РАЦИОНАЛЬНОЕ УПРАВЛЕНИЕ ВОДНЫМИ РЕСУРСАМИ УЗБЕКИСТАНА В УСЛОВИЯХ КЛИМАТИЧЕСКИХ ИЗМЕНЕНИЙ И РОСТА ДЕФИЦИТА ВОДЫ: ПРОБЛЕМЫ И ИННОВАЦИОННЫЕ РЕШЕНИЯ

Н.Р. Авезова
Ферганский государственный технический университет
У.Р. Саломов
Ферганский государственный технический университет
А.Й. Рахмонов
Ферганский государственный технический университет
E-mail: arakhmonov111@gmail.com.

Аннотация. В условиях ускоряющегося изменения климата и роста водного дефицита в Республике Узбекистан существенно осложняется обеспечение устойчивого водоснабжения. В данной статье проанализированы тенденции климата (динамика осадков, уменьшение водообеспеченности на душу населения) и структура использования водных ресурсов по секторам экономики. Установлено, что сельское хозяйство потребляет до 90% воды, сопровождаясь значительными потерями из-за изношенной инфраструктуры и неэффективных методов орошения. Выявлены риски усугубления дефицита воды к 2040–2050 гг. вследствие повышения температуры, снижения речного стока и реализации крупных гидротехнических проектов в бассейне Амударьи. Обсуждаются инновационные меры адаптации и рационального водопользования: модернизация ирригационных систем, внедрение водосберегающих технологий, опреснение солоноватых вод с использованием солнечной энергии, сбор дождевых вод и повторное использование очищенных сточных вод. Предложены стратегические рекомендации по комплексному управлению водными ресурсами, включая технологические, институциональные и экологические решения для обеспечения водной безопасности и устойчивого развития Узбекистана в условиях изменяющегося климата.

Ключевые слова: водные ресурсы; изменение климата; дефицит воды; Узбекистан; рациональное водопользование; солнечное опреснение; адаптация.

Abstract. Amid accelerating climate change and increasing water scarcity, ensuring sustainable water supply in the Republic of Uzbekistan has become significantly more challenging. This article analyzes climate trends (such as precipitation dynamics and the decline in per capita water availability) and the structure of water resource usage across economic sectors. It has been established

ISSN 3030-3907

that agriculture consumes up to 90% of the water, accompanied by substantial losses due to aging infrastructure and inefficient irrigation methods. Risks of worsening water shortages by 2040–2050 have been identified, resulting from rising temperatures, reduced river runoff, and the implementation of large hydraulic projects in the Amu Darya basin. The article discusses innovative adaptation and rational water use measures, including the modernization of irrigation systems, implementation of water-saving technologies, desalination of brackish water using solar energy, rainwater harvesting, and the reuse of treated wastewater. Strategic recommendations are proposed for integrated water resource management, encompassing technological, institutional, and environmental solutions to ensure water security and sustainable development in Uzbekistan under changing climatic conditions.

Keywords: water resources; climate change; water scarcity; Uzbekistan; rational water use; solar desalination; adaptation.

Annotatsiya Iqlim o‘zgarishlarining jadallashuvi va suv tanqisligining ortib borayotgan sharoitida O‘zbekiston Respublikasida barqaror suv ta’minotini ta’minlash jiddiy murakkabliklarga duch kelmoqda. Ushbu maqolada iqlim tendensiyalari (yog‘ingarchilik dinamikasi va aholi jon boshiga to‘g‘ri keladigan suv resurslarining kamayishi) hamda iqtisodiyot tarmoqlari bo‘yicha suv resurslaridan foydalanish tuzilmasi tahlil qilingan. Tadqiqot natijalariga ko‘ra, qishloq xo‘jaligi sohasida suv iste’moli 90% gacha yetadi va bu ko‘p hollarda eskirgan infratuzilma hamda samarasiz sug‘orish usullari tufayli katta yo‘qotishlar bilan kechadi. 2040–2050 yillarga borib, haroratning oshishi, daryolarning suv oqimi kamayishi hamda Amudaryo havzasida yirik gidrotexnik loyihalarning amalga oshirilishi tufayli suv tanqisligi yanada kuchayishi xavfi mavjudligi aniqlangan. Maqolada moslashuv va oqilona suvdan foydalanishga oid innovatsion choralar muhokama qilinadi, jumladan: sug‘orish tizimlarini modernizatsiya qilish, suvni tejovchi texnologiyalarni joriy etish, sho‘r suvlarni quyosh energiyasi asosida tozalash, yomg‘ir suvlarini yig‘ish va tozalangan oqova suvlarni qayta ishlatish. O‘zbekistonning iqlim o‘zgarishi sharoitida suv xavfsizligi va barqaror rivojlanishini ta’minlash maqsadida texnologik, institutsional va ekologik choralarni o‘z ichiga olgan kompleks suv resurslarini boshqarish bo‘yicha strategik tavsiyalar berilgan.

Kalit so‘zlar: suv resurslari; iqlim o‘zgarishi; suv tanqisligi; O‘zbekiston; oqilona suvdan foydalanish; quyosh yordamida sho‘r suvni tozalash; moslashuv.

Введение

Изменение климата и рост водопотребления ставят перед Узбекистаном острую проблему обеспечения водой. Глобальное потепление

ISSN 3030-3907

уже приводит к смещению режима осадков и таянию ледников, что вызывает чередование катастрофических наводнений и экстремальных засух. В аридных регионах Центральной Азии эти процессы усугубляют существующий дефицит водных ресурсов. Узбекистан – государство с полузасушливым климатом, не имеющее выхода к морю и крайне зависимое от трансграничных рек Амударьи и Сырдарьи. Ежегодное водопотребление страны составляет около 51 млрд м³, при этом более 78% этого объёма поступает из соседних стран по течению рек. Внутреннее стокообразование ограничено (только ~10–20% ресурсов формируется на территории страны), что повышает уязвимость к внешним факторам.

Актуальность исследования определяется тем, что изменение климата уже снижает доступность воды: за последние ~15 лет обеспеченность водой на душу населения в Узбекистане снизилась примерно вдвое (с ~3000 м³ в 2008 г. до ~1500 м³ в 2022 г.).

При сохранении текущих тенденций прогнозируется усугубление дефицита: по оценкам, к 2040 году Узбекистан войдёт в число стран с самым высоким уровнем водного стресса.

Комплексное изучение структуры водопользования, климатических трендов и технического состояния инфраструктуры необходимо для разработки стратегий адаптации и рационального распределения водных ресурсов. В связи с чем целью исследования настоящего сообщения является проанализировать текущее состояние и ключевые проблемы водного хозяйства Узбекистана в контексте изменения климата, а также обосновать научно-практические меры по рациональному управлению водой и снижению дефицита, включая инновационные технологии (например, солнечное опреснение) и адаптационные стратегии.

Методология исследования Исследование носит междисциплинарный характер и основано на статистическом анализе гидрометеорологических данных, сравнительном обзоре секторального водопользования и оценке эффективности инженерных решений. В первую очередь, проанализированы многолетние климатические ряды по осадкам с метеостанций по всей территории Узбекистана (включая данные 58 станций с 2005 по 2022 гг.). Для выявления трендов осадков применялся тест Манна-Кендалла, позволяющий статистически определить наличие значимых изменений во времени. Параллельно проведён сравнительный анализ региональных различий – рассмотрены примеры динамики осадков в разных областях (в частности, регионы Ферганской долины) для иллюстрации локальных тенденций.

ISSN 3030-3907

Структура водопользования по секторам экономики исследована на основе официальных статистических данных и отчетов международных организаций (ФАО, Всемирный банк и др.). Выделены доли использования воды в сельском хозяйстве, промышленности и коммунально-бытовом секторе, а также прослежены изменения этих показателей в историческом разрезе. Оценка технического состояния водной инфраструктуры (оросительные каналы, водопроводные сети, очистные сооружения) проведена на основе официальных отчетов и программ развития водного хозяйства Узбекистана, включая данные о степени износа инфраструктуры, удельных потерях воды и обеспеченности населения водоснабжением. Использованы сравнительные показатели с другими странами Центральной Азии и глобальными средними значениями для идентификации особенностей (например, доля населения с доступом к безопасной питьевой воде, уровень водопотерь и пр.).

В части анализа инновационных решений рассмотрены пилотные проекты и технологии, внедряемые в регионе: солнечные опреснительные установки, системы сбора дождевой воды, методы повторного использования сточных вод. Информация получена из докладов ООН (UNDP, UNICEF, FAO) и научно-технической литературы. Такой подход позволил синтезировать различные виды данных и предложить комплекс рекомендаций. Все статистические данные обработаны с использованием стандартных методов описательной статистики; результаты представлены в виде диаграмм и графиков.

Основные результаты

Структура и масштабы водопользования Анализ показывает, что экономика Узбекистана крайне водоёмка и доминирующим потребителем является сельское хозяйство. На орошение сельхозугодий приходится порядка 90% всего забора пресной воды. Доля промышленности и муниципального водоснабжения значительно меньше – совокупно около 10% (рис. 1). Для сравнения, в мире на сельское хозяйство в среднем уходит ~70% потребляемой воды, ~20% на промышленность и ~10% на коммунально-бытовые нужды (FAO, 2020). Такая диспропорция в Узбекистане свидетельствует о высокой нагрузке на водные ресурсы для удовлетворения аграрного сектора при относительно низкой эффективности. Более того, около 80% используемых водных ресурсов поступает из трансграничных рек, главным образом из Амударьи и Сырдарьи, истоки которых находятся в других странах. Это означает, что водообеспечение республики сильно

ISSN 3030-3907

зависит от водохозяйственной политики соседних государств и межгосударственных соглашений по разделению стока.

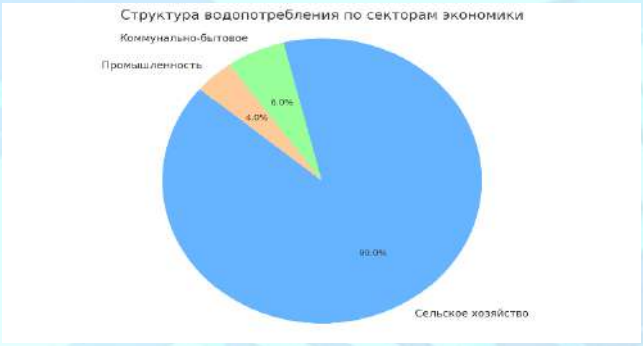


Рис. 1. Структура водопотребления по секторам экономики Узбекистана. Сельское хозяйство потребляет порядка 90% забираемой воды, промышленность – около 4%, коммунально-бытовой сектор – ~6%. Такая непропорционально высокая доля агросектора характерна для стран Центральной Азии
central.asia-news.com

При общем среднем многолетнем стоке рек, доступном Узбекистану, порядка 50–60 км³ в год значительная часть воды расходуется на поддержку интенсивного орошаемого земледелия. В настоящее время в республике орошается ~3,2 млн га земель, преимущественно под хлопок, зерновые и другие культуры. Однако эффективность такого водопользования низка – лишь около 60% подаваемой на поля воды непосредственно достигает сельхозкультур. Остальные ~40% теряются в процессе транспортировки и распределения (рис. 4). Основные причины потерь – высокая фильтрация и утечки в открытых земляных каналах, а также устаревшие методы полива (потеря воды через испарение и стекание). Только 23% протяжённости оросительных сетей имеет бетонное покрытие или трубы, остальная сеть – открытые каналы, по которым вода рассеивается в грунт. Около 70–98% орошаемых полей по-прежнему поливаются традиционным поверхностным методом, тогда как современные водосберегающие технологии (дождевание, капельное орошение) внедряются медленно. В итоге ежегодные потери воды в сельском хозяйстве оцениваются в 15–20 млрд м³, что эквивалентно почти половине забранной для агросектора воды. Это не только снижает урожайность, но и ведёт к прямым экономическим потерям: по некоторым оценкам, упущенная выгода аграриев из-за неэффективного водообеспечения достигает $4,8 млрд в год.

Доступ населения к воде и состояние инфраструктуры
Водоснабжение питьевой водой в стране также сталкивается с серьезными проблемами. По данным на 2023 год, около 71% сельского населения

ISSN 3030-3907

Узбекистана имеет доступ к безопасной питьевой воде, тогда как в городах этот показатель достигает 89%. Средняя обеспеченность по стране оценивается примерно в 80%, то есть порядка 20% жителей (примерно 7 миллионов человек) не обладают надежным доступом к чистой воде. Особенно остро проблема стоит в сельской местности отдалённых регионов. Основная причина – износ и недостаточное развитие коммунальной инфраструктуры. Как было выявлено, до 80% сетей водоснабжения и водоотведения морально и физически устарели. Неблагоприятное наследие советского периода и недостаточные инвестиции в 1990–2000-е гг. привели к тому, что значительная часть водопроводных сетей нуждается в замене. В результате перебои в подаче воды и её потери на пути к потребителю весьма распространены. Оценочно, каждое пятое сельское поселение в стране испытывает дефицит питьевой воды, а более 3,4 млн жителей (около 9% населения) вынуждены пользоваться небезопасными или привозными источниками водоснабжения. Кроме того, остро стоит вопрос очистки сточных вод. В Узбекистане эксплуатируется 140 городских и районных очистных сооружений, из которых свыше 60% не обеспечивают должной очистки из-за устаревших технологий или перегрузки. По оценкам, лишь около 32% образующихся сточных вод проходит полную биологическую очистку и обеззараживание. Остальной объем либо недостаточно очищен, либо вовсе сбрасывается в реки и каналы после первичной отстойной обработки, что усугубляет проблемы качества воды. Сети канализации также во многом изношены: требуется модернизация более 77 крупных очистных станций и свыше 8600 км канализационных коллекторов. Дефицит финансирования в этой сфере приводит к тому, что темпы модернизации отстают от роста городского населения и промышленности, увеличивая риски для санитарно-эпидемиологической обстановки

Климатические тенденции и гидрологический режим Многолетний анализ осадков на территории Узбекистана не выявил однозначного повсеместного тренда к снижению – в большинстве регионов общее годовое количество осадков остаётся в пределах исторической нормы. Однако отчетливо прослеживается возрастание межгодовой изменчивости и сдвиги по сезонам. Так, статистика показывает, что в последние 10–15 лет увеличилась контрастность между сухим летом и влажной зимой. Летние месяцы стали ещё более засушливыми, с частыми пиками высоких температур и очень низкой относительной влажностью воздуха. Зимние же периоды характеризуются большей влажностью и участившимися

ISSN 3030-3907

интенсивными осадками в виде дождя и мокрого снега. Эти изменения подтверждают влияние глобального потепления на региональный климат.
Локальные исследования в Ферганской долине выявили снижение годовых осадков после 2014 года. Например, в Андиджанской области ежегодное количество осадков в 2005–2013 гг. колебалось около 400–600 мм, с экстремально влажным 2008 годом (~1200 мм). Но начиная с 2014 г. там наблюдается устойчивое выпадение лишь 200–300 мм в год
. Похожая картина в Ферганской области: периоды обильных дождей (2008, 2010 гг. – до 1200 мм) сменились резким снижением после 2014 г. до уровня ~250–400 мм

В Наманганской области разброс осадков ещё более значительный – от максимумов ~1800 мм (2008, 2012 гг.) до минимумов ~200 мм (2014 г.)

Такая высокая вариабельность усложняет прогнозирование водности рек. На рис. 2 представлена динамика осадков в трех регионах Ферганской долины, иллюстрирующая указанные тенденции. Несмотря на отсутствие статистически значимого тренда по многолетним рядам для большинства станций, сами по себе экстремальные отклонения (засушливые годы) учащаются. Иными словами, климат становится более непредсказуемым: долгие стабильные периоды сменяются резкими флуктуациями, что требует адаптивного планирования водопользования



Рис.2. Динамика изменения годового количества осадков (мм) за период 2005–2022 гг. в трех регионах Ферганской долины (Андижан, Фергана, Наманган). График иллюстрирует экстремальные колебания: годы с аномально высокими осадками (например, 2008 г.) сменяются засушливыми периодами (с 2014 г. наблюдается устойчивое снижение осадков до 200–400 мм/год)file-nwufwgk18gjrhxva6lk6x9

Климатические различия по территории Узбекистана остаются существенными. В восточных предгорных районах (Ташкентская область,

Ферганская долина) среднегодовая сумма осадков составляет 300–500 мм, местами достигая 800–900 мм (вблизи гор). В западных и северо-западных районах (Каракалпакстан, Хорезм) климат намного более

ISSN 3030-3907

засушливый – менее 100 мм осадков в год. При этом именно в наиболее засушливых зонах проживает значительная доля сельского населения, зависящего от привозной воды или каналов. Такая географическая неоднородность усугубляет проблему: ресурсы воды распределены неравномерно, и возникновение засухи в засушливых регионах (например, низовья Амударьи) критически сказывается на жизни населения и состоянии экосистем (Аральское море и дельта рек).

Нарастающий дефицит воды. Уже сегодня Узбекистан сталкивается с регулярным дефицитом воды в маловодные годы. По данным Министерства водного хозяйства, до 2015 года совокупный ежегодный дефицит составлял порядка 3 млрд м³ в отдельные годы. Однако ожидается значительное обострение ситуации в ближайшие десятилетия. Эксперты прогнозируют, что к 2030 году нехватка воды может достигнуть ~7 млрд м³ в год, что эквивалентно четверти нынешнего водопотребления страны. Основные факторы – рост населения и экономики, требующие больше воды, при одновременном сокращении доступного стока из-за изменения климата. По оценке Всемирного института ресурсов (WRI), Узбекистан входит в список 33 стран, которым грозит экстремальный водный стресс к 2040 году. К этому времени страна может испытывать хронический дефицит воды, сопоставимый с 25–40% от текущего потребления. Прогноз на 2050 год также неутешителен: ожидаемый дефицит оценивается в 12–15 млрд м³/год . На рис. 3 представлена траектория роста дефицита водных ресурсов при отсутствии смягчающих мер. Видно, что к середине XXI века разрыв между спросом и доступными ресурсами может достичь критических величин.

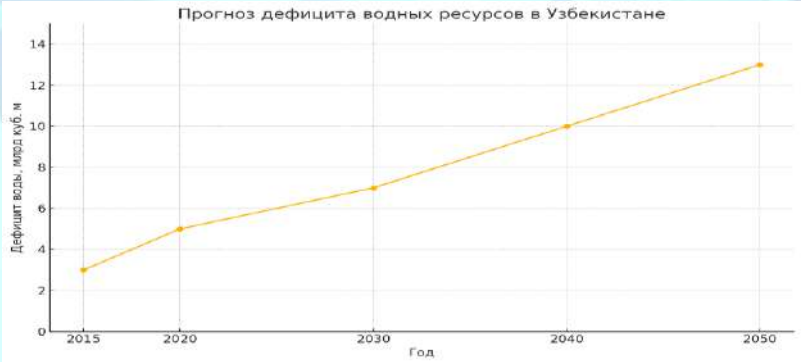


Рис. 3. Прогнозируемый дефицит водных ресурсов Узбекистана на период до 2050 года, млрд м³/год. По различным сценариям, при тенденциях роста потребления и ухудшения водообеспечения разрыв между спросом и доступным объемом воды может достичь ~7 млрд м³ к 2030 г. и ~12–15 млрд м³ к 2050 г. (расчёты на основе данных Минводхоза и WRI)central.asia-news.com, nauchniyimpuls.ru

ISSN 3030-3907

Причины надвигающегося кризиса многообразны. **Во-первых**, водоёмкость экономики остается очень высокой – даже при снижении совокупного водозабора с 64 млрд м³ в 1990-е до ~51 млрд м³ сейчас за счёт сокращения посевных площадей, Узбекистан всё ещё расходует воды больше, чем формируется в его пределах. **Во-вторых**, климатические изменения постепенно уменьшают стабильность речного стока: увеличивается доля зимнего притока (когда потребность ниже) и уменьшается весенне-летний сток, критически важный для вегетационного периода. Ожидается, что таяние ледников Тянь-Шаня и Памира вначале временно повысит сток, но затем приведёт к его резкому сокращению по мере исчерпания ледниковых запасов (к 2050–2060 гг.). **В-третьих**, демографический рост (население увеличилось с ~20 млн в 1990 г. до 36–37 млн в 2023 г.) и урбанизация ведут к увеличению потребностей в воде как для бытовых нужд, так и для промышленности и энергетики. Например, энергетический сектор планирует расширение использования солнечных электростанций, часть из которых (концентрированные и с теплоотводом) требует воды для охлаждения панелей. **Наконец, в-четвёртых**, растёт риск внешних факторов: в частности, реализация Афганистаном проекта канала Кош-Тепа, способного отбирать до 10 км³ воды из Амударьи ежегодно, что эквивалентно ~15–20% среднегодового стока реки. Запуск этого канала (предварительно намечен на 2028 г.) может существенно снизить приток воды в низовья Амударьи, затрагивая как Узбекистан, так и Туркменистан. По оценкам Евразийского банка развития, совокупное влияние изменения климата, маловодных циклов и отборов воды в Афганистане уже к 2028 г. приведёт к острым ежегодным потерям воды в Центральной Азии объёмом от 5 до 12 км³. Таким образом, регион вступает в эпоху обострения конкуренции за воду, и Узбекистан оказывается в зоне высокого водного риска.

Обсуждение

Потенциальные риски и вызовы. Результаты свидетельствуют, что без изменения подходов к управлению водными ресурсами Узбекистан столкнётся с серьёзными социально-экономическими рисками. Рост водного дефицита напрямую угрожает продовольственной безопасности, поскольку сокращение воды для орошения может привести к недоборам урожая ключевых культур (хлопок, зерно, фрукты). Уже к 2030 г. ожидается снижение урожайности в связи с нехваткой воды и учащением засух. По прогнозу Всемирного банка, если проблема не будет решена, дефицит пресной воды может привести к падению ВВП Узбекистана на 11% к 2040 г.

ISSN 3030-3907

из-за потерь в сельском хозяйстве и связанных отраслях. Кроме того, конкуренция за ограниченную воду может усилить напряжённость как между секторами (аграрным, коммунальным, энергетическим), так и между регионами страны. Например, южные и западные области, расположенные в низовьях рек, могут страдать от сокращения стока, тогда как верхние районы изымают воду в приоритетном порядке.

Экологические риски включают дальнейшее усыхание водоёмов (Аральского моря и др.) и деградацию экосистем дельты Амударьи. Уже сейчас приток воды в систему оставшихся озёр Приаралья крайне низок, и проекты вроде Кош-Тепа могут усугубить ситуацию. Помимо этого, недостаточная очистка сточных вод и снижение речного стока увеличивают концентрацию загрязняющих веществ в водных объектах, что ухудшает качество воды для населения и хозяйства.

Инновационные подходы к восполнению водных ресурсов. В таких условиях необходимы нестандартные источники воды, дополняющие традиционное речное и подземное водоснабжение. Одним из перспективных направлений является **опреснение солоноватых и минерализованных вод**. В северо-западных районах (Республика Каракалпакстан) качество подземных вод часто неудовлетворительное – высокая минерализация делает их непригодными для питья. Здесь на первый план выходит задача опреснения как грунтовых, так и дренажных вод. Уже реализованы пилотные проекты: в 2020 г. при поддержке ПРООН введена установка обратного осмоса для очистки дренажных вод в районе Бозатау (Каракалпакстан). Эта установка производительностью ~6 м³/час задерживает до 98% солей и обеспечивает капельное орошение 2–6 га либо снабжение питьевой водой небольшого поселка. В 2023 г. в рамках совместной программы ПРООН-ЮНИСЕФ-ФАО модернизирована водоочистная станция, давшая чистую воду для ~1500 сельских жителей Каракалпакстана Такие точечные проекты свидетельствуют о важности опреснения для удалённых засушливых регионов.

Особый интерес представляют **солнечные опреснительные установки**, использующие возобновляемую энергию. Узбекистан обладает высоким солнечным потенциалом (суммарная солнечная радиация 1500–1800 кВт·ч/м² в год), что открывает возможности для энергоснабжения систем опреснения без затрат электроэнергии из сети. Существуют различные технологии солнечного опреснения: простые солнечные дистилляторы, многократное выпаривание, а также гибридные схемы. Традиционные солнечные дистилляционные установки (парники) при КПД

ISSN 3030-3907

~30–50% способны производить 3–5 литров пресной воды в сутки с каждого квадратного метра коллектора. Например, дистиллятор площадью 10 м² даёт ~30–50 л/день чистой воды, используя только солнечное тепло. Более сложные многоступенчатые установки (MSF – Multi-Stage Flash) с использованием солнечной тепловой энергии достигают КПД до 70% и могут производить сотни кубометров воды в день, однако требуют значительных капиталовложений. Солнечные системы обратного осмоса (с использованием фотоэлектрических панелей для питания насосов) позволяют получать десятки и сотни литров в сутки на м² панелей, но их эффективность пока ниже (10–20%) и чувствительна к качеству исходной воды. Перспективным направлением являются **гибридные установки**, сочетающие фотоэлектрические панели и солнечные коллекторы: их суммарный КПД достигает 50–60%, а выход – до 10–15 л/м² в сутки. Для пустынных районов Узбекистана, где централизованное водоснабжение затруднено, такие автономные системы могут стать решением проблемы питьевой воды. Внедрение солнечного опреснения также снизит нагрузку на энергосистему и выбросы парниковых газов, сочетая климатическую и водную повестки. Помимо опреснения, важным резервом является **использование осадочных (дождевых) вод**. Хотя среднегодовое количество осадков невелико, сбор дождевой воды с крыш зданий, паводковых стоков и её накопление в водоёмах способен частично удовлетворять нехватку воды для технических нужд и полива зеленых насаждений. В условиях Узбекистана дождевую воду можно эффективно собирать в зимне-весенний период, когда выпадает основная часть осадков. Например, в предгорных селах сооружение небольших накопительных прудов позволит аккумулировать талые и дождевые воды, которые затем пригодятся в засушливое лето. Конечно, использование дождевой воды ограничено нерегулярностью осадков и требует емкостей для хранения, но, как показывают расчеты, даже 100 мм осадков, собранных с 1 гектара, дают 1000 м³ воды. Поэтому создание инфраструктуры для сбора осадков (водосборные площади, цистерны) должно стать частью адаптационных мер.

Повышение эффективности водопользования. Ключевым резервом смягчения дефицита является уменьшение потерь и рост водоотдачи существующих источников. Необходимо ускоренное внедрение **водосберегающих технологий в сельском хозяйстве**: переход от полива по бороздам к капельному и шлюзовому орошению, выравнивание полей, шире применять влагосберегающие агроприемы. Согласно государственной программе развития сельского хозяйства, к 2030 г. планируется

ISSN 3030-3907

модернизировать и бетонировать до 50% магистральных каналов и перевести не менее 1 млн га на современные методы полива. Это позволит снизить непроизводительные потери воды в каналах на 8–10 млрд м³ в год и тем самым практически покрыть прогнозируемый дефицит на ближайшие годы. Рис. 4 наглядно демонстрирует возможный эффект: если сейчас до 40% воды теряется, то за счет модернизации долю потерь можно сократить вдвое, увеличив эффективный вынос воды к посевам до 80%. Помимо сбережения собственно воды, такие меры приведут к экономии электроэнергии на перекачку и улучшению мелиоративной обстановки (меньшее заболачивание и засоление от протечек каналов).

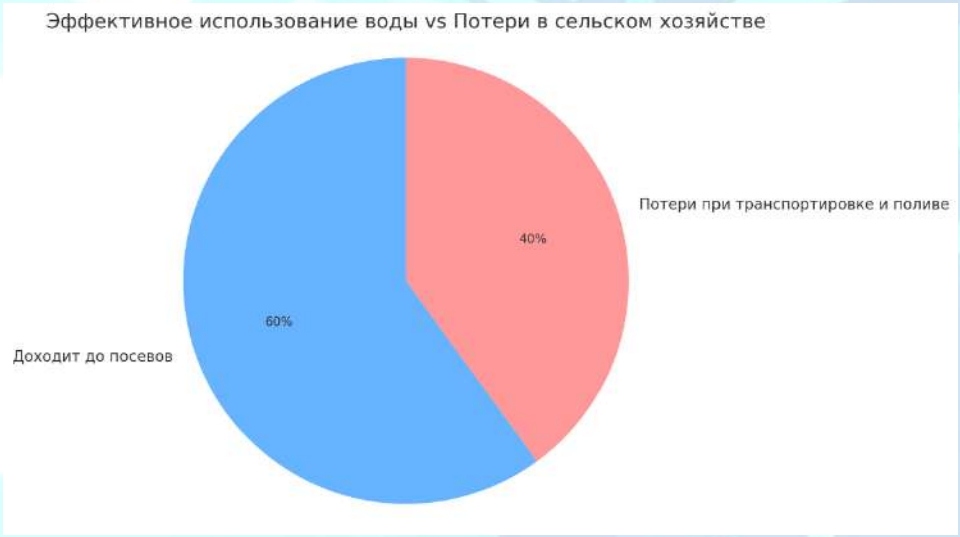


Рис. 4. Схема распределения воды, забираемой на орошение: доля, доходящая до растений (эффективное использование), и потери в каналах и при поливе. В настоящее время около 40% воды теряется бесполезно; сокращение потерь благодаря модернизации способно повысить долю полезного использования до 80%.

В коммунальном секторе приоритетом должно стать сокращение утечек в водопроводах и улучшение управления спросом. Установка счетчиков, ремонт сетей и внедрение рециклинга воды (например, использование «серой» воды для технических нужд) помогут снизить расход в городах. Протокол ВОЗ/ЕЭК ООН по воде и здоровью, к которому Узбекистан присоединился в 2023 г., ставит цель повышения охвата населения безопасным водоснабжением и очисткой сточных вод. Это предполагает инвестиции в системы водоснабжения, повышение энергоэффективности насосных станций, очищение питьевой воды согласно стандартам.

Повторное использование очищенных стоков – ещё одно перспективное направление. На данный момент большая часть сточных вод

ISSN 3030-3907

после очистки не используется повторно, хотя могла бы служить ресурсом для орошения лесополос, технического водоснабжения промышленности и др. Современные технологии позволяют доводить стоки до качества, безопасного для сельхозполива. В мире широко применяются мембранные биореакторы (MBR) и доочистка с помощью обратного осмоса, удаляющая соли и вредные примеси. В Узбекистане уже внедряются некоторые из них – например, на новых очистных в Ташкенте и Бухаре планируется установка MBR-модулей, обеспечивающих почти полное удаление органики и микробов. Полученная вода может использоваться для полива парковых зон и технических нужд, снижая забор свежей воды. В сельской местности выгодно применение простых систем – стабилизационных прудов, где сточные воды очищаются естественным путем и впоследствии могут применяться для орошения кормовых культур или лесомелиорации.

Стратегические и институциональные меры. Для устойчивого управления водными ресурсами недостаточно только технических решений – необходимы институциональные реформы и региональное сотрудничество. В Узбекистане разрабатывается новая редакция Водного кодекса (одобренная Сенатом в 2023 г.), нацеленная на интегрированное управление водными ресурсами. Она предусматривает более чёткое разграничение полномочий органов власти, развитие государственно-частного партнёрства в сфере водохозяйственных объектов и усиление ответственности за нерациональное водопользование. Особый акцент делается на учёт изменений климата и сценариев дефицита: планирование водозабора будет осуществляться с учётом вероятных маловодных лет. Также ставится задача активизировать международное сотрудничество по совместному использованию трансграничных рек и учесть интересы всех стран бассейна Амударьи и Сырдарьи. В контексте адаптации к климатическим изменениям необходимо разрабатывать **долгосрочные национальные программы водной безопасности**, включающие: диверсификацию источников (повышение доли подземных и возвратных вод), повышение водоэффективности экономики (снижение водоёмкости ВВП), охрану и восстановление водосборов (лесонасаждения в горах для увеличения влагозадержания, борьба с эрозией). Целесообразно внедрять экономические механизмы стимулирования бережного отношения к воде – тарифы, отражающие реальную ценность воды, субсидии на водосберегающую технику фермерам, штрафы за перерасход и загрязнение. Водные ресурсы должны рассматриваться как экономический ресурс, имеющий стоимость (как отмечают аналитики, необходим сдвиг сознания – «вода как ценность, а

ISSN 3030-3907

не дармовой товар»). Наконец, адаптация к водному стрессу требует повышения устойчивости населения: просвещение по экономии воды, подготовка кадров (гидрологов, ирригаторов) и научные исследования в области климата и гидрологии. Необходим мониторинг состояния ледников, создание современной системы прогнозирования водности рек и засух. Эти меры помогут заблаговременно реагировать на угрозы и гибко управлять водными ресурсами.

Заключение Узбекистан стоит перед серьёзным вызовом: обеспечить рациональное управление ограниченными водными ресурсами в эпоху изменяющегося климата. Проведённое исследование подтвердило наличие тревожных тенденций – рост дефицита воды, сохранение высокого уровня потерь, ухудшение качества и доступности водных ресурсов для населения

Ключевые выводы состоят в следующем:

1. Сельское хозяйство доминирует в структуре водопотребления, но сопровождается огромными потерями воды, что указывает на неэффективность текущей модели орошения.

2. Климатические изменения пока не привели к повсеместному сокращению осадков, однако усилили межгодовые колебания и экстремальные явления (засухи), ставящие под угрозу стабильность водоснабжения.

3. Без принятия мер дефицит воды будет нарастать, достигнув, по прогнозам, критических величин к 2040–2050 гг., что подтверждается как национальными, так и международными оценками.

4. Водная инфраструктура нуждается в модернизации: обновление каналов, водопроводов и очистных сооружений может значительно повысить эффективность использования воды и улучшить доступ населения к услугам водоснабжения

Рекомендации. Для смягчения обозначенных проблем необходим комплексный подход: одновременное улучшение предложения воды (развитие альтернативных источников) и управление спросом (экономия и рациональное потребление).

Во-первых, следует ускорить модернизацию ирригационных систем и внедрение водосберегающих технологий в сельском хозяйстве – это обеспечит экономию пресной воды и рост сельхозпроизводства на каждую единицу воды.

Во-вторых, важно строить инфраструктуру для накопления водных ресурсов: водохранилища сезонного регулирования, системы сбора дождевой воды, которые помогут пережить засушливые периоды.

ISSN 3030-3907

В-третьих, переработка и повторное использование сточных вод должно стать нормой – очищенные стоки могут восполнять до 15–20% водопотребления в некоторых регионах при должных инвестициях в технологии.

В-четвёртых, освоение опреснения солоноватых вод, особенно с привлечением возобновляемых источников энергии (солнечные и ветровые установки), откроет новые горизонты обеспечения питьевой водой отдалённых и страдающих от засух сообществ. Пилотные проекты уже показали эффективность таких решений, и их масштабирование позволит снизить нагрузку на традиционные источники

Не менее важно совершенствовать систему управления: внедрять принципы интегрированного управления водными ресурсами (IWRM), укреплять координацию между различными секторами и регионами, использовать научно обоснованные данные при планировании водозабора и распределения. Следует улучшать сотрудничество с соседними странами по трансграничным водам, добиваясь баланса интересов и предотвращения односторонних действий, ведущих к дефициту (как в случае с каналом Кош-Тепа).

Таким образом, устойчивое будущее водного хозяйства Узбекистана требует перехода от экстенсивной и ресурсоёмкой модели к инновационной, высокоэффективной и адаптивной системе управления. Реализация предложенных мер – от технических (опреснение, новые оросительные технологии) до организационных (реформы управления, образование) – позволит значительно снизить водный дефицит, повысить климатическую устойчивость аграрного сектора и обеспечить население жизненно важными водными ресурсами. Выполнение этих рекомендаций поможет Республике Узбекистан эффективно управлять водными ресурсами и сохранить основу для устойчивого социально-экономического развития в условиях глобального изменения климата.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Asian Development Bank. (2023). Efficient Irrigation and Water Conservation in Central Asia. Manila: ADB. (упомянуто в тексте как EDB, прогноз снижения стока Амударьи от Афганистана)

2. Economist Intelligence Unit & World Resources Institute. (2015). Ranking the World’s Most Water-Stressed Countries in 2040. WRI Report. (упоминается для списка 33 стран с дефицитом воды к 2040 г.)

ISSN 3030-3907

3. Mirziyoyev, Sh. M. (2023, September). Выступление на заседании совета МФСА. (приводится цитата о влиянии канала Кош-Тепа на водный баланс региона)
4. Temirov, R. (2023, May 30). Uzbekistan eyes new solutions for impending water crisis. Caravanserai (Central Asia News) central.asia-news.com
5. central.asia-news.com. (использован для данных: 90% воды на сельхоз, дефицит 7 млрд м³ к 2030 г., 80% воды из других стран)
6. Times of Central Asia. (2023, Nov 28). Afghan Canal Will Divert Water from Uzbekistan .The Times of Central Asia. (описаны этапы строительства канала Кош-Тепа и прогноз отборов до 10 км³ воды с Амударьи к 2028 г.)
7. UNDP. (2020, Nov 24). UNDP Delivers Water Desalination and Purification Equipment to the Bozatau District undp.org
8. United Nations Development Programme Uzbekistan Press Release. (описан проект по установке установки обратного осмоса 6 м³/ч в Каракалпакстане)
9. UNDP. (2023, Jul 19). Residents of two districts of Karakalpakstan received access to drinking water with the support of the Government of Japan undp.org
10. . UNDP Uzbekistan Press Release. (о совместной программе ПРООН, ЮНИСЕФ, ФАО по улучшению водоснабжения ~3679 человек в Каракалпакстане)
11. UN-Water. (2024, Jan 25). Uzbekistan joins UNECE–WHO/Europe Protocol on Water and Health unwater.org
12. . UN-Water News. (использованы данные: 71% сельских и 89% городских жителей имеют доступ к безопасной воде; только 32% сточных вод полноценно очищаются)
13. World Bank. (2022). Uzbekistan: Climate Change and Water Security (Climate Change Knowledge Portal – Country Profile). Washington, DC: World Bank. (общая информация о влиянии изменения климата на водные ресурсы Узбекистана)
14. World Resources Institute. (2020). Aqueduct Projected Water Stress Rankings. WRI Dataset. (данные индекса водного стресса для Узбекистана – рейтинг ~29-е место к 2040 г. с баллом ~4.2/5).

ISSN 3030-3907