

УДК: 556.3:551.32(575)

ДИНАМИКА ВОДНЫХ РЕСУРСОВ С УЧЕТОМ ВЛИЯНИЯ МНОГОЛЕТНИХ ЗАПАСОВ СНЕГА В ЦЕНТРАЛЬНОЙ АЗИИ

А.Т.Салохиддинов – д.т.н., профессор, А.Г.Савицкий¹ – к.т.н., старший научный сотрудник,
 С.Siderius^{2,3} – PhD, научный сотрудник,
 О.А.Аширова⁴ – PhD, научный сотрудник,
 П.А.Хакимова – PhD, научный сотрудник, Ж.Мирзокобилов – аспирант, Э.Абдумажидов¹ – аспирант,
¹Национальный исследовательский университет «ТИИИМСХ»,
²Wageningen University & Research (Wageningen, Netherlands),
³Uncharted Waters (Sydney, Australia),
⁴Научно-исследовательский институт окружающей среды и природоохранных технологий

Аннотация

В статье представлены результаты анализа исследований, проведенных известными климатологами и гидрологами и авторами данной статьи, а также результаты оценки доступности водных ресурсов и меняющихся запасов снега в Центральной Азии. Результаты исследований и анализа, представленные в статье, послужат полезной дополнительной основой для разработки эффективных адаптационных мер в условиях засушливого изменяющегося климата и природных, демографических и экономических реалий региона.

Ключевые слова: водные ресурсы, запасы снега, изменение климата, водность рек, водообеспеченность, адаптация.

МАРКАЗИЙ ОСИЁДАГИ КЎП ЙИЛЛИК ҚОР ЗАХИРАЛАРИНИНГ ТАЪСИРИНИ ҲИСОБГА ОЛГАН ҲОЛДА СУВ РЕСУРСЛАРИНИНГ ДИНАМИКАСИ

А.Т.Салохиддинов – т.ф.д., профессор, А.Г.Савицкий¹ – т.ф.н., катта илмий ходим,
 С.Siderius^{2,3} – PhD, илмий ходим,
 О.А.Аширова⁴ – PhD, илмий ходим,
 П.А.Хакимов – PhD, илмий ходим, Ж.Мирзокобилов – докторант, Э.Абдумажидов¹ – докторант,
¹“ТИҚХММИ” миллий тадқиқот университети,
²Вагенинген университети ва тадқиқот маркази (Вагенинген, Нидерландия),
³Uncharted Waters (Сидней, Австралия),
⁴Атроф-муҳит ва табиатни муҳофаза қилиш технологиялари илмий-тадқиқот институти

Аннотация

Мақолада таниқли иқлимшунос ва гидрологлар ҳамда ушбу мақола муаллифлари томонидан олиб борилган тадқиқотлар натижаларининг таҳлили, шунингдек, Марказий Осиёда сув ресурсларининг таъминланганлиги ва қор захираларининг ўзгариши бўйича баҳолаш натижалари тақдим этилган. Келтирилган тадқиқот ва таҳлил натижалари, минтақанинг қуруқ ва ўзгарувчан иқлими ҳамда табиий, демографик ва иқтисодий шароитларини ҳисобга олган ҳолда, самарали мослаштириш чораларини ишлаб чиқиш учун қўшимча фойдали асос бўлиб хизмат қилади.

Калит сўзлар: сув ресурслари, қор захиралари, иқлим ўзгариши, дарёлар сув миқдори, сув таъминоти, мослашув.

DYNAMICS OF WATER RESOURCES CONSIDERING THE INFLUENCE OF LONG-TERM SNOW RESERVES IN CENTRAL ASIA

A.T.Salokhiddinov – DSc, professor, A.G.Savitskiy¹ – PhD, senior researcher,
 С.Siderius^{2,3} – PhD, researcher,
 O.A.Ashirova⁴ – PhD, researcher,
 P.A.Khakimova – PhD, researcher, J.Mirzokobilov – PhD student, E.Abdumajidov¹ – PhD student,
¹“ТИИИМСХ” National Research University,
²Wageningen University & Research (Wageningen, the Netherlands),
³Uncharted Waters (Sydney, Australia),
⁴Research Institute of Environment and Environmental Protection Technologies

Abstract

The goal of this study is to examine changes in water resources in Central Asia. This article presents the results of analyses of research conducted by renowned climatologists and hydrologists, as well as the authors of this article. The paper presents findings on the assessment of water resource availability and changing snow reserves in Central Asia. The research and analysis

results presented in the article will serve as a valuable additional foundation for developing effective adaptation measures in the context of an arid, changing climate and the region's natural, demographic, and economic realities.

Key words: water resources, snow reserves, climate change, river water content, water availability, adaptation.

Введение. Водные ресурсы Центральной Азии формируются в горных массивах: Памир, Тянь-Шань и Гиндукуш. Вода от таяния летом снега и ледников на больших высотах превращается в речной сток в вегетационный период, что позволяет вести орошаемое земледелие в засушливом климате. Летний пиковый сток также используется для пополнения запасов воды в водохранилищах для выработки энергии в зимний период. Речной сток в вегетационный период определяется в основном накоплением снега зимой на больших высотах. Изменчивый температурный режим вегетационного периода определяет динамику стока рек. В результате, водное обеспечение бассейна Аральского моря сильно варьируется из года в год в зависимости от температур и накопления зимних осадков в горных районах [1]. Изменения в снежном покрове существенно влияют на запасы воды, поскольку уменьшение массы снега приводит к сокращению общего объема запасов воды в регионе высокогорной части Центральной Азии. Как отмечено в исследовании, проведенном с 2002 по 2015 год [2] особенное значение имеют изменения в снежном покрове в зимний и весенний периоды.

Изменение климата стало серьезной проблемой для устойчивости в водном обеспечении региона Центральной Азии. Это проблема вызвала серьезные и негативные последствия для многих секторов экономики Центральной Азии, зависящих от водных ресурсов [3,4,5,6]. Засушливый климат региона и сильная зависимость от водных ресурсов сельского хозяйства, производства энергии и бытовых нужд делают регион особенно уязвимым к климатическим воздействиям [7,8,9]. Недавние исследования указывают на ускорение таяния ледников в горах Центральной Азии [7,10], что создает возрастающие риски для водной безопасности, производства энергии и сельского хозяйства. В краткосрочной перспективе деградация ледников может увеличить количество воды в реках. Но прогнозы предполагают, что продолжающееся сокращение ледников приведет в будущем к долгосрочному дефициту воды по мере уменьшения запасов льда [11]. Кроме того, ожидается, что изменение характера выпадения осадков в горных районах увеличит риск засухи, наводнений, оползней и выхода из берегов ледниковых озер, угрожая местным сообществам и инфраструктуре [7,12]. Узбекистан, самая густонаселенная страна Центральной Азии с населением около 37 миллионов человек, сталкивается с острыми проблемами, связанными с доступностью, и качеством воды. Континентальный климат страны, характеризующийся жарким, засушливым летом и холодной зимой, требует интенсивного орошения для выращивания сельскохозяйственных культур.

Узбекистан в первую очередь зависит от рек Амударья и Сырдарья, которые берут свое начало в соседних странах. Этот трансграничный характер водных ресурсов значительно усложняет перераспределение водных ресурсов в течение года. Управление водохранилищами гидроэлектростанций в верховьях рек в Кыргызстане и Таджикистане напрямую влияет на доступность воды в низовьях рек [14]. Это иногда значительно сокращает сток в низовьях рек в критические сельскохозяйственные периоды [16]. Случаи неэффективного использования

воды в Узбекистане, особенно с помощью устаревших ирригационных систем, усиливают нагрузку, вызванную деятельностью в верховьях рек [17]. Несмотря на многочисленные исследования по изменению водообеспеченности и климата Центральной Азии, всесторонний анализ, включающий динамику водных ресурсов и запасов снега, все еще остается недостаточным. Большинство исследований фокусируются либо на анализе исторических данных для ряда отдельных тематических объектов, либо полагаются на региональную имитационную модель, откалиброванную и проверенную на основе глобальных наборов данных об осадках и стоках, которые ограниченно представлены в Центральной Азии. Этот пробел в знаниях приводит к ограниченному пониманию динамики изменений водных ресурсов и запасов снега в специфических условиях региона, где каждая река уникальна по-своему. Это, в свою очередь, препятствует разработке точных прогнозных моделей для прогнозирования изменений в водообеспеченности в целях улучшения управления водными ресурсами. Настоящее исследование направлено на частичное устранение вышеописанных ограничений путем систематического анализа воздействия изменения климата и других факторов на водные ресурсы Узбекистана. Исследование охватывает бассейны рек: Чирчик, Нарын, Карадарья, Зерафшан, Кашкадарья, Сурхандарья, Вахш и Пяндж.

В данном исследовании используется комплексный и единообразный подход к анализу изменения водных ресурсов и запасов снега, объединяющий множество источников данных и аналитических методов для получения подробного представления.

Результаты исследований. По всей территории Центральной Азии наблюдается рост температур воздуха. Этот факт фиксируется многочисленными исследователями [7,8,9]. Существуют и оценки такого роста. В среднем по всей территории Узбекистана и на основании данных за 70 лет наблюдений по 40 метеостанциям была определена скорость потепления за год, и она составляет в вегетационный 0.0287°C и 0.0316°C в не вегетационный периоды года. Зимы становятся теплее, и происходит это быстрее, чем более жарким становится летний период. Каждый градус увеличения температуры воздуха увеличивает потери на испарение на 4% [18]. В районе с острым дефицитом воды это весьма заметная и постоянно увеличивающаяся статья непроизводительных потерь.

За последние 70 лет осадки в Центральной Азии в среднем изменялись слабо. Иногда на некоторых постах наблюдается слабый рост количества осадков, а иногда и слабое уменьшение их количества. Но главной особенностью осадков является их чрезвычайная изменчивость. Существуют года, когда наблюдается огромное количество осадков, и встречаются сухие года, в которых осадков выпадает весьма мало. Более того, обильные осадки в одном речном бассейне совсем не означают, что другом речном бассейне также будут идти дожди или выпадать снег. Сток образующие осадки очень изменчивы по интенсивности, величине, времени года по географическому месту. Наглядный пример – это 1969 год. Среднегодовой расход воды реки Чаткал в 1969 году достиг величины 261.80 м³/с при среднем годовом расходе 128.23 м³/с.

Пскем увеличил свою водность в 1969 году со среднегодового расхода в $79.5 \text{ м}^3/\text{с}$ до $143 \text{ м}^3/\text{с}$. В то же время на реке Зеравшан расходы воды были на среднемноголетнем уровне. Противоположным примером является 2025 год. Осадков выпало перед вегетацией 2025 года исключительно мало. Это было серьезное испытание для всего региона Центральной Азии. Но в течение года расходы в реках Центральной Азии все равно были более стабильны, чем осадки. Эта стабильность достигалась наличием и таянием многолетних запасов снега высоко в горах. Жаркое лето привело к таянию многолетних снежных запасов. Водный дефицит, хотя и наблюдался, но он не был катастрофическим. Возможности деградирующего снежного покрова поддерживать сток рек в Центральной Азии уменьшаются с каждым годом. 2025 год стал годом, ког-

дамнолетние снега заметно уменьшились, а в ряде бассейнов совсем исчезли. 2025 год может рассматриваться, как тестовый год по способности многолетних снегов поддерживать сток рек в Центральной Азии.

В статье рассмотрена ситуация на крупных реках в Центральной Азии.

Чирчик. Сток реки Чирчик полностью определяется водным режимом водохранилища Чарвак. На рисунке 1 отображена динамика изменения годового стока воды всех рек, впадающих в Чарвакское водохранилище. Тренд в виде полинома второй степени показывает смену тенденции в изменении притока примерно 2005 году. То есть способность многолетних снегов поддерживать и даже увеличивать приток воды в Чарвакское водохранилище фактически прекратилась.

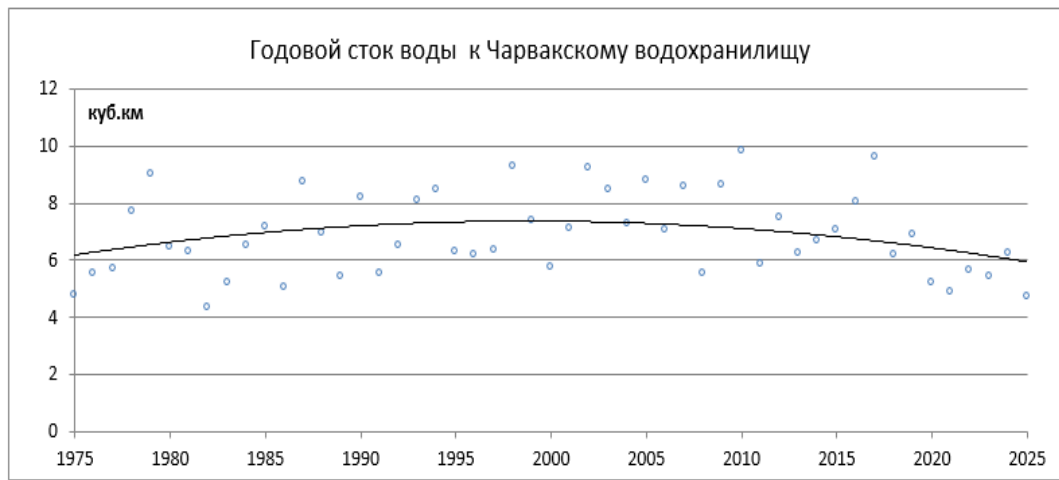


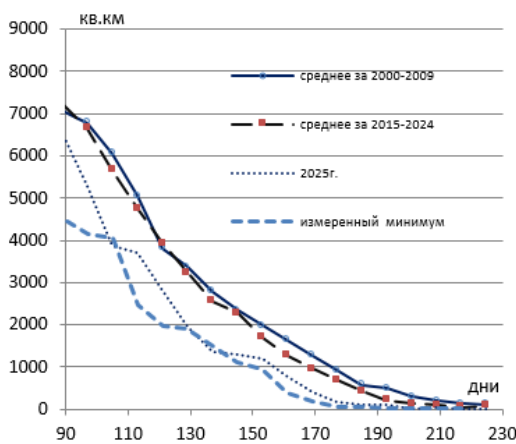
Рис. 1. Годовой приток воды в Чарвакское водохранилище.

Рассмотрим данные, полученные с Евро спутника MODIS в изменении снежного покрова в бассейнах рек Чаткал и Пскем (главные реки впадающие в вдхр.Чарвак) в период вегетации (90–180 дней года) (рис.2). Отметим, что постоянного снежного покрова в бассейнах рек Чаткал и Пскем практически нет. До 2010 года многолетние снега еще были, после 2020 года их уже нет. Если кривая снежного покрова, в какой то период вегетации, стала горизонтальной, то таять в горах больше нечему.

Малая река Коксу потеряла многолетние снега до 2000 года. Затем потерял многолетние снега Чаткал, и после крайне засушливого 2025 года, многолетние снега практически закончились в бассейне реки Пскем.

Возможно, если будет серия лет с обильными осадками, что-то из снежного покрытия и восстановиться, но статус многолетних и переходящих из года в год запасов снега в бассейне реки Чирчик уже потерян.

Изменение площадей снежного покрова в бассейне реки Чаткал



Изменение площадей снежного покрова в бассейне реки Пскем

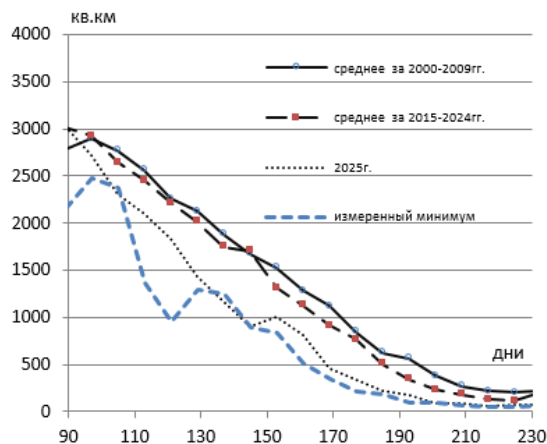


Рис. 2. Изменения снежного покрова в теплое время года в бассейнах рек Чаткал и Пскем (Здесь и далее, голубой пунктир – наблюдаемый, когда либо, минимум в площадях снежных полей до 2025 г.)

Из рисунка 2 видно, что поддержка стока рек Чаткал и Пскем со стороны тающего снега в засушливые годы кончается примерно на 180 день. Затем сток рек Чаткала, Пскема и тем более Коксу происходит за счет выклинивания подземных вод и крайне неравномерных во времени осадков. Вдхр. Чарвак имеет важнейшее стратегическое значение. Это основной источник питьевой воды для столицы Узбекистана. И это значение будет только возрастать в связи с растущим населением города и

уменьшением притока в вдхр. Чарвак.

Нарын и Карадарья. Если до 2000 года наблюдался рост водности реки Нарын, то начиная с 2000 года роста водности р. Нарын уже нет. (рис.3).

Вероятнее всего, возможность поддержки стока реки таянием многолетних снегов и ледников закончилась. До 2000 года такой рост водности наблюдался и вызывал это оптимизм водников. Рост водности реки Нарын в период 2010–2025 года уже не наблюдается.

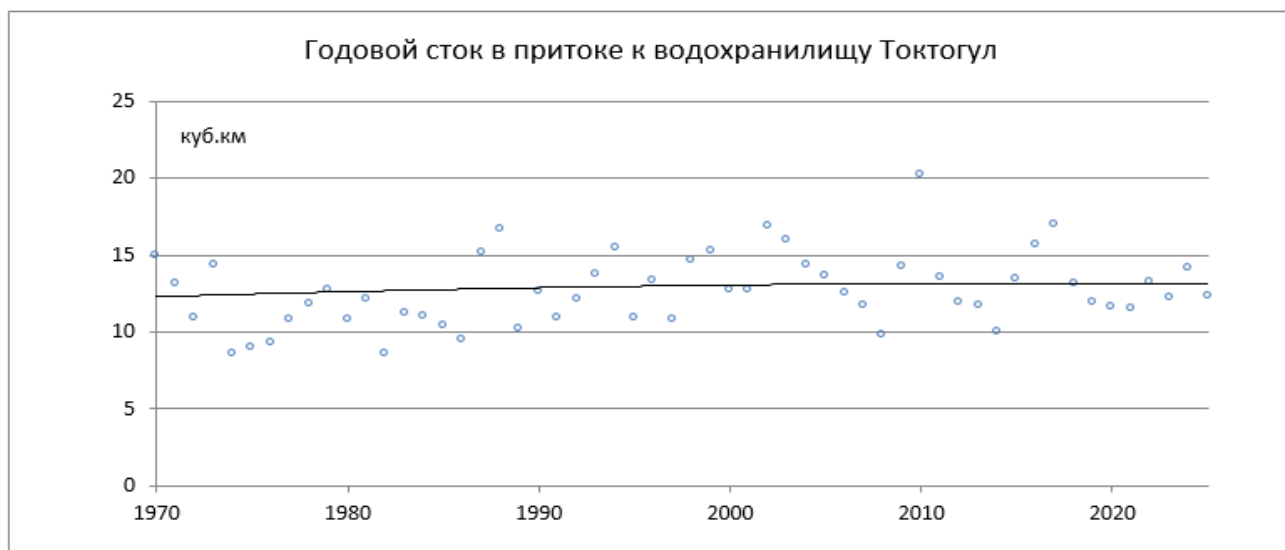


Рис. 3. Годовой приток воды в водохранилище Токтогул (река Нарын)

На рисунке 4 наблюдаются тенденция к уменьшению притока воды к вдхр. Андижан. Заметим, что в Ферганской долине отмечается относительная стабильность в количестве выпадающих осадков [18].

На рисунках 5 и 6 показан процесс уменьшения площади снежного покрова в бассейнах р. Нарын и Карадарья в вегетационный период. В бассейне реки Нарын осталось всего 1600 км² снежного покрова на середину вегетации (180 день).

В бассейне реки Карадарья 440 км². Поддержка стока реки Нарын таянием деградирующих многолетних полей вследствие повышения летних температур очень скоро прекратиться.

Процессы, отраженные на рисунках 3 и 5, 4 и 6, оказываются связанными и подтверждают друг друга. В середине вегетационного периода (180 день от начала года) тающего снега в горах в бассейне Карадарья нет, а бассейне Нарына снега почти нет.

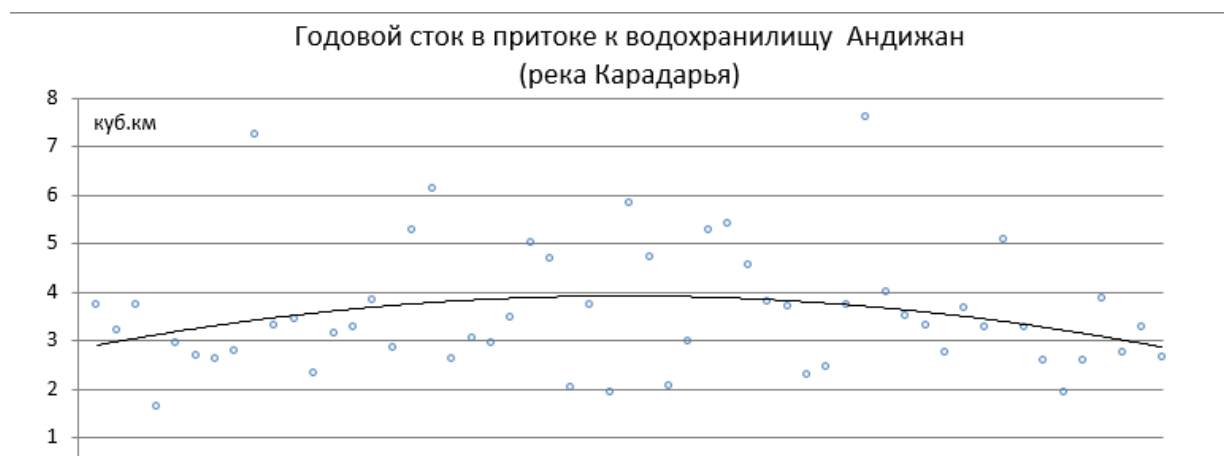


Рис. 4. Годовой сток воды по реке Карадарья в зоне притока к вдхр. Андижан, (п. Кампырват, до заполнения чаши водохранилища)

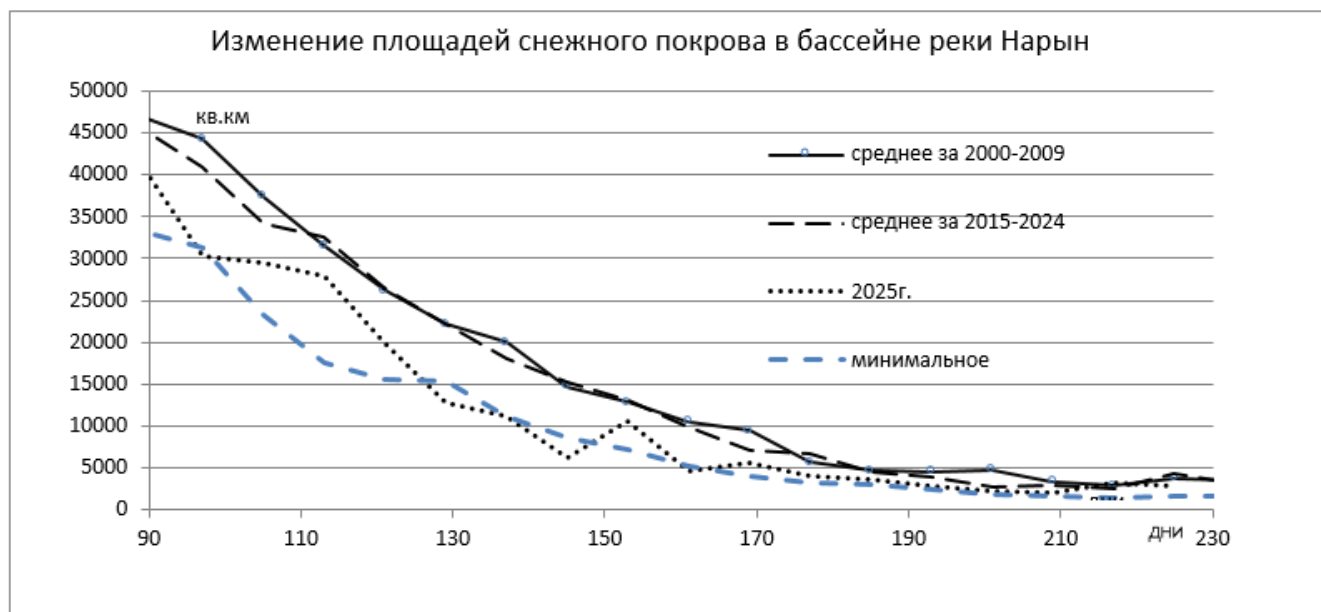


Рис. 5. Изменения снежного покрова в теплое время года в бассейне реки Нарын

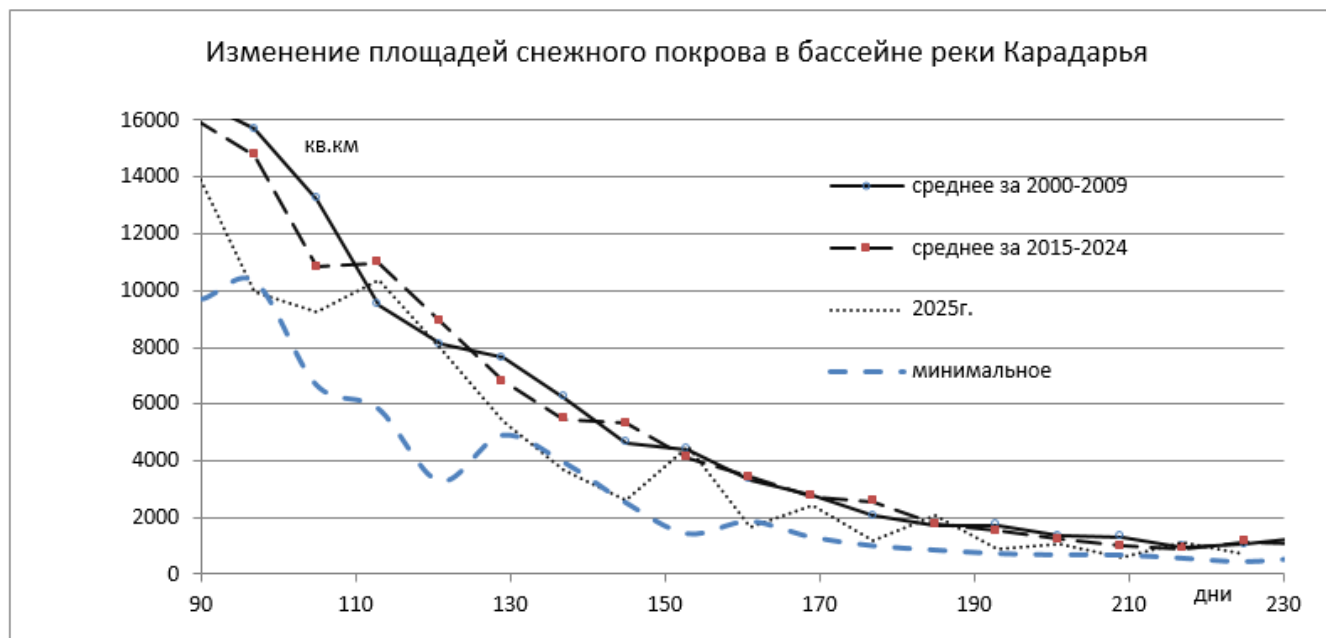


Рис. 6. Изменения снежного покрова в теплое время года в бассейне реки Карадарья

Зеравшан. В бассейне реки Зеравшан еще есть значительные запасы многолетних снегов. Годовой сток реки Зеравшан имеет тенденцию к увеличению. (рис.7).
Суммарное количество годовых осадков достаточно

стабильно. Из рисунка 8 видно, что уменьшение площади снежного покрова происходит и после завершения вегетационного периода.

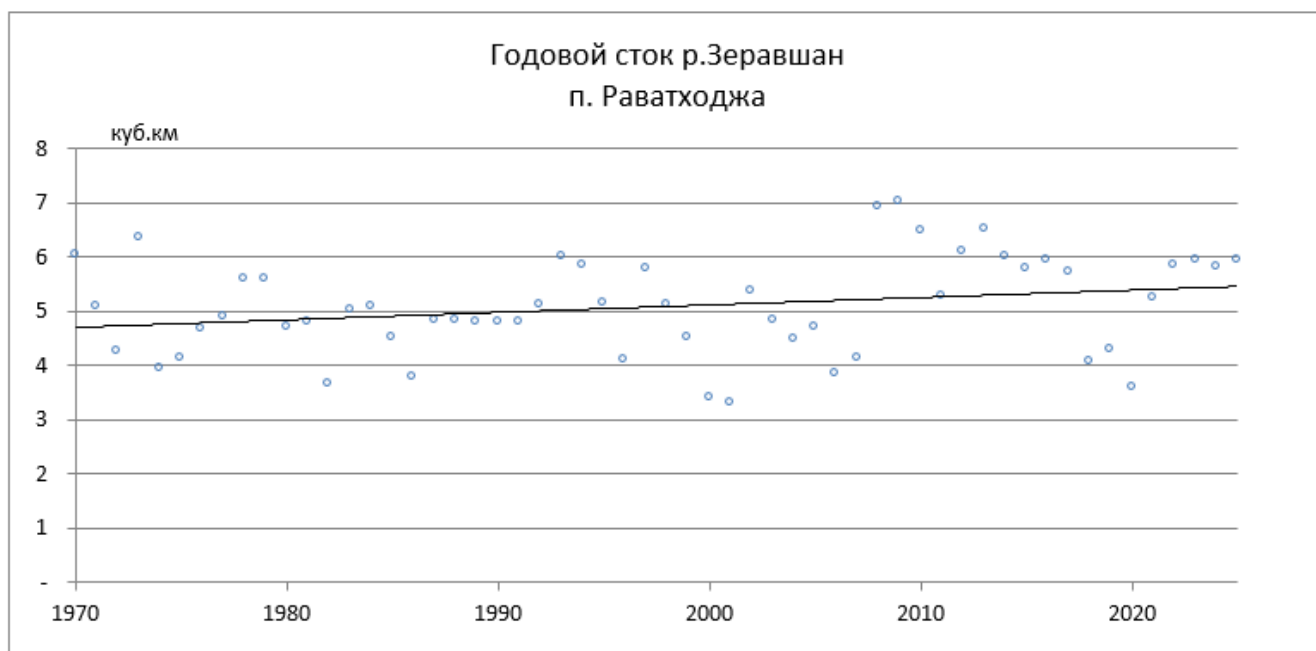


Рис. 7. Годовой сток реки Зеравшан, п. Раватходжа. Частично восстановлен по п. Дупули с учетом р. Магиандарья

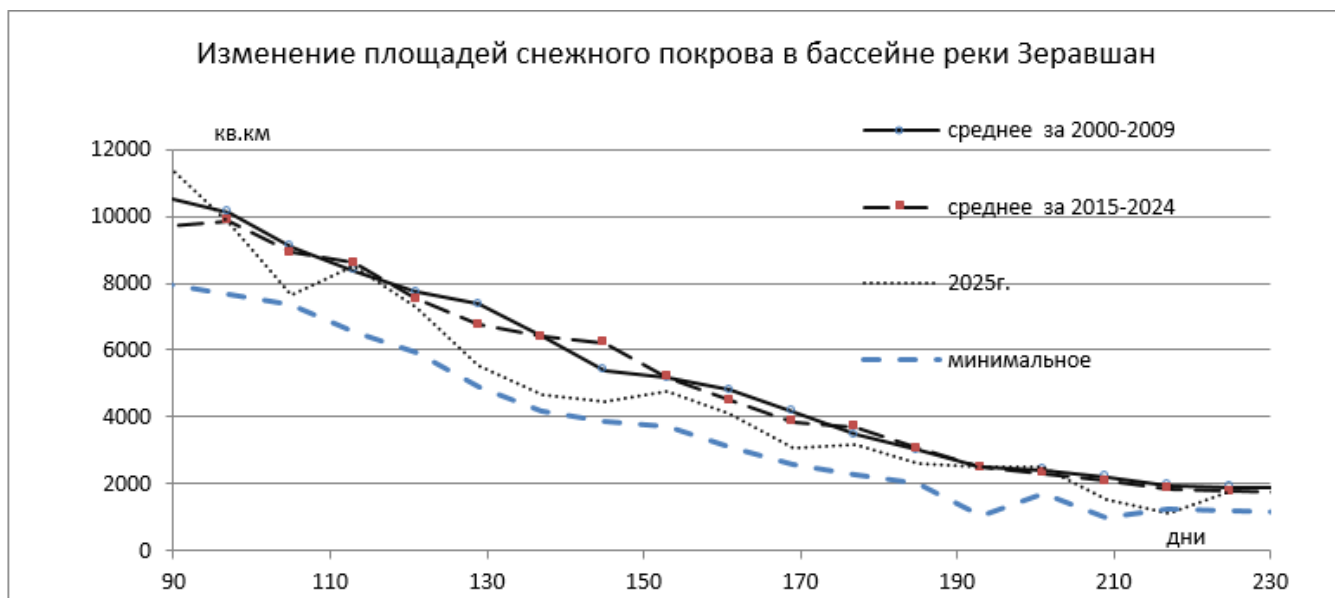


Рис. 8. Изменения снежного покрова в теплое время года в бассейне р. Зеравшан.

Кашкадарья и Сурхандарья. Водный кризис развивается на реках Кашкадарья и Сурхандарья. На этих реках наблюдается устойчивая тенденция к уменьшению годового стока. (рис.9). Снежный покров полностью исчезает к середине вегетации в обоих бассейнах рек Кашкадарья и Сурхандарья. (рис.10). Водная ситуация в бас

сейнах рек Кашкадарья и Сурхандарья в течение вегетационного периода изменчива и зависит от количества осадков. Необходимы неотложные меры по сглаживанию внезапно возникающих дефицитов воды и больших дождевых паводков, так как обе реки фактически перешли к дождевому питанию.

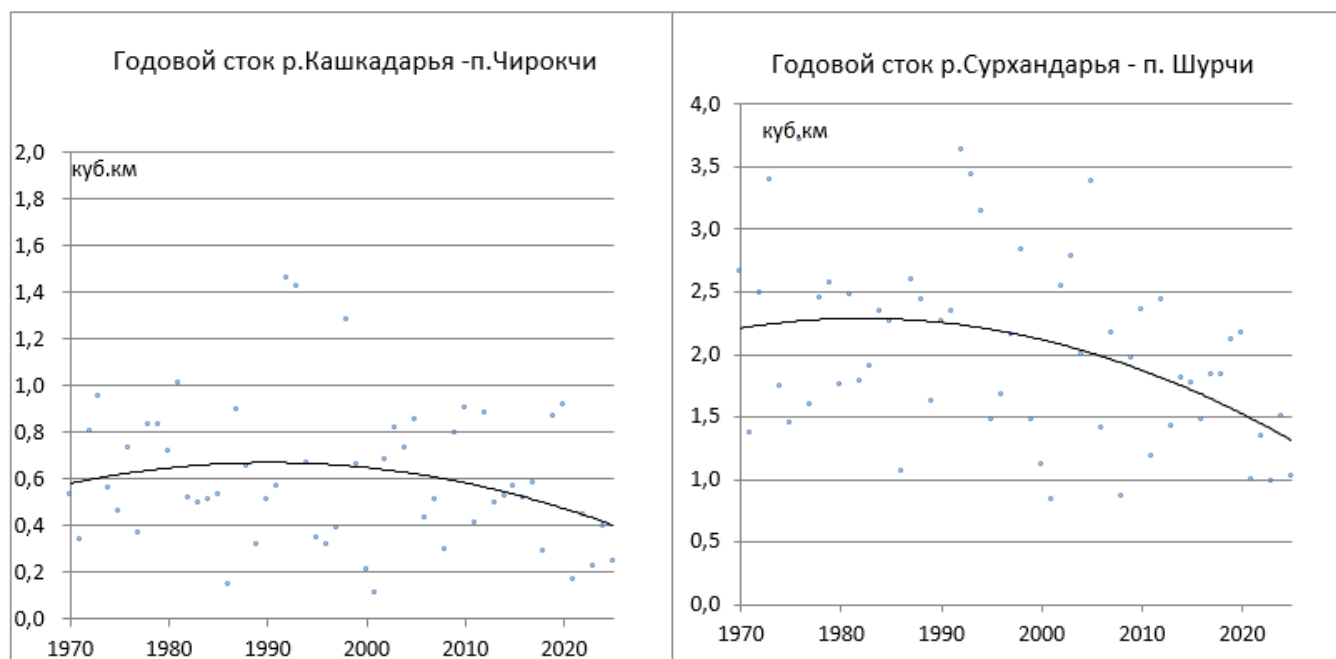


Рис. 9. Годовой сток р. Кашкадарья и р. Сурхандарья

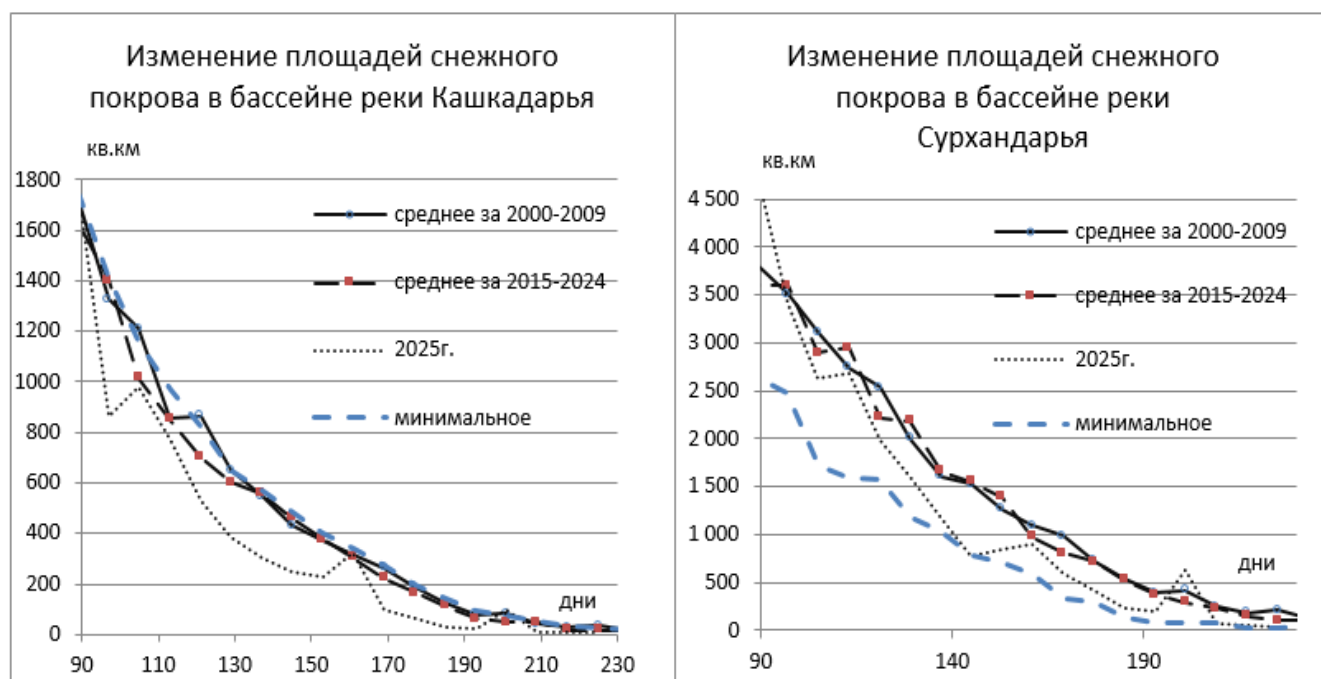


Рис. 10. Уменьшение площади снежных полей в вегетационный период в бассейнах рек Кашкадарья и Сурхандарья

Вахш. Начиная примерно с 2010 года, годовой сток реки Вахш перестал увеличиваться и, вероятнее всего, в

настоящее время происходит смена роста водности реки на уменьшение водности реки Вахш. (рис.11).



Рис. 11. Годовой сток р. Вахи. Створ в зоне притока к вдхр. Нурек

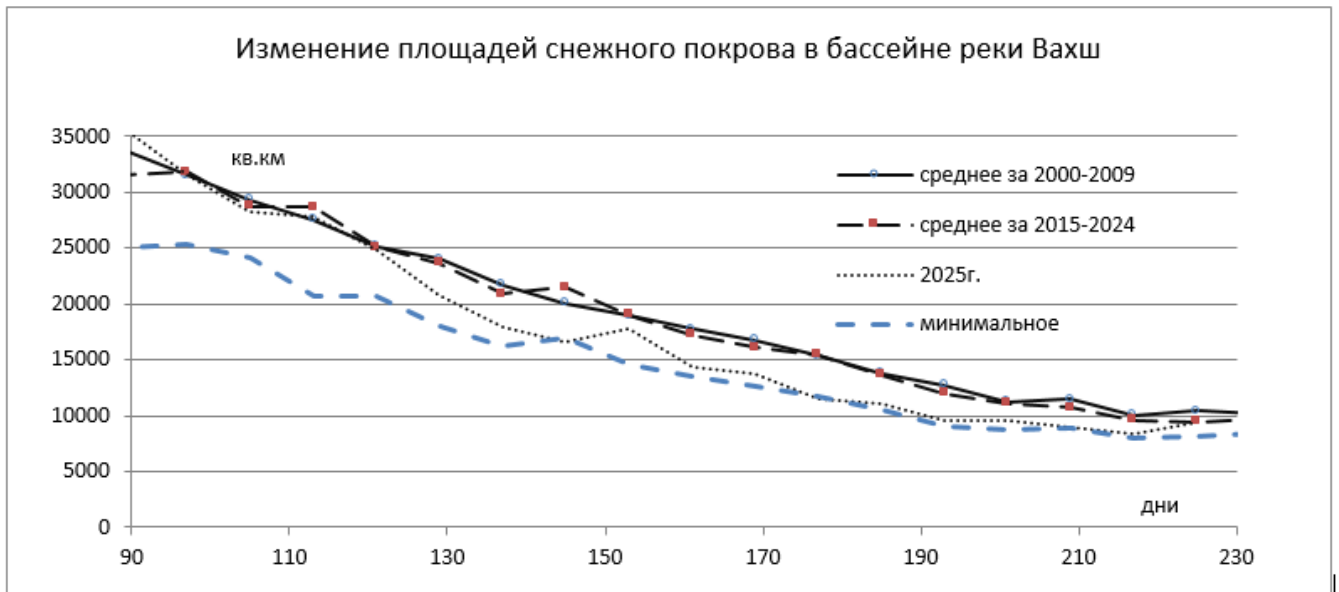


Рис. 12. Уменьшение площади снежных полей в вегетационный период в бассейне реки Вахи (выше створа притока к вдхр. Нурек).

Пяндж. Водность реки Пяндж в настоящее время достаточно стабильна. (рис.13).

Осредненные значения площадей снежных полей и ледников почти совпадают на 240 день года для периодов осреднения 2000–2009 и 2015–2024 гг. (рис.14). Это означает, что ситуация на реке Амударья в зоне формирования стока почти стабильна. Водность реки Пяндж в створе Нижний Пяндж восстановлена по корреляционным связям в реальных замерах на реках бассейна реки Пяндж и Вахш.

Выводы.

1. Установлено, что рост водности рек Центральной Азии за счет деградации многолетних снегов и ледников, подходит к концу, а на отдельных водотоках уже закончился. Реки переходят на снегодождевое питание с возрастающим преобладанием дождевого питания. Степень изменчивости водности рек в течение года и между годами возрастает. Количество воды в реках уменьшается на 4% в ответ на рост температур воздуха на 1 градус из-за изменений климата.



Рис. 13. Годовой сток р. Пяндж. Створ - Нижний Пяндж

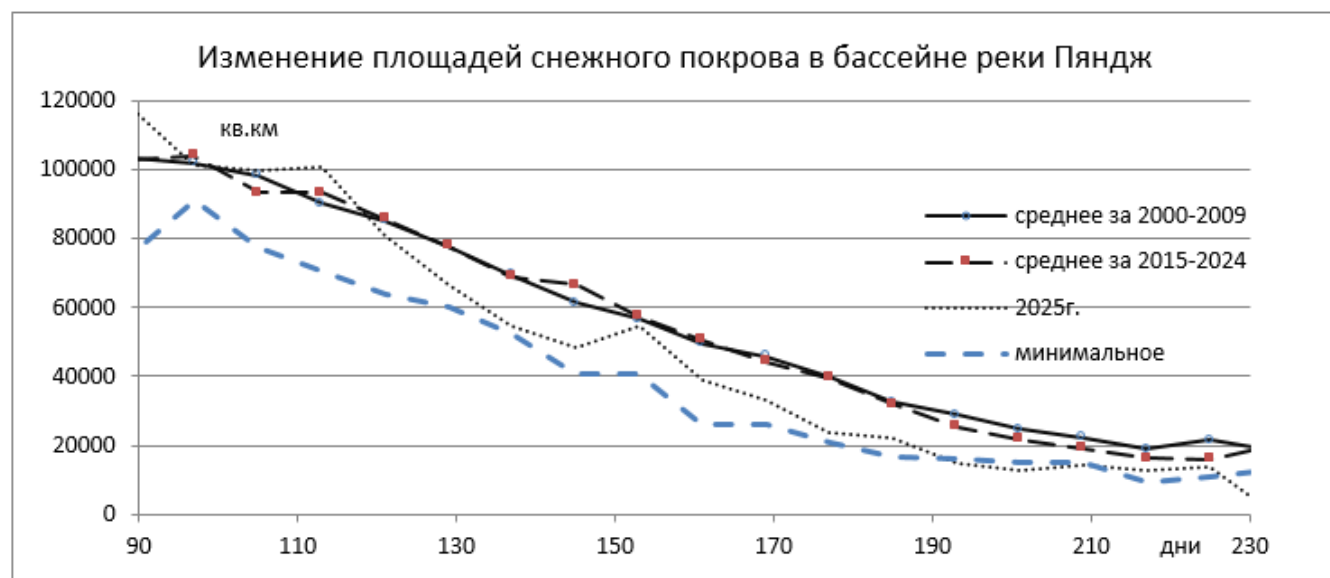


Рис. 14. Уменьшение площадей снеговых полей и ледников в вегетационный период в бассейне реки Пяндж

2. Необходимо ускоренно строить малые водохранилища на небольших водотоках с полным обоснованием экономической эффективности и целесообразности.

3. Необходимо усилить контроль и учет за распределением использованием водных ресурсов и иметь системы расчета ретроспективного и текущего водного баланса как можно по большему количеству рек.

4. Необходимо внедрять водосберегающие техноло-

гии на всех направлениях водопользования с обоснованием экономической эффективности и с учетом поступления солей с ирригационной водой. Без должного и обоснованного режима промывки полей для избавления от солей, накопленных при использовании водосберегающих технологий, можно подвергнуть поверхностные слои ирригационных земель засолению и вывести их из сельскохозяйственного производства.

Список использованной литературы

- [1] H. Apel, B. Gouweleeuw, A. Gafurov, and A. Güntner, "Forecast of seasonal water availability in Central Asia with near-real time GRACE water storage anomalies," *Environ. Res. Commun.*, vol. 1, no. 3, p. 031006, Apr. 2019, doi: 10.1088/2515-7620/ab1681.
- [2] C. Notarnicola, "Observing Snow Cover and Water Resource Changes in the High Mountain Asia Region in Comparison with Global Mountain Trends over 2000–2018," *Remote Sens.*, vol. 12, no. 23, p. 3913, Nov. 2020, doi: 10.3390/rs12233913.
- [3] S. K. Alamanov, V. M. Lelevkin, O. A. Podrezov, and A. O. Podrezov, "Climate changes and water problems in Central Asia," U. N. Environ. Program UNEP World Wildl. Fund WWF Mosc.-Bishkek Russ., 2006.
- [4] S. Ibatullin, V. Yasinskiy, and A. Mironenkov, "The impact of climate change on water resources in Central Asia," *Eurasian Dev. Bank Sect. Rep.*, no. 6, 2009.
- [5] K. Sh, "Historical geography of Southern Sughd and Tokharistan according to Arabic sources of 9th-early 13th centuries/Shamsiddin Kamoliddinov," Tashkent 1996-360 P, 1996.
- [6] Z. V. Kobuliev, *Monitoring of the state of glaciers of Tajikistan considering climate change*. Dushanbe: Academy of Sciences of the Republic of Tajikistan, 2017. [Online]. Available: www.unece.org/fileadmin/DAM/hlm/projects/UNDA-9th_tranche/Documents/Tajikistan/2017_May/03_Kobuliyev.pdf
- [7] "Данные Узгидромета по температурному режиму Узбекистана за 2020-2024 гг.," Центр гидрометеорологической службы, Ташкент, 2024.
- [8] F. Li et al., "Forecasting Next Year's Global Land Water Storage Using GRACE Data," *Geophys. Res. Lett.*, vol. 51, no. 17, p. e2024GL109101, Sep. 2024, doi: 10.1029/2024GL109101.
- [9] S. Wu, B. Bates, A. W. Zbigniew Kundzewicz, and J. Palutikof, "Climate change and water," *Tech. Pap. Intergov. Panel Clim. Change*, pp. 20–58, 2008.
- [10] The GlaMBIE Team et al., "Community estimate of global glacier mass changes from 2000 to 2023," *Nature*, vol. 639, no. 8054, pp. 382–388, Mar. 2025, doi: 10.1038/s41586-024-08545-z.
- [11] R. Vakulchuk, A. S. Daloz, I. Overland, H. F. Sagbakken, and K. Standal, "A void in Central Asia research: climate change," *Cent. Asian Surv.*, vol. 42, no. 1, pp. 1–20, Jan. 2023, doi: 10.1080/02634937.2022.2059447.
- [12] X. Wang, Y. Chen, G. Fang, Z. Li, and Y. Liu, "The growing water crisis in Central Asia and the driving forces behind it," *J. Clean. Prod.*, vol. 378, p. 134574, Dec. 2022, doi: 10.1016/j.jclepro.2022.134574.
- [13] "Изменение климата и сохранение природного потенциала," presented at the Международная конференция "Навстречу 6-му Всемирному Водному Форуму – совместные действия в направлении водной безопасности," Ташкент, 2011, p. 21стр. [Online]. Available: https://cawater-info.net/6wwf/conference_tashkent2011/files/7-climate_rus.pdf
- [14] A.-S. Gofurov, Z. Juraev, and Y.-J. Ahn, "Regional Water Crisis: A Case Study of Uzbekistan and its Neighboring Countries," 2023.
- [15] A. Salokhiddinov, R. Boirov, M. Ismailov, S. Mamatov, P. Khakimova, and M. Rakhmatullaeva, "Climate change effects on irrigated agriculture: perspectives from agricultural producers in eastern Uzbekistan," in *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, IOP Publishing, 2020, p. 012058.
- [16] K. Mehta, M. Ehrenwirth, C. Trinkl, W. Zörner, and R. Greenough, "The Energy Situation in Central Asia: A Comprehensive Energy Review Focusing on Rural Areas," *Energies*, vol. 14, no. 10, p. 2805, May 2021, doi: 10.3390/en14102805.
- [17] A. Hamidov, M. Khamidov, and J. Ishchanov, "Impact of Climate Change on Groundwater Management in the Northwestern Part of Uzbekistan," *Agronomy*, vol. 10, no. 8, p. 1173, Aug. 2020, doi: 10.3390/agronomy10081173.
- [18] A. Салохиддинов, Б. Нишанов, Н. Рахматова, А. Савицкий, Р. Таряникова, and С. Сидериус, "Изменения в водности рек Узбекистана в связи с изменениями климата," *Экологический Вестник*, no. №5, pp. 17-24стр., 2021.