙ ПЕТРОВИЧ КОРОВИН (1891-1963)



Выдающийся исследователь природы Средней Азии, Заслуженный деятель науки Узбекской ССР, академик АН Узбекистана Евгений Петрович Коровин родился 25 февраля 1891 г. в Москве. Детские годы он провёл в г. Пензе, где обучался в гимназии, которую окончил в 1910 году. В 1917 г. окончил Естественное отделение физико-математического факультета Московского университета по специальности «ботаника». В студенческие годы участвовал в экспедициях в Среднюю Азию.

В 1920 г. он прибыл в Ташкент в числе большой группы профессоров и преподавателей для работы в Среднеазиатском государственном университете (ныне – Национальный университет Узбекистана). На разных этапах работы в САГУ учёный занимался большой организационной работой, в частности, заведовал кафедрой систематики и географии растений (1928-1960 гг.), был директором Биологического научно-исследовательского института (1932-1938 гг.). Работу в университете Е.П. Коровин активно совмещал с деятельностью в системе Академии наук Узбекской ССР, в создании которой в 1943 г. он принимал непосредственное участие, и действительным членом которой был с 1947 г. Учёный в 1944-48 возглавлял Институт ботаники и зоологии, а в 1950-1952 гг. – Институт ботаники АН Узбекской ССР.

Е.П. Коровин был организатором и активным участником многочисленных экспедиций в пустыни Кызылкум, Каракумы, Бетпак-Дала, плато Устюрт, горы и межгорные долины Западного Тянь-Шаня, Ферганскую долину. Результаты этих исследований стали большим вкладом в изучение систематики, географии, экологии и генезиса растительности Средней Азии. Е.П. Коровиным были впервые описаны 15 родов и 239 видов растений Средней Азии, ранее не известных науке. Неслучайно, в его честь названы более 25 видов растений. Главным, капитальным научным трудом академика Е.П. Коровина стал двухтомник «Растительность Средней Азии и Южного Казахстана, изданный в 1961-1962 гг.

В 1920-30-е гг. Е.П. Коровин тесно сотрудничал с выдающимся зоологом и зоогеографом Д.Ю. Кашкаровым. Их совместные труды стали значительной вехой не только в развитии биоэкологической науки, но и имели большое физико-географическое значение. Ими, в частности, было обосновано разделение среднеазиатских пустынь на северные (пустыни умеренного пояса) и южные (субтропические пустыни). Также учёными были выявлены региональные различия природных комплексов по разные стороны от орографической линии хребтов Каратау, Таласский Алатау, Узун-Ахмат и Ферганского. Выявление пространственных линий разграничения природных комплексов умеренного и субтропического (переходного к субтропическому) типов в работах Е.П. Коровина послужило в дальнейшем обоснованию выделения Туранской, Центрально-Казахстанской и Джунгаро-Тяньшанской физико-географических провинций Средней Азии профессорами Л.Н. Бабушкиным и Н.А. Когаем.

Фундаментальные исследования растительности Средней Азии, выполненные Е.П. Коровиным, приобрели классическое значение для научного познания природы нашего края, в частности, с позиций региональной физической географии.

Редакционная коллегия Международного научного журнала «Центральноазиатский журнал географических исследований»

МУКАТАЙ ЖАНДАЕВИЧ ЖАНДАЕВ (1916-1998)



Корифей географической науки Казахстана, Заслуженный деятель науки Казахской ССР, доктор географических наук, профессор Мукатай Жандаевич Жандаев родился 1 февраля 1916 г. на территории нынешнего района имени Г. Мусрепова Северо-Казахстанской области. В 1935-1938 гг. обучался в Петропавловском зооветеринарном техникуме, по окончании которого работал зоотехником в Айыртауском районе Кокчетавской области (ныне – в составе Северо-Казахстанской области).

В 1939 г. был призван в ряды Красной Армии. В годы военной службы окончил Читинскую авиационную службу и 1-ю Рязанскую высшую школу летчиков и штурманов авиации дальнего действия. С 1943 по 1945 годы воевал на фронте, летал на бомбардировщике дальнего действия в качестве воздушного стрелка-радиста. Почти год летал в Заполярье, неоднократно участвовал в ночных воздушных боях. Был награждён несколькими боевыми наградами.

После Войны, в 1945-1948 гг. М.Ж. Жандаев обучался в Воронежском педагогическом институте. В 1948-1952 гг. был аспирантом Института геологических наук имени К.И. Сатпаева АН Казахской ССР. В 1952 г. им была успешно защищена диссертация на соискание учёной степени кандидата геолого-минералогических наук на тему «Геоморфология восточных отрогов Заилийского Алатау».

В 1953 г. перешёл на работу в Казахский государственный университет имени С.М. Кирова (ныне – КазНУ имени Аль-Фараби). В 1960-1966 гг. занимал должность декана географического факультета университета. В 1962-1991 гг. заведовал кафедрой физической географии, затем – кафедрой геоморфологии КазГУ.

В 1970 г. стал первым в Казахстане доктором географических наук, защитив диссертацию на тему «Геоморфология Заилийского Алатау».

За многолетнюю творческую жизнь доктором географических наук, профессором М.Ж. Жандаевым были опубликованы более 160 научных трудов, в частности, 5 монографий («Геоморфология Заилийского Алатау и проблемы формирования речных долин» (1972), «Природа Заилийского Алатау» (1978), «Речные долины» (1984) и др.).

Профессор М.Ж. Жандаев занимался многочисленными прикладными исследованиями, хоздоговорными работами. Им были открыты 4 месторождения полезных ископаемых: Шындыбулак (свинцовые руды), Косагала (железно-марганцевые руды), кассеритовое (оловянные руды) в Северной Бетпакдале, медное в Каракаралинском районе. Учёным был запатентован «Географический измерительный прибор Жандаева» и «Угломер географа Ж-94».

В 1966 г. усилиями М.Ж. Жандаева был открыт первый в Казахстане диссертационный совет по географическим наукам. М.Ж. Жандаев был председателем этого совета на протяжении 12 лет.

М.Ж. Жандаев получил известность также в качестве публициста и писателя, создававшего произведения на военную тему. В частности, им написаны художественно-документальные книги «Записки воздушного стрелка-радиста» (1983) и «В небе войны (Воспоминания лётчика)» (1991).

В последние годы жизни М.Ж. Жандаев продолжал заниматься научно-педагогической деятельностью в качестве профессора кафедры геоморфологии КазНУ имени Аль-Фараби.

Доктор географических наук, профессор М.Ж. Жандаев остался в истории в качестве крупного учёного-геоморфолога, неординарного деятеля и организатора географической науки и образования Республики Казахстан.

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*. Рекомендуемый объём статей *от 8 до 15 страниц*.

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.

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 вопроса;**
- **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.

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 обязательное двойное «слепое» рецензирование, а также проверку на плагиат (оригинальность текста должна превышать 70 %) и использование искусственного интеллекта (максимальный уровень – 20 %).

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.

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 and checked for plagiarism (text originality must exceed 70%) and the use of artificial intelligence (maximum level – 20%).

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

Попов В.А. Опыт классификации ландшафтов Большого Среднеазиатского междуречья: экологический подход 4-18
Popov V.A. An experience in the classification of landscapes in the Great Central Asian interfluve: an ecological approach
Toločka A. Towards a new framework for anthropogenic geoheritage: the case of open-pit mining landscapes 19-29
Толочка А. К разработке новой концепции антропогенного геонаследия: на примере ландшафтов открытых горных разработок
Чембарисов Э.И., Реймова Г.Б., Баллиев А.И. Изменение некоторых характеристик мелиоративного состояния орошаемых земель Каракалпакстана в 2015–2025 гг. (на примере Берунийского района) 30-39
Chembarisov E.I., Reimova G.B., Balliev A.I. Changes in some characteristics of the meliorative condition of irrigated lands in Karakalpakstan during 2015–2025 (on the example of Beruniy district)

ЭКОНОМИЧЕСКАЯ И СОЦИАЛЬНАЯ ГЕОГРАФИЯ ECONOMIC AND SOCIAL GEOGRAPHY

Celtikoglu S. Cankurt M., Reck A., Oskenbayev Y., Thomas T. A data-driven spatial typology of agricultural regions in Kazakhstan: a pca and affinity propagation approach
Челтикоглу С., Джанкурт М., Рек А., Оскенбаев Е., Томас Т. Пространственная типология сельскохозяйственных регионов Казахстана, основанная на данных: подход с использованием метода главных компонент и распространения сходства 40-58
Бадалов Э.С., Рамазанова Ш.М. Тенденции социально-экономического и демографического развития крупных городов Азербайджана 59-69
Badalov E.S., Ramazanova Sh.M. Trends in socio-economic and demographic development of large cities of Azerbaijan
Гопиров М.О. Трудовые ресурсы в территориальной организации автомобильной промышленности Канады 70-81
Gopirov M.O. Labor resources in the territorial organization of the automotive industry of Canada

ГИДРОЛОГИЯ И КЛИМАТОЛОГИЯ HYDROLOGY AND CLIMATOLOGY

Мягков С.В., Страхова Н.Ю. Климатические изменения стока рек Узбекистана: анализ многолетних тенденций по данным гидрологических наблюдений 82-96
Myagkov S.V., Strakhova N.N. Climate related changes Uzbekistan's river runoff: analysis of long-term trends based on hydrological observations
Омонов Н.О., Хурсандова Н.Р., Эшмуратова Г.Ш., Куранбоева З.Э. Оценка взаимосвязи между данными международных баз Nasa Power и Cru и материалами наземных метеостанций по температуре воздуха и атмосферным осадкам на территории Узбекистана 97-112
Omonov N.O., Khursandova N.R., Eshmuratova G.Sh., Quranboeva Z.E. Evaluation of the relationship between data from the international NASA Power and Cru bases and materials from ground-based meteorological stations on air temperature and precipitation in the territory of Uzbekistan

Халимова Г.С., Каландарова Д.Д. Опыт исследования гидрографической сети низкогорий Кызылкума (на примере северного склона хребта Кульджуктау) 113-119
Khalimova G.S., Kalandarova D.D. Experience of researching the hydrographic network of the Kyzylkum low mountains (on the example of the northern slope of the Kuldzhuktau ridge)
Калабаев С.Б., Саидов У.И., Исмаилова М.Б. Анализ изменений уровня воды озера Сарыкамыш по данным дистанционного зондирования Земли 120-129
Kalabaev S.B., Saidov U.I., Ismoilova M.B. Analysis of changes in the water level of lake Sarykamysh based on remote sensing data
Мягков С.С., Дергачева И.В. Сезонная динамика площади водной поверхности озера Дауткуль в Приаралье по данным Sentinel-2 130-142
Myagkov S.S., Dergacheva I.V. Seasonal dynamics of the water surface area of Dautkul lake in the Aral Sea region based on Sentinel-2 data

КАРТОГРАФИЯ И ГЕОИНФОРМАТИКА
CARTOGRAPHY AND GEOINFORMATICS

Яротов А.Е., Вихарев Н.Г., Куприянюк К.В., Лукашёв О.В., Пейхвассер В.Н. Опыт применения технологии георадарного зондирования в исследовании объектов историко-культурного наследия в Республике Беларусь 143-153
Yarotau A., Vikharau M., Kupryianiuk K., Lukashov O., Peykhvasser V. Experience of applying ground penetrating radar in the research of historical and cultural heritage sites in the Republic of Belarus
Мирмахмудов Э.Р., Наврузов Р.М. О рекогносцировочных экспедициях полковника П.К. Залесского в Туркестанском крае в 1882-1912 гг. 154-164
Mirmakhmudov E., Navruzov R. On the reconnaissance expeditions of colonel P.K. Zalesky in the turkestan region in 1882-1912

ЮБИЛЕИ / ANNIVERSARIES

Анатолию Александровичу Ни – 80 лет! 165
Вячеславу Леонидовичу Бабурину – 75 лет! 166

ПАМЯТЬ / MEMORY

Евгений Петрович Коровин (1891-1963) 167
Мукатай Жандаевич Жандаев (1916-1998) 168

Требования к оформлению статей, представляемых для публикации в международном научном журнале "Центральноазиатский журнал географических исследований" 169-171

Requirements for the design of articles submitted for publication in the international scientific journal "Central Asian Journal of Geographical Research" 172-173

ЦЕНТРАЛЬНОАЗИАТСКИЙ ЖУРНАЛ ГЕОГРАФИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ

Международный научный журнал

№ 1-2, 2026

***

CENTRAL ASIAN JOURNAL OF THE GEOGRAPHICAL RESEARCHES

International scientific journal

No. 1-2, 2026

Чирчик
Chirchik

Подписано к печати 20.06.2026 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 20.06.2026. 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