

Supported by:



Federal Ministry  
for the Environment, Nature Conservation,  
Nuclear Safety and Consumer Protection



INTERNATIONAL  
CLIMATE  
INITIATIVE



ВЗАИМОСВЯЗИ МЕЖДУ ВОДОЙ,  
ЭНЕРГИЕЙ И ЗЕМЛЕПОЛЬЗОВАНИЕМ  
Системные решения для климатически устойчивой Центральной Азии

based on a decision of  
the German Bundestag

# ВОДНЫЙ КРИЗИС, СОТРУДНИЧЕСТВО И ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ: МИРОВОЙ ОПЫТ



Ташкент 2025



НИЦ МКВК

Научно-информационный центр  
Межгосударственной координационной  
водохозяйственной комиссии  
Центральной Азии

Научно-информационный центр  
Межгосударственной координационной водохозяйственной комиссии  
Центральной Азии

**Водный кризис, сотрудничество  
и информационные технологии:  
мировой опыт**

Ташкент 2025

НИЦ МКВК представляет вашему вниманию подборку статей, в том числе переводных, знакомящую с зарубежным и региональным опытом в области водной безопасности, управления водными ресурсами.

Подготовлено и издано при финансовой поддержке проекта «Региональные механизмы для низко-углеродных, климатически устойчивых преобразований во взаимосвязанных вопросах энергетики, воды, земли в Центральной Азии», реализуемого ОЭСР, НИЦ МКВК и ЕЭК ООН за счет средств Федерального министерства окружающей среды, охраны природы, ядерной безопасности и защиты потребителей Германии (BMUV) в рамках Международной климатической инициативы (ИКИ)

## Содержание

<b>Глобальные вопросы.....</b>	<b>5</b>
Ответ на мировой водный кризис: «За пределами роста».....	5
Вода — одновременно жертва и двигатель климатического кризиса: вызов, требующий совместных усилий.....	9
Снос плотин: издержки, сложности и влияние на общество.....	14
Вода как ключ к климатическим решениям: приоритеты политики и пути устранения дефицита финансирования в докладе Всемирного банка.....	19
Более 70 % пресных водоносных горизонтов могут стать солеными к концу столетия.....	23
<b>Информационные технологии в водном хозяйстве.....</b>	<b>24</b>
Как цифровые двойники трансформируют мир управления водными ресурсами.....	24
Использование ИИ для прогнозирования речного стока и предотвращения наводнений.....	27
ИИ для управления активами с целью повышения надежности системы водообеспечения и плотин.....	29
Новая модель проливает свет на проблему снижения уровня подземных вод, интегрируя решения по орошению и использованию подземных вод.....	35
Новый обзорный документ по оптимизационным моделям для управления водными ресурсами.....	37
Наводнения, недостаток воды, понижения уровня воды в дельтах рек: гидрологи составляют карту меняющихся речных ландшафтов.....	41
Спутники показывают резкое падение уровня пресной воды в мире.....	44

<b>Азия .....</b>	<b>47</b>
Увеличение стоков: как изменение климата усиливает наносы в высокогорных реках.....	47
Смена власти в Сирии окажет негативное влияние на одну из важных рек в Израиле .....	48
Китайский мегапроект по переброске воды стоимостью 70 млрд долларов – сложности и последствия.....	50
<b>Америка.....</b>	<b>62</b>
Переброска воды по двухстороннему опционному контракту может обеспечить надежность и сэкономить деньги для городских и сельскохозяйственных пользователей во время засухи на западе США .....	62
Микробы играют большую роль в формировании здоровья рек.....	64

## Глобальные вопросы

### Ответ на мировой водный кризис: «За пределами роста»<sup>1</sup>

Квентин Графтон, Сафа Фанайан,  
Сара Энн Уилер и 28 коллег

Мир сталкивается с многочисленными кризисами, связанными с качеством, количеством и безопасностью воды. На сегодняшний день правительственные меры сосредоточены на подходе «бизнес как обычно», где приоритет отдается экономическому и/или «зеленому» росту. Однако подходы, ориентированные на рост, чаще всего оказываются неэффективными. Группа ведущих мировых ученых в области водных ресурсов подчеркивает критическую роль политической инертности и зависимости от устоявшихся подходов. Они призывают к переходу на концепцию «За пределами роста», которая значительно отличается от традиционных методов. По их мнению, только водная повестка «За пределами роста» может обеспечить устойчивый путь к лучшему водному будущему.

В недавно опубликованной статье «Перспективы устойчивого развития» в журнале «Nature Sustainability» мы вместе с 31 соавтором из 20 разных стран переосмысливаем подходы к смягчению последствий мирового водного кризиса (Grafton et al., 2024). Эти кризисы включают:

- i) отсутствие доступа или неравенство в доступе к безопасной питьевой воде и санитарии;
- ii) загрязнение водных ресурсов и деградацию окружающей среды;
- iii) чрезмерное изъятие воды из поверхностных и подземных источников;
- iv) недостаточная защита водных экосистем, что усугубляет уязвимость социально-экономических и экологических систем.

Мы выявили, что многие правительства и многосторонние организации неверно диагностируют основные причины водных кризисов, игнори-

---

<sup>1</sup> Источник: R. Quentin Grafton, Safa Fanaian, Sarah Ann Wheeler and 28 colleagues. A 'Beyond Growth' Response to the World's Water Crises | <https://www.globalwaterforum.org/2024/12/10/a-beyond-growth-response-to-the-worlds-water-crises/> Опубликовано 10.12.2024

руя ключевую роль политической инертности и захваченности политики, что приводит к значительным пробелам в реагировании. Такое неправильное понимание во многом связано с мировоззрением — системой убеждений и ценностей, которая ограничивает приоритеты и определяет, на что обращается внимание и почему.

### **Приоритет роста**

Существует два доминирующих мировоззрения среди политиков:

i) экономический рост, подразумевающий увеличение ВВП на душу населения со временем, который считается приоритетом номер один в политике;

ii) «зеленый рост», который признает необходимость сохранения ключевых экологических ресурсов, но утверждает, что социальный и экономический прогресс невозможен без экономического роста.

Подход «экономического роста» делает акцент на эффективном распределении товаров и услуг через рыночные механизмы и накоплении капитала, необходимого для экономического развития, включая создание инфраструктуры. Согласно этой парадигме, водные кризисы решаются преимущественно за счет целевых государственных и частных инвестиций в инфраструктуру водоснабжения, что способствует предоставлению услуг, связанных с водой. Такой подход действительно помогает, особенно в улучшении доступа к воде в городах, однако его возможности ограничены и недостаточны для решения всех аспектов проблемы.

Приоритетом «зеленого роста» является преодоление рыночных сбоев, например, через пересмотр субсидий для снижения загрязнения воды или поддержку рыночных подходов к ценообразованию на воду. Стимулы для экономии воды важны, но их недостаточно для устранения сбоев в управлении, таких как недостаточный институциональный, финансовый или технический потенциал правительства для эффективного планирования водопользования, а также для преодоления проблем с коллективными действиями, например, при предоставлении и мониторинге услуг питьевой воды. Кроме того, необходимы меры для устранения сбоев в бездействии, включая улучшение мониторинга и обеспечение соблюдения государственных норм и стандартов в отношении воды, а также повышение доступности информации, например, о рисках наводнений, засухи, повышения уровня моря и качестве питьевой воды.

## За пределами роста

Повестка «За пределами роста» опирается на лучшие аспекты «зеленого роста», но стремится отделить экономический рост от деградации окружающей среды. Она носит более целенаправленный характер и фокусируется на обеспечении водной безопасности для наиболее обездоленных слоев населения через меры, которые:

- i) преодолевают захват и инерцию политики;
- ii) способствуют принятию решений, основанных на местных реалиях и этических принципах, а также на институциональных инновациях, ориентированных на справедливость.

Мы убеждены, что без внедрения подхода «За пределами роста» невозможно достичь целей устойчивого развития (ЦУР) 6 «Безопасная вода для всех», а также ЦУР 1 «Покончить с бедностью» и ЦУР 2 «Покончить с голодом» к 2030 г.

Инертность политики — это неспособность адаптироваться к изменяющимся условиям, что ограничивает политические действия. Захват политики может проявляться в коррупционных действиях, перераспределяющих воду и инфраструктуру в пользу привилегированных групп за счет большинства. Он также происходит через законные механизмы, такие как пожертвования, лоббирование и «раздвижные двери», позволяющие государственным и частным секторам обмениваться влиянием. Эта разрушительная, но зачастую легальная форма захвата политики предоставляет привилегии тем, кто имеет наибольший доступ и влияние, ограничивает политическое мышление и сужает круг знаний и практик, приемлемых для лиц, принимающих решения.

Как захват политики, так и инерция могут быть смягчены через активное гражданское участие, эффективное государственное управление (основанное на подотчетности и прозрачности) и надежную правовую систему, работающую в интересах общества. Прозрачность в отношении неудач в реализации политик особенно эффективна, если она способствует повышению подотчетности и восприимчивости политических решений. Содействие взаимодополняемости инноваций в институциональных механизмах «сверху вниз» и «снизу вверх» также может помочь преодолеть информационные пробелы и несовместимые стимулы. Например, это возможно при эффективном финансировании и поддержке регионального комплексного управления водосборными бассейнами.



## За рамками привычного бизнеса

Без четкого понимания того, кто обладает властью и влиянием на водные ресурсы, кого не слышат ключевые лица, принимающие решения, и какие знания и данные игнорируются при принятии решений, мы не сможем достичь стратегического мышления и эффективных мер, необходимых для решения мирового водного кризиса. Пути продвижения вперед заключаются в создании и/или поддержке: i) политических инноваций, которые «открывают» процесс распределения воды, с фокусом на то, кто участвует в принятии решений, какие проблемы и решения рассматриваются; ii) понимания и распространения информации о взаимосвязях между биофизическими и социально-экономическими системами, а также о местных биофизических ограничениях, рисках и уязвимостях.

Мероприятия по реформированию водного хозяйства в рамках программы «За пределами роста» пока не получили широкого распространения, но включают в себя:

i) элементы «Сингапурской водной истории», которая обеспечила жителей безопасной питьевой водой и санитарией и снизила загрязнение воды;

ii) процессы участия в малых ирригационных системах в Танзании, Мозамбике и Зимбабве, которые расширили возможности общин для более эффективного управления местными водными ресурсами;

iii) контракты, ориентированные на результат, поддерживающие услуги безопасной питьевой воды в 17 странах;

iv) партнерство коренных и некоренных народов в бассейне реки Амбато, Эквадор;

v) приложения для смартфонов, которые регулярно сообщают о работе служб водоснабжения (например, о сбоях, качестве воды) костариканским общинным комитетам по управлению водными ресурсами и домохозяйствам;

vi) многочисленные тематические исследования эффективных природоохранных мероприятий, направленных на улучшение качества воды;

vii) многочисленные тематические исследования эффективных природных методов борьбы с наводнениями, накопления воды и обеспечения чистой водой.

Эти примеры успешных ответных мер и текущая неспособность эффективно реагировать на многие водные кризисы в мире убеждают нас в необходимости выйти далеко за рамки обычного бизнеса. По нашему мне-

нию, только программа «За пределами роста» в области водных ресурсов обеспечит устойчивые пути:

i) снижения деградации окружающей среды (например, улучшение качества и количества воды);

ii) повышения благосостояния людей (например, улучшение качества и продолжительности жизни);

iii) снижения уровня небезопасности водных ресурсов (например, расширение доступа к безопасной питьевой воде и санитарии);

iv) повышения устойчивости систем (например, более быстрое и устойчивое восстановление после засух и наводнений);

v) развития активной демократии для обеспечения «правительства народа, посредством народа и для народа».

Учитывая масштабы мировых проблем, связанных с водными ресурсами, терять время на реализацию программы «За пределами роста» невозможно.

## **Вода — одновременно жертва и двигатель климатического кризиса: вызов, требующий совместных усилий<sup>2</sup>**

**Майтрии Мукерджи, Сесилия Тортахата**

Человечество сталкивается с надвигающимся водным кризисом, усугубляемым изменением климата. Эксперты Майтрейи Мукерджи и Сесилия Тортахата призывают к срочному пересмотру подходов к оценке и регулированию водных ресурсов в разных странах. Они подчеркивают, что вода слишком часто воспринимается исключительно как локальная проблема, тогда как ее следует рассматривать как глобальное общее благо, требующее комплексного и междисциплинарного управления.

---

<sup>2</sup> Источник: Maitreyee Mukherjee, Cecilia Tortajada. Water as a victim and driver of the climate crisis: A call for collective action at scale | <https://www.globalwaterforum.org/2024/12/05/water-as-a-victim-and-driver-of-the-climate-crisis-a-call-for-collective-action-at-scale/> Опубликовано 5.12.2024

Недавно опубликованный доклад Глобальной комиссии по экономике водных ресурсов (GCEW, 2024) предупреждает о нарастающем глобальном водном кризисе, который остается на периферии внимания при обсуждении климатических изменений. Документ, подготовленный ведущими учеными и экономистами, основан на всестороннем анализе состояния глобальных гидрологических систем и практик управления водными ресурсами. Основные выводы доклада акцентируют внимание на трансграничной взаимосвязи воды через циклы зеленой и голубой воды. Рост дисбаланса этих циклов уже оказывает негативное воздействие на глобальную продовольственную безопасность, экономику, экосистемы, социальное равенство, здоровье населения и международные отношения.

Хотя в докладе подчеркивается необходимость рассматривать гидрологические системы как глобальное общее благо, важно учитывать, что исторически вода воспринималась преимущественно как местный ресурс. Тем не менее, трансграничный характер водных систем, неоднократно становившийся причиной конфликтов в истории, требует глобального коллективного подхода к управлению водными ресурсами. При этом национальные повестки дня должны уделять приоритетное внимание локальным действиям.

### **Взаимосвязь воды с Целями устойчивого развития и различными уровнями управления (местные, национальные и региональные уровни)**

С учетом критической важности водных ресурсов и растущих угроз, с которыми они сталкиваются, необходимо срочно пересмотреть подходы к их оценке и регулированию в разных странах. Во-первых, политикам следует осознать межсекторальное влияние водных ресурсов на достижение всех 17 Целей устойчивого развития (ЦУР, Eckert et al., 2023). Вода занимает ключевое место в глобальных усилиях по противодействию изменению климата и утрате биоразнообразия. Придание приоритета эффективному управлению водными ресурсами позволит правительствам добиться прогресса сразу по нескольким ключевым показателям, соответствующим как национальным целям развития, так и национальным целевым показателям (НЦП). Кроме того, это открывает возможность интегрировать лучшие практики местного управления водными ресурсами в достижение глобальных результатов, связанных с ЦУР и климатическими мероприятиями.

Вода воспринимается как локальная проблема, однако инструменты управления часто заимствуются из зарубежного опыта, не учитывая мест-

ные социально-экономические и политические особенности. Это приводит к неудачным результатам, приводящим к неправильному управлению водными ресурсами, неравному доступу и экологической деградации. Разрабатывая индивидуальные решения, основанные на фактах для решения местных проблем, связанных с водными ресурсами, политики могут обеспечить как воздействие, так и уверенность для правительств, чтобы расширить масштабы на региональном уровне.

С 2016 г., Китай начал применять более широкий системный экологический подход, сочетающий управление водными ресурсами с региональным социально-экономическим развитием. Его система River Chief дает местным органам власти возможность коллективно реализовывать национальную политику, увязывая ее с показателями эффективности для соответствующих государственных служащих (World Bank, 2018). Такой подход дает свои результаты, мотивируя государственных служащих брать на себя ответственность за местные программы управления водными ресурсами в рамках их портфеля профессионального развития.

### **Автономия способствует эффективному управлению**

Межсекторальный характер воды, необходимой для благосостояния людей и планеты, порождает институциональные проблемы, такие как определение четких юрисдикционных границ или создание убедительных бизнес-моделей. Для решения этой проблемы руководителям водного сектора необходимы как полномочия, так и автономия для разработки инновационных инструментов политики, отвечающих местным потребностям, одновременно прокладывая путь для регионального и глобального сотрудничества в области обмена знаниями, наращивания потенциала и финансовых возможностей.

Управление водоснабжения Пномпеня из Юго-Восточной Азии является ярким примером. За 17 лет оно превратилось из банкрота в удостоенное наград предприятие водоснабжения. Благодаря стабильному руководству, долгосрочному видению, прозрачным политическим планам и наращиванию внутреннего потенциала оно добилось значительных успехов в водообеспечении и услуг (Biswas, et al., 2022). Кроме того, благодаря отличному опыту реализации своих генеральных планов, коммунальное предприятие сохранило доверие инвесторов, обеспечив стабильные источники финансирования для своих проектов по развитию инфраструктуры. В настоящее время город сосредоточился на разработке комплексного плана по управлению сточными водами и обеспечению устойчивости к изменению климата.

Ценообразование на воду, признающее ее истинную экономическую ценность, сделает водоканалы финансово жизнеспособными. Правительства часто склонны чрезмерно субсидировать водоснабжение, в результате чего водоканалы испытывают дефицит средств для реализации долгосрочных планов. Несколько городских коммунальных предприятий (Сингапур, Пномпень и Манила) показали, что разумное ценообразование на воду является политически обоснованным и хорошо принимается населением, когда оно обеспечивает адекватное получение доходов, улучшение качества услуг и справедливый доступ за счет внутриотраслевого субсидирования.

### **Центральное место водных ресурсов в отраслевой политике**

Взаимосвязь воды также должна быть признана при планировании национальной политики. Вода затрагивает все сектора – сельское хозяйство, энергетику, экологию, промышленность, здравоохранение, транспорт и другие. Поэтому дальновидное руководство должно признать ее важность и обеспечить согласование всех отраслевых политик с национальными и местными механизмами управления водными ресурсами.

С момента своего образования Сингапур определил воду как неотъемлемую часть своей стратегии национальной безопасности (включающей геополитические, социально-экономические и климатические риски) (Tortajada et al., 2013). Это привело к тому, что город-государство применяет подход долгосрочного планирования в области водных ресурсов, учитывая не только риски, связанные с неспособностью обеспечить безопасность водных ресурсов, но и возможности (новые предприятия, создание рабочих мест, достижение ЦУР), возникающие в результате адаптации инструментов управления и новых технологий для повышения эффективности и результативности управления водными ресурсами.

Эти инициативы включают диверсификацию источников воды для снижения зависимости от трансграничных поставок, демонстрацию гибкости и способности экспериментировать с новыми технологиями в водохозяйственном секторе, такими как внедрение повторного использования воды, инвестиции в энергоэффективные технологии опреснения, а также интеграцию цифровых технологий для продвижения научно обоснованного управления спросом на воду и улучшения обслуживания клиентов. Будучи низколежащим островным государством, страна также активно участвует в обеспечении устойчивости к наводнениям в прибрежной зоне, применяя смешанный подход к развитию устойчивой к наводнениям инфраструктуры, решений на основе природных ресурсов и информирования населения.

Управление водными ресурсами на основе данных может изменить управление водными ресурсами городских территорий. Бесперебойный доступ к данным, обеспечиваемый подключенными к облаку интеллектуальными счетчиками, может эффективно вовлечь потребителей, а коммунальные службы получают возможность принимать обоснованные управленческие решения. В то же время обязательное раскрытие информации о водных ресурсах в корпоративной отчетности по устойчивому развитию будет стимулировать предприятия инвестировать в эффективность использования водных ресурсов.

### **Коллективные действия в масштабах**

Трансформационные решения для управления водными ресурсами существуют, но для их масштабирования необходимы определенность политики, финансирование, участие частного сектора, передача знаний и наращивание потенциала. Однако все это не произойдет само собой. Учитывая срочность состояния глобальных гидрологических систем, как подчеркивается в докладе GCEW, нет времени для экспериментального подхода методом проб и ошибок. Поэтому странам необходимо ускорить принятие решений на основе глобальной системы сотрудничества, которая установит общую платформу для справедливых, равноправных и эффективных методов управления водными ресурсами.

Концепция водных ресурсов как общего блага хорошо известна. В книге «Управляя общим» Элинора Острома исследуется, как общины управляют общими ресурсами, такими как вода для орошения, с помощью переговоров, институтов и коллективного подхода. Аналогичным образом, надвигающийся глобальный водный кризис, усугубляемый изменением климата, требует коллективных действий в масштабе всей планеты. Глобальный гидрологический цикл, взаимосвязанный через продовольственные системы, экономику и климатическую угрозу, теперь должен рассматриваться как глобальное общее благо, с согласованной политикой, действиями и многоуровневым (местным, региональным, глобальным), межсекторальным сотрудничеством.

Подводя итог, можно сказать, что переход от рассмотрения воды как локальной проблемы к ее использованию в качестве глобального общего блага будет непростым. Поэтому необходимы инновационные, нетрадиционные подходы, чтобы обеспечить доступность чистой воды для людей и природы в будущем, в мире с неблагоприятным климатом.

## Литература

Biswas AK, P Sachdeva & C Tortajada (2021). Phnom Penh Water Story: Remarkable Transformation of an Urban Water Utility. Singapore: Springer. <https://doi.org/10.1007/978-981-33-4065-7>

Eckert M, R Gupta & CP Hue (2023). Water is central in achieving all 17 SDGs. But how? Stockholm International Water Institute, News. Available at: <https://siwi.org/latest/water-is-central-in-achieving-all-17-sdgs-but-how/> (accessed 06/11/2024)

Global Commission on the Economics of Water, GCEW (2024). The economics of Water. Valuing the hydrological cycle as a global common good. Available at: <https://watercommission.org/> (accessed 06/11/2024)

Tortajada C, Y Joshi & AK Biswas (2013). The Singapore Water Story: Sustainable Development in an Urban City State. London: Routledge.

World Bank (2018). Watershed: A New Era of Water Governance in China — Synthesis Report. World Bank, Washington, DC.

## Снос плотин: издержки, сложности и влияние на общество<sup>3</sup>

С увеличением числа проектов по сносу плотин по всему миру новые исследования подчеркивают ключевые аспекты, которые необходимо учитывать: точную оценку затрат, влияние географии на планирование и возможность местного противодействия, способного помешать восстановлению окружающей среды.

Согласно исследованию, опубликованному в журнале *Frontiers in Ecology and Evolution*, для успешного планирования и реализации проектов по сносу плотин требуются точные данные и эффективные инструменты оценки затрат.

---

<sup>3</sup> Источник: The rising tide of dam removal: costs, challenges, and community impacts | <https://www.waterpowermagazine.com/analysis/the-rising-tide-of-dam-removal-costs-challenges-and-community-impacts/> Опубликовано 21.11.2024

Точные оценки играют решающую роль в принятии обоснованных решений, особенно при анализе большого числа плотин. Однако, как отмечают Дуда и соавторы, сложность оценки затрат на вывод плотин из эксплуатации затрудняет понимание того, когда их снос становится оправданной альтернативой содержанию устаревших или проблемных сооружений. Нереалистичные расчёты могут исключить снос из числа возможных решений, подорвать доверие общественности и заинтересованных сторон, а также привести к задержкам или провалу проектов.

Одной из главных трудностей при оценке затрат на снос плотин является влияние множества факторов, а также ограниченность общедоступных данных, необходимых для анализа их влияния на общую стоимость. К основным факторам, влияющим на оценку, относятся:

- Размеры плотины и её водохранилища.
- Географическое положение: расположение в сельской местности или в черте города.
- Объём накопленных отложений и степень их загрязнения.
- Наличие уязвимых видов флоры и фауны либо близлежащей инфраструктуры.
- Требования к восстановлению участка: стабилизация территории, восстановление растительного покрова и экосистемы.
- Региональные различия: особенности законодательства, требования к выдаче разрешений и наличие опыта сноса плотин в данной местности.
- Необходимость замены функций плотины (например, водоснабжения или энергогенерации).
- Социально-экономические аспекты, включая возможные конфликты интересов местного населения и заинтересованных сторон.

Как и в случае с строительством плотин, при их сносе могут возникать значительные неопределенности, такие как обнаружение неизвестных конструкций, загрязненных материалов, неожиданные высокие стоки или превышение предельных значений качества воды. Кроме того, снос плотины может потребовать дополнительных мер по смягчению последствий, что также влияет на оценку стоимости. Объем таких требований часто сложно предсказать на ранних этапах планирования.

В то время как оценка стоимости для гражданской инфраструктуры обычно основывается на системе контрактов «проектирование - предложение - строительство», где заказчик нанимает инженера и подрядчика по отдельным контрактам с предложениями по единичным расценкам, более



сложные работы по сносу плотин часто выполняются по контрактам «проектирование - строительство». В этом случае, как поясняют авторы, строительный подрядчик контролирует весь процесс, от начала до конца, и обычно выставляет счет за весь проект (т.е. фиксированную сумму или гарантированную максимальную стоимость), а не по единичным расценкам.

Контракты «проектирование - строительство» обычно применяются в рамках сложных и крупных проектов, которые подвержены большим рискам неопределенности. Эти контракты, как правило, позволяют избежать дополнительных изменений в случае обнаружения неожиданных проблем, способных существенно повлиять на бюджет и сроки выполнения проекта.

### **Пробел в знаниях**

Авторы сообщают, что в литературе по сносу плотин отсутствуют эмпирические данные о стоимости таких проектов, которые крайне необходимы, а также анализы того, как стоимость варьируется в зависимости от характеристик плотин, водосборных бассейнов и регионов, в которых они расположены.

Чтобы устранить этот пробел, авторы собрали данные о стоимости сноса 668 плотин из различных источников, выявив географические тенденции в стоимости сноса плотин в США за последние пять десятилетий. Общая индексированная стоимость сноса составила \$1,522 млрд. Если предположить, что эти данные репрезентативны для 1916 плотин, демонтированных в США до 2022 г., то общие затраты на снос плотин в реках США могут составить около \$4,4 млрд.

77 % отчетных затрат приходятся на проекты, в которых сносились только одна плотина, в то время как 150 плотин были снесены в рамках 53 проектов, включавших от 2 до 18 плотин. Большинство из снесенных плотин были малыми (542 плотины высотой менее 5 м). 77 плотин имели среднюю высоту (от 5 до 10 м), и лишь 30 были крупными плотинами высотой более 10 м. В 19 случаях информация о высоте плотины отсутствовала, однако авторы предполагают, что, скорее всего, большинство этих плотин имели высоту менее 5 м.

С учетом того, что снос плотин, вероятно, будет продолжаться, авторы предупреждают, что от 4000 до 32 000 плотин в США могут быть снесены к 2050 г. Они подчеркивают «острую необходимость в улучшении объема и качества эмпирических данных о стоимости сноса плотин для более эффективного планирования таких проектов». Данные могут быть интегрированы с другими новыми научными исследованиями и инструмен-

тами, которые помогут расставлять приоритеты, проводить и управлять проектами по сносу плотин.

Авторы заключают, что создание национальной базы данных по затратам на снос плотин, которая будет включать детализированные данные о компонентах затрат, а также информацию о факторах, влияющих на стоимость (кроме строительства), и точные демографические данные о плотинах (напр., местоположение, возраст, высота, объем наносов), значительно улучшит возможности анализа опыта прошлых проектов и прогнозирования затрат на будущие проекты.

### **География имеет значение**

Сравнивая опыт сноса плотин на реке Селюн во Франции и на реке Элва в США, Мари-Анн Жермен и Лоран Леспез демонстрируют, почему география играет важную роль в крупных проектах по сносу плотин.

В проектах экологического восстановления рек, география часто рассматривается исключительно как «область исследования», объясняют авторы. Однако она должна использоваться не только для описания контекста проектов, но и для анализа окружающей среды и её трансформаций, с акцентом на взаимоотношения между людьми и другими живыми существами.

Снос плотин нельзя свести лишь к инженерной операции, утверждают авторы в своем отчете, опубликованном в журнале *Frontiers in Ecology and Evolution*. Они подчеркивают, что снос плотин нарушает пространственные конфигурации, удаляя водохранилища, изменяя связанные с ними виды использования и создавая новые экосистемы.

### **Оппозиция сносу плотин**

В своем исследовании Буше и Хадсон рассматривают оппозицию общественности к проектам по сносу плотин. Сосредоточив внимание на 36-метровой плотине Везинс на реке Селуне во Франции, авторы объясняют, что в 2019 г., это был крупнейший проект по сносу плотины в Европе. Стремясь восстановить экологическую связь и улучшить качество воды, французские власти распорядились снести это столетнее сооружение, но не уделили должного внимания эффективной коммуникации с местным населением относительно преимуществ сноса плотины и ценностей прибрежных территорий.

Против сноса плотины выступили многочисленные местные заинтересованные стороны, включая политиков, представителей рекреационных (рыболовных) интересов, мелкую промышленность и любителей природы. Местные жители не осознавали, как плотина поддерживает целый ряд ценных местных экологических услуг и экономических видов деятельности, таких как мореплавание, пеший туризм, скалолазание, фотографирование, обучение пожарных и спасателей, рыбалка и водоснабжение.

Как утверждают авторы, решение Франции навязать местному населению бассейна Селюне проект по сносу плотины было продиктовано влиянием заинтересованных сторон, действующих на международном, национальном и региональном уровнях. Несмотря на то что в большинстве случаев снос плотин рассматривается как значимая экологическая выгода, в данном случае он не получил поддержки среди местного населения. Против сноса плотины возникло значительное, а порой и яростное сопротивление.

Среди противников сноса плотины были представители местных заинтересованных сторон, включая политиков, представителей рекреационных (рыболовных) интересов, мелкий бизнес и любителей природы. Местное сообщество не осознавало, какую роль плотина играет в поддержании ряда важных экологических услуг и экономической активности, таких как мореплавание, пеший туризм, скалолазание, фотографирование, обучение пожарных и спасателей, рыбалка и обеспечение питьевой водой. Кроме того, за последнее столетие на территории плотины и водохранилища сформировались богатые и разнообразные флора и фауна. Экономические активности, включая гостиницы, заведения формата «постель и завтрак» и рыболовные магазины, также стали неотъемлемой частью местного социально-экономического ландшафта прибрежной зоны.

В основе оппозиции лежало желание местных заинтересованных сторон работать вместе, чтобы прояснить проблемы, возникшие из-за неопределенности о последствиях предлагаемого сноса плотины, основываясь на их местных знаниях и жизненном опыте, как утверждают авторы. Отсутствие обратной связи по этим вопросам и скрытие информации (из-за отсутствия консультаций) лишь усилили местную оппозицию.

Буше и Хадсон пришли к выводу, что неспособность государственных органов эффективно учитывать ценности заинтересованных сторон значительно подрывает успех крупных федеральных проектов по управлению окружающей средой, которые зависят от поддержки местного населения. Изучая, как местные исполнители восприняли опыт сноса плотины, авторы подчеркивают, что результаты их исследования способствуют лучшему пониманию экологического управления и местных последствий

национальных политических решений в будущих проектах по сносу плотин как во Франции, так и на международном уровне.

## **Вода как ключ к климатическим решениям: приоритеты политики и пути устранения дефицита финансирования в докладе Всемирного банка<sup>4</sup>**

Многие страны стремятся стать производителями, потребителями и экспортерами «зеленой» энергии. Для этого им необходим надежный и устойчивый доступ к водным ресурсам.

В докладе Группы Всемирного банка «Люди в условиях меняющегося климата» обобщены данные из 72 отчетов о климате и развитии стран (CCDR). В документе подчеркивается ключевая роль людей в противостоянии климатическим вызовам. Представленный на конференции COP29 в ноябре 2024 г., доклад акцентирует внимание на том, как решения в области климатической адаптации и низкоуглеродного развития непосредственно влияют на жизнь людей.

Страновые доклады Группы Всемирного банка о климате и развитии (CCDR), впервые опубликованные в 2022 г., служат инструментом для согласования процессов развития с действиями в области климата. Они направлены на повышение устойчивости, сокращение выбросов парниковых газов и достижение Целей устойчивого развития (ЦУР), установленных Организацией Объединенных Наций.

Охватывая страны с низким, средним и высоким уровнем дохода, доклады о климате и развитии стран (CCDR) объединяют широкий круг заинтересованных сторон — правительства, частный сектор и гражданское общество — для совместного достижения целей в области климата и устойчивого развития.

В докладе подчеркивается непропорциональное воздействие изменения климата на страны с низким уровнем дохода, где наблюдаются значи-

---

<sup>4</sup> Источник: Water at heart of climate solutions: World Bank report outlines policy priorities & steps to address finance gaps | <https://www.downtoearth.org.in/water/water-at-heart-of-climate-solutions-world-bank-report-outlines-policy-priorities-steps-to-address-finance-gaps> Опубликовано 19.12.2024

тельные потери производительности труда из-за роста температур. Особое внимание уделено тому, как политика, ориентированная на нужды людей, развитие устойчивой инфраструктуры и внедрение макроэкономических стратегий могут снизить уязвимость, способствовать созданию «зеленых» производственно-сбытовых цепочек и поддерживать устойчивые переходные процессы в условиях глобального сотрудничества.

### **Вода в центре решений**

Вторая часть доклада 2024 акцентирует внимание на переходном периоде в различных секторах, при этом особое место отводится воде.

Доступ к водным ресурсам играет ключевую роль в сельском хозяйстве, обеспечении продовольственной безопасности, развитии человеческого капитала, экономическом росте и охране окружающей среды. В докладах о климате и развитии стран (CCDR), вода находится в центре внимания как один из важнейших факторов устойчивого развития. Изменение климата оказывает значительное воздействие на водные ресурсы, провоцируя экстремальные явления, такие как засухи и наводнения.

Во время засух страдают сельское хозяйство, производство энергии и системы продовольственного обеспечения, что, в свою очередь, приводит к миграции населения и росту уровня недоедания, особенно в странах с низким уровнем дохода.

С другой стороны, наводнения приводят к человеческим жертвам, распространению болезней, передающихся через воду, перемещению населения и разрушению инфраструктуры. Оба этих явления наносят серьезный ущерб экономике пострадавших стран, особенно сильно затрагивая уязвимые группы населения.

Согласно докладу, в Малави засуха может увеличить долю населения за чертой бедности на 14%. В Гане к 2040 г. ожидается снижение мощности гидроэлектростанций на 8–30%. Армения столкнется с падением урожайности богарных культур к 2050 г., а в Аргентине убытки от сокращения сельскохозяйственного производства достигнут \$2,1 млрд (0,6% ВВП).

Сокращение сельскохозяйственного производства и рабочих мест в фермерских хозяйствах также будет зафиксировано в других странах, таких как Южная Африка и Ливан.

Кроме того, в Узбекистане и Зимбабве ожидается рост случаев заболеваний, передающихся через воду, к 2040 и 2050 гг. соответственно.

В докладах о климате и развитии стран была представлена матрица решений, адаптированных для конкретных стран, с целью улучшения

управления водными ресурсами и повышения устойчивости к изменению климата. В этой матрице подчеркивается необходимость инвестиций в водохозяйственный сектор и проведения реформ в области институционального регулирования.

Изменение климата оказывает значительное влияние на водообеспеченность, что влечет серьезные последствия для населения. Доклады Группы Всемирного банка о климате и развитии стран убедительно демонстрируют важность инвестиций в социальные программы для защиты уязвимых слоев населения.

Быстрая урбанизация, рост городского населения, расширение коммерческой и промышленной инфраструктуры, а также неэффективное управление сточными водами создают серьезные риски для водных ресурсов. В этих докладах особое внимание уделяется внедрению решений, направленных на управление спросом на воду, что способствует обеспечению устойчивости и снижению рисков.

### **Рекомендации по управлению водными ресурсами в докладах о климате и развитии стран**

Авторы докладов подчеркивают необходимость повышения безопасности водных ресурсов через эффективное управление сточными водами и развитие циркулярной экономики. Неэффективное управление сточными водами способствует загрязнению окружающей среды.

В докладах о климате и развитии стран рекомендовано городам инвестировать в системы мониторинга работы очистных сооружений. Это позволит обеспечить надлежащее качество воды, повысить эффективность функционирования станций и сократить выбросы парниковых газов (ПГ). Многие страны выражают заинтересованность в развитии «зеленой» энергетики, стремясь стать производителями, пользователями и экспортерами таких технологий. Для достижения этой цели им необходим надежный доступ к водным ресурсам.

### **Финансовый пробел**

В докладе подчеркивается, что потребность в инвестициях в водохозяйственный сектор остается чрезвычайно высокой, однако текущие объемы финансирования значительно отстают от необходимых уровней. Согласно оценкам, инвестиции в размере \$1,8 трлн в период с 2020 по 2030 гг. могут принести совокупные выгоды на сумму \$7,1 трлн.

Такие вложения обеспечат значительные прямые выгоды, включая социальную, экономическую и климатическую отдачу. Тем не менее, в большинстве стран, для которых группа Всемирного банка готовит доклады о климате и развитии, объем инвестиций в водохозяйственный сектор составляет лишь 0,5% от их ВВП.

Для достижения целей устойчивого развития (ЦУР) требуется привлечение как государственных, так и частных финансов. Это позволит компенсировать недостаточный уровень инвестиций в прошлые годы.

Помимо водных ресурсов, в докладе особое внимание уделено переходным процессам в энергетике, транспорте и городском секторе. Отмечается необходимость активного перехода на «зеленую» энергию в транспортной отрасли, а также увеличения инвестиций в строительство новой инфраструктуры, направленной на снижение выбросов и обеспечение устойчивости.

В докладе подчеркиваются различия в климатическом воздействии на различные группы населения. Страны с низким уровнем дохода, включая малые островные развивающиеся государства, особенно уязвимы перед изменением климата. В то же время государства с высоким уровнем дохода сталкиваются с серьезными инфраструктурными рисками.

С учетом повышения температуры, прогнозируемого РКИК ООН, богатые страны должны взять на себя лидерство в процессах декарбонизации и обмена технологиями. Эксперты доклада отмечают, что для преодоления дефицита инвестиций, который составляет \$960 млрд ежегодно, крайне необходимо развивать государственно-частное партнерство, особенно в странах с низким уровнем дохода.

## **Более 70 % пресных водоносных горизонтов могут стать солеными к концу столетия<sup>5</sup>**

Ученые предупреждают о серьезной угрозе для прибрежных водоносных горизонтов: к 2100 году около 77 % из них столкнутся с проникновением соленой воды. Это может сделать источники пресной воды, от которых зависят более 2,5 миллиарда человек, непригодными для питья и сельского хозяйства.

Основными причинами этого явления являются повышение уровня моря и сокращение подпитки грунтовых вод, вызванные изменениями климата. Низменные регионы, такие как Юго-Восточная Азия, находятся в группе наибольшего риска.

Исследование, охватившее более 60 тысяч прибрежных водоразделов, показало, что 82 % из них будут затронуты из-за повышения уровня моря, а 45 % — из-за уменьшения поступления грунтовых вод.

Если не предпринять срочные меры, последствия для миллионов людей во всем мире могут быть катастрофическими, затрагивая доступ к питьевой воде, продовольственную безопасность и устойчивость экосистем. Ученые призывают к внедрению адаптационных стратегий, таких как управление водными ресурсами и защита береговой линии, чтобы минимизировать потенциальные риски.

---

<sup>5</sup> Источник: <https://www.gismeteo.ru/news/nature/bolee-70-presnyh-vodonosnyh-gorizontov-mogut-stat-solenymi-k-koncu-stoletiya/> Опубликовано 31.12.2024



# Информационные технологии в водном хозяйстве

## Как цифровые двойники трансформируют мир управления водными ресурсами<sup>6</sup>

Аня Эймер

Наводнения сегодня являются самым распространенным стихийным бедствием в мире. И хотя некоторые регионы подвержены этому явлению больше, чем другие экстремальные погодные условия, такие как проливные дожди и засуха, а также растущее население, которому к 2050 г. потребуется на 25 % больше воды, все это истощает мировые водные ресурсы. Почти половина населения планеты уже сталкивается с дефицитом воды, а к 2030 г. прогнозируется дефицит пресной воды на 40 %. При этом около 30% питьевой воды во всем мире теряется при распределении.

Срочно необходимы эффективные решения по управлению водными ресурсами, и цифровые двойники могут помочь в этой проблеме.

### Цифровое решение растущей проблемы

Создавая цифровую текущую запись — непрерывный поток данных и результаты аналитической обработки данных в режиме реального времени, которые помогают изменить то, как мы управляем водохозяйственными системами уже сегодня, цифровые двойники могли бы помочь сохранить воду.

Цифровые двойники могут создавать виртуальную модель реальных объектов или систем, которые можно подвергать различным сценариям и виртуальным условиям, чтобы принимать стратегические и точные решения на основе данных в режиме реального времени без необходимости проведения дорогостоящих физических испытаний. Это позволяет компа-

---

<sup>6</sup> Источник: Anja Eimer. How digital twins are transforming the world of water management | <https://smartwatermagazine.com/news/siemens/how-digital-twins-are-transforming-world-water-management> Опубликовано 19.11.2024

ниям получать бесценные сведения о прошлых, настоящих и будущих сценариях.

Например, цифровой двойник городской реки и окружающей ее застройки позволит местным властям моделировать изменения температуры, уровня и скорости течения реки, что поможет им лучше понять риски наводнений и разработать наиболее подходящие контрмеры для обеспечения более эффективного и устойчивого управления водными ресурсами.

Цифровые двойники являются не просто жизненно важным инструментом реагирования на стихийные бедствия. Они являются основополагающей технологией, которая поможет нам разработать систему водообеспечения будущего.

По словам Джеймса Коула, директора по инновациям Кембриджского института лидерства в области устойчивого развития, передовые цифровые решения, такие как «цифровые двойники», могут помочь преодолеть сложность, предоставляя операторам, пользователям и сотрудникам инструмент для лучшего понимания и оптимизации сложных систем, таких как водопользование и водораспределение.

### **От цифрового потока к реальному воздействию**

Компания «Lushan Water Supply» в Китае является лидером в этом направлении, использующая цифровые двойники для возрождения устаревшей водохозяйственной системы. Ежедневно эта система подает 25 000 тонн воды в Гулинг, курортное место в национальном парке Лу Маунтин, внесенном в список Всемирного наследия ЮНЕСКО.

До капитального ремонта система Гулинга, построенная в 1980-х гг., с трудом соответствовала современным стандартам охраны окружающей среды и развития, чтобы сохранить живописную достопримечательность для будущих поколений.

После других цифровых модернизаций, компания «Lushan Water Supply» внедрила программное обеспечение для моделирования, чтобы создать цифрового двойника водопроводной станции. Цифровой двойник анализирует уровни эффективности и стимулирует возможные оптимизации в режиме реального времени, прежде чем они будут применены в реальном мире. Выявляя эффективность в цифровом формате, компания максимизирует потенциал успеха, минимизируя затраты и сбои в работе. Эти инновации значительно сокращают потери воды и способствуют сохранению окружающей среды живописных ландшафтов региона, защищая их для будущих поколений.

Успех компании «Lushan Water Supply» является примером того, как технология «цифрового двойника» может повысить эффективность в местных масштабах. Однако с ростом темпов урбанизации, потребность в масштабируемых решениях по управлению водными ресурсами становится все более неотложной. Для решения более широких проблем управления водными ресурсами на местном и глобальном уровнях потребуется межсекторное взаимодействие.

Берлинский технический университет (TU) стал новатором в области сотрудничества, создав цифрового двойника насосной станции в своем испытательном центре «Water 4.0». Насосные станции, предназначенные для перемещения воды или сточных вод между объектами, играют жизненно важную роль в поддержании уровня воды в каналах и водообеспечении, а также в управлении сточными и паводковыми водами.

Цифровая насосная станция Берлинского технического университета объединяет важные данные о конструкции, эксплуатации и техническом обслуживании, полученные от ее физического аналога. Благодаря частично автономным системам, цифровой двойник может обнаруживать такие проблемы, как засорение насосов, и очищать их до засорения. В основе цифрового двойника лежит не простая демонстрационная установка, а полнофункциональная малогабаритная промышленная установка, оснащенная современными системами управления, датчиками и приводами. Университет использует цифрового двойника в качестве виртуальной инновационной песочницы, где каждый день разрабатываются и тестируются новые концепции оптимизации и решения по масштабированию, расширяя границы инноваций в области управления водными ресурсами.

Цифровой насос «Lushan Waterworks» и «TU Berlin» доказывает преобразующий потенциал цифровых двойников в управлении водными ресурсами. Сокращая время обслуживания до 30 % и расходы на обслуживание до 25 %, технология цифровых двойников может оказать значительное воздействие на управление водными ресурсами. А информация, полученная с помощью цифровых двойников, может оказать еще большее воздействие в большем масштабе.

### **Постижение будущего с помощью цифровых двойников**

Технология цифрового двойника является масштабируемым инновационным решением для обеспечения ответственного, эффективного и устойчивого использования самого ценного ресурса в мире как на местном, так и на глобальном уровнях.

Будь то управление водными ресурсами для городов, целых рек или даже океанов, этот цифровой подход будет определять будущее управления водными ресурсами.

В ближайшем будущем крупные города смогут полагаться на цифровые двойники для мониторинга и оптимизации систем водораспределения, что сделает их не только более устойчивыми, но и более экономичными и устойчивыми, обеспечивая надежное водообеспечение для миллионов людей.

Обеспечивая прогнозирование, необходимое для эффективного, ответственного и устойчивого использования водных ресурсов, а также предоставляя цифровые данные, мы можем опередить проблему дефицита воды и обеспечить людям во всем мире доступ к чистой воде.

Цифровые двойники могут помочь нам обеспечить сохранность нашего самого жизненно важного ресурса – воды – для будущих поколений.

## **Использование ИИ для прогнозирования речного стока и предотвращения наводнений<sup>7</sup>**

Недавние наводнения в Испании и других странах подчеркнули, что каждая минута, потраченная на предупреждение людей о приближающейся опасности, может спасти жизни и имущество. Новая статья в журнале *Hydrology* предлагает способ, который может помочь властям усовершенствовать протоколы эвакуации при наводнениях. Метод основан на модели машинного обучения, разработанной исследователями из университета Конкордия.

Кандидат наук Мохамед Альметвалли Ахмед и профессор Сэмюэль Ли, заведующий кафедрой строительства и экологического инжиниринга, создали методику, использующую искусственный интеллект для более точного прогноза речного стока на краткосрочную перспективу.

---

<sup>7</sup> Источник: AI can be used to predict river discharge and warn of potential flooding | <https://smartwatermagazine.com/news/concordia-university/ai-can-be-used-predict-river-discharge-and-warn-potential-flooding> Опубликовано 25.11.2024

Их исследование основывалось на измерении адвекции — скорости перемещения воды — между двумя гидрометрическими станциями на реке Оттава. В качестве тестового примера были выбраны две станции, расположенные на расстоянии примерно 30 км друг от друга. Нижняя станция не функционировала в течение многих лет, тогда как верхняя оставалась активной.

Для работы модели были использованы исторические данные, собранные правительством Канады за десятилетия, а также метеорологическая информация, включая данные о количестве осадков, температуре и влажности. Введя эти параметры в модель машинного обучения, исследователи смогли в реальном времени оценивать объем воды, проходящей через конкретный участок реки.

Суточные прогнозы (на срок менее 24 часов) особенно полезны для планирования эвакуации. По словам авторов, предложенный метод обеспечивает более точные прогнозы в сравнении с традиционными моделями, которые работают с более длительными временными интервалами. Точность модели повышается с уменьшением времени прогнозирования, что делает её особенно эффективной в условиях наводнений.

### **Прозрачная и переносимая модель**

Исследователи опирались на существующий тип алгоритмов, называемый групповым методом обработки данных. Этот метод строит прогностические модели путем сортировки и объединения данных в группы, где они вычисляются в различных комбинациях несколько раз, пока не будет определена наилучшая и наиболее надежная комбинация данных.

В этом методе используются девять предикторов: семь погодных параметров и исторические данные с двух гидроэлектростанций. Модель ранжирует и пересортировывает эти параметры, создавая многочисленные комбинации, пока не сделает цифровой выбор предикторов. Важно отметить, что модель не обязательно использует все предикторы или взвешивает их одинаково. Она использует те, которые оказываются наиболее точными.

Модель меняется в зависимости от временных рамок. Модель, предсказывающая разгрузку на 12 часов вперед, будет отличаться от модели, предсказывающей на 8, 9 или 10 часов вперед.

Модель также меняется от реки к реке. Для проверки этого Ахмед провел дополнительные вычисления на данных, взятых из рек Бойсе и Миссури в США.

По мере развития этого метода, создатели этого метода думают, что смогут использовать его в оперативном режиме, где люди смогут проверять оценки стоков рек на своих телефонах, как они делают прогноз погоды. Вместо того, чтобы давать им оценки температуры или осадков в какой-то момент в будущем, исследователи могут предоставить им уровни воды.

Ахмед, который изучает подготовку к эвакуации от наводнений, считает, что эта модель является лишь одним из инструментов, которые власти надеются использовать в преддверии катастрофических наводнений.

По словам Ахмеда, он хочет, чтобы эти данные использовались в качестве исходных данных для своих моделей для подверженных наводнениям районов. Используя этот инструмент, можно будет им помочь в прогнозе, какие дороги будут доступны для эвакуации, что даст планы действий для местной транспортной системе в режиме реального времени, которые могут спасти жизни и имущество.

## **ИИ для управления активами с целью повышения надежности системы водообеспечения и плотин<sup>8</sup>**

Решения по управлению эффективностью активов, включающие искусственный интеллект, теперь могут анализировать огромные массивы данных от датчиков и систем управления для прогнозирования отказов оборудования в системах водообеспечения и плотинах, оптимизации графиков ремонта и технического обслуживания, а также улучшения процесса принятия решений. Об этом рассказывает Стейси Джонс, менеджер по портфолио управления эффективностью активов в компании АВВ.

Управление эффективностью активов (АРМ). Этот термин сегодня настолько широко распространен в различных отраслях промышленности, особенно в тех, которые обладают цепочкой создания стоимости высокого уровня, например в глобальном водохозяйственном секторе и эксплуата-

---

<sup>8</sup> Источник: AI-driven asset performance management for water and dam reliability | <https://www.waterpowermagazine.com/analysis/ai-driven-asset-performance-management-for-water-and-dam-reliability/> Опубликовано 18.12.2024

ции плотин, что легко забыть, что он означает, почему имеет решающее значение для современных промышленных операций и как быстро развивается.

Несмотря на переход к более проактивным стратегиям ремонта и технического обслуживания, предприятия продолжают сталкиваться с непредвиденными сбоями и инцидентами, влияющими на производительность и безопасность. Текущие нестабильные экономические условия привели к сокращению финансирования и уменьшению численности персонала на местах, что усиливает необходимость в удалённом доступе, автоматизации и эффективном управлении рисками. Кроме того, возрастает потребность в максимизации отдачи от существующих активов.

Для руководителей водоканалов, операторов плотин, инженеров по инфраструктуре и управляющих активами это означает необходимость минимизации дорогостоящих простоев и экологических рисков, а также эффективного управления растущими затратами на ремонт и техническое обслуживание. Эти вызовы обусловлены старением инфраструктуры, усиливающимся давлением со стороны регулирующих органов, экологическими проблемами, такими как дефицит воды и изменение климата, а также ростом стоимости энергии.

В данной статье мы рассмотрим, как технологии искусственного интеллекта, включая машинное обучение (ML), предиктивную аналитику и цифровые двойники, применяются в рамках управления эффективностью активов (Asset Performance Management, APM). Эти технологии помогают решать указанные проблемы, повышая надежность и долговечность таких объектов, как турбины, насосы и системы управления. Кроме того, их использование позволяет снизить воздействие на окружающую среду при эксплуатации водохранилищ и плотин за счет оптимизации управления ресурсами и энергопотреблением.

### **Что такое управление эффективностью активов?**

Проще говоря, управление эффективностью активов — это стратегический подход к управлению и оптимизации активов, позволяющий компаниям из различных отраслей промышленности прогнозировать сбои в технологических процессах в режиме реального времени. Такой подход повышает надежность, доступность и ремонтпригодность критически важного оборудования за счет использования предиктивного (упреждающего), а не реактивного обслуживания. Это, в свою очередь, позволяет с большей уверенностью достигать ключевых показателей эффективности в области производства, безопасности и устойчивости.

Несмотря на это, текущий промышленный стандарт для вращающегося оборудования малого и среднего размера практически исключает мониторинг состояния (Condition Monitoring, CM). Как только измеренные параметры считаются находящимися в пределах «нормы», собранная информация зачастую игнорируется или выбрасывается. В результате промышленные операторы упускают возможность использовать свой самый ценный ресурс — данные, которые могли бы быть применены для увеличения времени безотказной работы, повышения производительности и увеличения прибыльности.

Однако ситуация меняется. Снижение стоимости беспроводных технологий, использующих такие протоколы связи, как Bluetooth и WirelessHART, делает капитальные затраты на их внедрение более доступными. Это открывает возможности для круглосуточного мониторинга активов по всей цепочке создания стоимости, что становится экономически эффективной альтернативой ручному и нерегулярному мониторингу состояния.

Кроме того, АРМ, основанное на данных для вращающихся, электрических и контрольно-измерительных активов, упрощает интеграцию удаленного и беспроводного мониторинга состояния на периферийных устройствах (Edge) в существующую операционно-технологическую (OT) инфраструктуру. После подключения данные могут быть проанализированы, а результаты или аварийные сигналы становятся доступными через электронную почту или общие информационные панели, как локальные, так и облачные.

### **ИИ и цифровые двойники: появление АРМ 4.0**

Сейчас трудно поверить, но всего несколько десятилетий назад большинство решений в области управления эффективностью активов основывалось на подходе «реагирование после того, как оборудование выйдет из строя». В этом случае оборудование приходилось останавливать для проведения незапланированного ремонта и технического обслуживания, что в четыре-пять раз дороже, чем использование количественного анализа рисков и текущего состояния оборудования для приоритизации технического обслуживания, а также предотвращения незапланированных простоев и инцидентов, связанных с безопасностью.

Следующим этапом развития стало плановое техническое обслуживание, при котором определялось время, когда оборудование могло выйти из строя, чтобы провести ремонт заранее. Однако этот подход имел свои недостатки: он применялся ко всем активам одинаково, не учитывая их



критическую важность для производства, что приводило к неуправляемым задержкам в обслуживании.

Именно тогда АРМ сделало значительный шаг вперед, перейдя к ремонту и техническому обслуживанию, основанному на оценке рисков, с использованием анализа возможных неполадок и их последствий, а также подхода, ориентированного на надежность, для приоритизации критически важных активов. Это стало значительным улучшением, однако ремонт и техническое обслуживание по-прежнему основывались (и в некоторых случаях продолжают основываться) на том, как активы функционировали в прошлом (т.е. выходили из строя). В то время как на практике 82 % отказов активов происходят в случайные промежутки времени. Целью управления эффективностью активов (АРМ 4.0) является использование данных в режиме реального времени для резкого сокращения незапланированных отказов оборудования.

Давайте проиллюстрируем этот момент с помощью аналогии физического осмотра. Если врач спрашивает пациента, как он себя чувствует, вместо того чтобы измерять его температуру, анализировать кровь и проводить другие обследования, он получит лишь половину картины. Очевидно, что более количественная информация позволяет принимать гораздо более обоснованные решения. Промышленное обслуживание активов, ориентированное на реальную потребность, может снизить затраты на ремонт и техническое обслуживание на 20-30%, а время простоя оборудования — на 20-50%.

Цифровые двойники, представляющие собой цифровые копии материальных активов, также развиваются, предоставляя отраслям возможность моделировать и оптимизировать критически важные процессы и сценарии без воздействия на реальные операции. Компания «АВВ» использует гибридный подход к моделированию. Мы начинаем с решения, основанного на физических принципах, которое использует традиционные методы, такие как термодинамика и гидравлика. Затем мы применяем модели с встроенным искусственным интеллектом и машинным обучением для обнаружения аномалий, которые не могут быть обнаружены только с помощью моделей, основанных на физических принципах.

Комбинируя модели, основанные на правилах, физических и данных, мы создаем «гибридную» модель, которая создает цифрового двойника, используя информацию, извлеченную из измерений реального оборудования. Далее команда «АВВ» применяет термодинамику для оценки необходимых параметров и использует диагностические модели для проведения сценариев «Что-Если», которые помогают выявлять неисправности и устранять узкие места.

## Управление эффективностью активов в водохозяйственном секторе и индустрии плотин

Как показано, технологии искусственного интеллекта, включая машинное обучение, прогнозируемую аналитику и цифровые двойники, успешно интегрируются в инструменты управления эффективностью активов. Они анализируют обширные наборы данных с датчиков и систем управления, что позволяет предсказывать отказы активов, оптимизировать графики ремонта и технического обслуживания, а также улучшить процесс принятия решений.

Для операторов водохозяйственного сектора и эксплуатации плотин эти технологии предоставляют ряд преимуществ, включая:

- Повышение надежности и долговечности критически важных активов, таких как турбины, насосы и системы управления.
- Возможность более точно прогнозировать деградацию активов, что способствует снижению незапланированных простоев и дорогостоящих ремонтов.
- Повышение эффективности работы за счет принятия решений на основе данных, что позволяет осуществлять более упреждающее техническое обслуживание и оптимизировать распределение ресурсов.
- Снижение воздействия на окружающую среду благодаря оптимизированному управлению водными ресурсами и энергопотреблением.

Основные характеристики АРМ-решения «АВВ» включают прогнозируемое обслуживание (с возможностью снижения затрат на ремонт и техническое обслуживание более чем на 15%), мониторинг в режиме реального времени, оптимизацию ресурсов (с возможностью повышения общей производительности на 8% и более), увеличение срока службы активов (на 25% и более), а также соблюдение экологических и нормативных требований.

Давайте рассмотрим, как это работает в реальных условиях. В Италии компания «АВВ» предоставляет решения для прогнозируемого обслуживания, которые позволяют крупному оператору ГЭС, работающему на 33 объектах с примерно 100 гидроагрегатами, перейти от почасового обслуживания к обслуживанию, основанному на прогнозах и текущем техническом состоянии оборудования.

Контракт включает в себя цифровые программные решения и услуги, обеспечивающие анализ более 190 000 сигналов и развертывание около 800 моделей цифровых активов. Главная цель проекта — улучшение эксплуатационных характеристик станции, сокращение незапланированных

сбоев и внедрение более эффективных методов планового обслуживания через прогнозируемое обслуживание. Предполагается, что интеграция системы компании «ABB» приведет к экономии средств как в части расходов на эксплуатацию активов, так и к повышению производительности ГЭС.

Центр совместных операций ABB Ability™ для производства электроэнергии и водоснабжения помогает достичь более широких выгод от цифровых технологий и взаимодействия, поддерживая информированное принятие решений, решения в реальном времени и экономию. Центр предоставляет аналогичные цифровые решения и передовые приложения для более чем 700 электростанций, водохозяйственных объектов и зарядных станций для электромобилей по всему миру.

### **Перспективные операции с использованием управления эффективностью активов**

Интеграция цифровых инноваций, таких как искусственный интеллект (ИИ), машинное обучение, цифровые двойники и большие данные, в более традиционные системы АРМ представляет собой значительный шаг вперед в управлении промышленными активами на всех этапах их жизненного цикла. Это предоставляет операторам водоканалов, операторам плотин, инженерам по инфраструктуре и менеджерам по управлению активами уникальную возможность видеть все их операции в едином контексте, переходя к прогнозируемому техническому обслуживанию. Это, в свою очередь, помогает сократить время простоя, оптимизируя производство, безопасность и устойчивость.

Системы управления эффективностью активов нового поколения разрабатываются для удовлетворения растущего спроса на более совершенные решения, которые способны справляться с вызовами современной водохозяйственной инфраструктуры, такими как устаревшие активы, строгие нормативные требования и экологические проблемы. Эти умные решения, стратегически развернутые в партнерстве с надежными поставщиками технологий, могут изменить подход к мониторингу и обслуживанию критических активов, обеспечивая устойчивое будущее для водоснабжения.

Стратегически развернутые в партнерстве с надежными поставщиками технологий, эти умные решения могут изменить подход к мониторингу и обслуживанию критических активов, обеспечивая перспективные операции и гарантируя, что водоснабжение продолжает функционировать бесперебойно.

## **Новая модель проливает свет на проблему снижения уровня подземных вод, интегрируя решения по орошению и использованию подземных вод<sup>9</sup>**

Согласно новому анализу, устойчивые темпы забора подземных вод в бассейне Харни в штате Орегон были превышены за 20 лет до момента, когда снижение уровня подземных вод стало общепризнанным фактом.

Позднее понимание проблем воздействия использования подземных вод – это лишь один из выводов нового исследования, связывающего экономику сельского хозяйства и гидрологию подземных вод в бассейне Харни. Экономисты университета штата Орегон и гидролог геологической службы США разработали модель по взаимодействию и обратной связи между решениями по орошению фермерских хозяйств и уровнями подземных вод, чтобы лучше понять причины и возможные решения проблемы снижения уровня подземных вод.

По словам профессора прикладной экономики университета штата Орегон Уильяма Джегера, управлять подземными водами сложно, поскольку они скрыты под землей и плохо изучены. Подземные воды расточительно расходуются, и без эффективного регулирования, у отдельных водопользователей появляется искушение не учитывать интересы других. Это может привести к негативным последствиям для всех водопользователей и окружающей среды.

Уровень подземных вод снижается по всему миру, в том числе в США и других частях Орегона, что приводит к уменьшению стока рек и ручьев, уменьшению количества воды в водно-болотных угодьях, высыханию колодцев и, в некоторых случаях, проседанию почвы.

Как методы моделирования, так и результаты исследования будут полезны руководителям и исследователям за пределами округа Харни и Орегона, говорит Джагер.

Бассейн Харни является малонаселенным, полузасушливым регионом на юго-востоке Орегона, где откачка грунтовых вод увеличилась с 1990-х гг., что привело к снижению уровня подземных вод за последние два десятилетия. Это оказало неблагоприятное воздействие на фермеров,

---

<sup>9</sup> Источник: New model sheds light on groundwater declines by linking irrigation decisions and groundwater use | <https://www.sciencedaily.com/releases/2024/11/241120144847.htm> Опубликовано 20.11.2024

которые используют подземные воды для орошения, а также зависят от бытовых скважин и экологических стоков, включая те, которые обслуживают национальный заповедник дикой природы Малер. Это привело к недавнему вниманию со стороны государственных и федеральных агентств, стремящихся понять причины, масштабы и возможные решения проблемы.

В новом исследовании, которое было опубликовано в научном журнале «Water Resources Research», анализ показывает, что несколько решений, которые наблюдатели считают многообещающими, ничем не помогут в стабилизации гидрогеологических условий. Например, в сценарии, требующем использования более водосберегающих технологий орошения, откачиваемая вода всего на 5% ниже, чем в сценарии статус-кво, что обеспечивает лишь незначительные улучшения.

Сценарии показывают, что только путем ограничения темпов откачки грунтовых вод почти наполовину, позволяет прогнозируемым мерам остановить снижение уровня подземных вод, исключить высыхание скважин, не используемых для орошения и стабилизировать экологические стоки. Такой масштаб изменений в экономике орошения подземными водами, приведет к снижению доходов фермерских хозяйств по сравнению со сценарием статус-кво на \$7,5–9 млн ежегодно.

Исследователи создали гидро-экономическую модель на основе подробных геологических, климатических и скважинных данных для гидрогеологической системы, а также данных по землепользованию, производству культур и экономике сельского хозяйства для сельскохозяйственной системы. Модель также освещает воздействие на бассейн в целом на скважины, не используемых для орошения и на экологические стоки.

Исследователи использовали модель для моделирования сценариев на 30 лет вперед в условиях «статус-кво» и 14 альтернативных сценариев, представляющих действия, направленные на стабилизацию уровня подземных вод.

В условиях статус-кво модель показывает продолжающееся снижение уровня подземных вод, в среднем на 4,27 метра и до 18, 28 метров в некоторых районах за 30-летний период моделирования. Кроме того, прибыль фермерских хозяйств снижается на 10%, 65 дополнительных скважин пересыхают, а экологические стоки сокращаются на 19%.

Другие сценарии моделируют неиспользуемые орошаемые земли, замедление темпов откачки в районах, где согласно прогнозам, уровень подземных вод будет снижаться наиболее значительно, установление ограничений на объем подземных вод, которые могут быть откачены и ограничение прав мелких водопользователей на воду. Все возможные сценарии приводят к снижению годовой прибыли фермерских хозяйств к 30-му году моделирования. Сокращение варьируется от \$2 млн в соответствии

с траекторией статус-кво до почти \$14 млн в соответствии со сценарием, который снизил бы максимальные темпы откачки до четверти уровня 2018 г.

Модельные расчеты показывают, что стабилизация уровня подземных вод, прекращение высыхания бытовых колодцев и стабилизация экологических стоков бассейна потребуют существенного замедления темпов откачки, что приведет к снижению прибыли тех, чья откачка будет сокращена.

Эта ситуация демонстрирует структурную проблему управления подземными водами в Орегоне. Законы штата о водных ресурсах ограничивают способность руководителей реагировать и адаптироваться к меняющимся обстоятельствам, в отличие от правил для других ресурсов, таких как океаническое рыболовство, которое также неопределенно и весьма изменчиво. Для многих прибрежных рыболовных хозяйств общий допустимый улов устанавливается управляющими, и этот показатель может корректироваться из года в год для обеспечения долгосрочной устойчивости. У руководителей водного сектора, ответственных за подземные воды в штате Орегон нет таких инструментов.

## **Новый обзорный документ по оптимизационным моделям для управления водными ресурсами<sup>10</sup>**

Как нам наилучшим образом использовать существующую водохозяйственную инфраструктуру? И как мы помогаем руководителям водного сектора сбалансировать различные интересы, с которыми они сталкиваются в своей повседневной работе? Методы оптимизации для оперативного управления водными ресурсами впервые были собраны компанией «Deltares» в обзорной статье «Методы оптимизации в работе водохозяйственных систем». Авторы собрали методы оптимизации, которые они использовали на практике, и статья предназначена для (будущих) руководителей водного сектора. В то же время авторы приглашают коллег-ученых

---

<sup>10</sup> Источник: New overview paper of optimisation models for water management | <https://smartwatermagazine.com/news/deltares/new-overview-paper-optimisation-models-water-management> Опубликовано 18.11.2024

к дальнейшей разработке методов оптимизации конкретно для управления водными ресурсами.

Управление водными ресурсами должно учитывать все большее число социальных проблем: безопасность воды, энергетический переход, восстановление природы, качество питьевой воды и экономический прогресс. Для руководителей польдерных насосных станций и шлюзов это означает, что они должны учитывать множество факторов в своей повседневной работе. Например, откачка воды в низинах сопровождается выбросами  $\text{CO}_2$ , но при этом она необходима для осушения. В других странах энергия вырабатывается с помощью потока воды; как можно увеличить выработку энергии на гидроэлектростанции, соблюдая при этом экологические требования, такие как безопасное прохождение рыб.

По словам Бернхарда Беккера, эксперта по управлению водохранилищами и владельца программного обеспечения «RTC-Tools, руководителям водного сектора часто приходится балансировать между различными и иногда противоречивыми интересами, такими как защита от наводнений и хранение воды для летнего питьевого водоснабжения. Оптимизационные модели помогают определить приоритеты и разрешить противоречивые цели, а также более эффективно использовать существующую водохозяйственную инфраструктуру.

## **Проблемы будущего**

Гидравлические модели являются обычной практикой для руководителей водного сектора при разработке исследований и для поддержки оперативных решений. Эти модели в основном показывают влияние определенного управления на водохозяйственную систему. Оптимизационные модели являются более продвинутыми, поскольку они показывают, как именно следует управлять для достижения определенных целей, например: осушение за счет оптимального использования насосов и шлюзов, низкие затраты на электроэнергию (или низкие выбросы  $\text{CO}_2$ ) для насосных станций, максимальное производство энергии за счет гидроэнергетики или управление насосными станциями или турбинами, обеспечивающие безопасность рыб.

Методы оптимизации помогают сделать использование существующей водохозяйственной инфраструктуры перспективным, например, сократить энергопотребление для управления водными ресурсами, что положительно сказывается на энергетический переход, повысить уровень безопасности воды за счет лучшего использования пространства для хранения

в водохранилищах и интеллектуального управления польдерными насосными станциями.

### **Бережный расход**

Перечисляя методы оптимизации и указывая, какой метод лучше всего использовать, основываясь на практическом опыте, авторы статьи «Optimization» стремятся распространить знания среди нынешних и будущих руководителей водного сектора. Между тем, специально разработанное программное обеспечение стало доступно для разработчиков моделей с целью создания собственных оптимизационных моделей, что также обеспечит практическое использование знаний, полученных из статьи. «Deltares» также предлагает программное обеспечение для разработки оптимизационных моделей: «RTC-Tools». Модели «RTC-Tool» уже используются в повседневной работе нескольких водохозяйственных организаций.

Цель авторов является содействие в более эффективном использовании существующей водохозяйственной инфраструктуры. Новые шлюзы, насосные станции или насосы стоят дорого, к тому же изменение климата вызывает все более неустойчивые условия и более частые наводнения. В этих условиях, руководители водного сектора должны и дальше принимать меры по обеспечению безопасной воды.

Клаудия Хорват, разработчик оптимизационного моделирования по управлению на основе прогнозирующих моделей компании «Deltares» объясняет, что, управление на основе моделирования с использованием оптимизационных моделей является повседневной практикой в отрасли. Однако оперативное управление водными ресурсами сопряжено с определенными трудностями: большая система с множеством гидротехнических сооружений, меняющиеся гидрологические условия с такими экстремальными явлениями, как наводнения или засухи, а также линейные и нелинейные уравнения с непрерывными и дискретными элементами, и это лишь несколько примеров.

### **Неопределенности**

Наводнения требуют предвидения будущих событий, а управление водными ресурсами сопряжено со многими неопределенностями. Специальные методы оптимизации позволяют учесть эти неопределенности.



Хесус Андрес Родригеса-Сарасте, эксперт по исследованию операций и стохастической оптимизации компании «Deltares» объясняет, что у исследователей компании есть методы, готовые справиться с гидрологической неопределенностью, но в оперативном управлении водными ресурсами есть и другие источники неопределенности. Например, цены на энергоносители, спрос на энергию и воду, которые также вносят неопределенность.

### **Линейность**

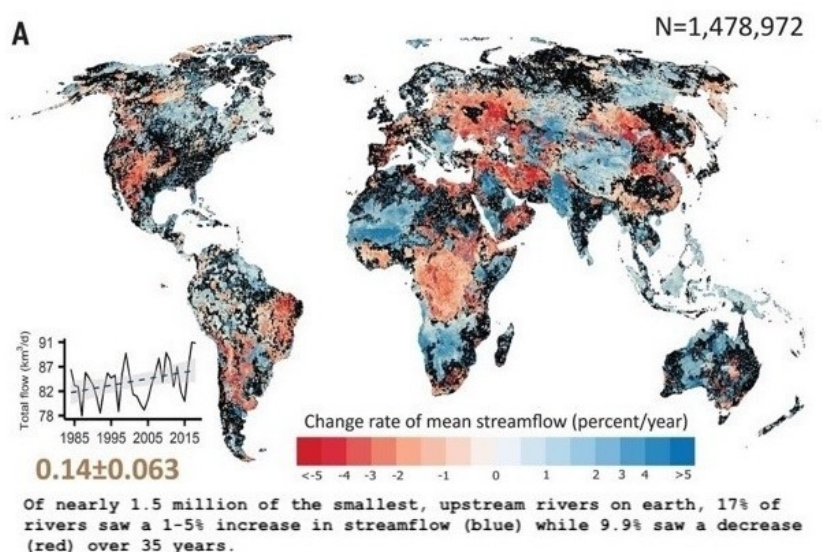
Для оптимального управления структурами нам необходимо интегрировать те же уравнения, которые есть в наших гидравлических моделях, в оптимизационные модели. Эти уравнения часто бывают нелинейными. Однако методы оптимизации лучше всего работают с линейными уравнениями.

Основным элементом оптимизационной модели является так называемый оптимизационный решатель. Для разных типов оптимизационных задач (линейных, нелинейных, непрерывных, дискретных) существуют и разные решатели. В данной статье авторы стремятся дать разработчикам оптимизационных решателей понять, в чем заключаются сложности при разработке оптимизационных моделей для управления водными ресурсами, и предложить им пути их решения.

Айбхе Митчелл, эксперт по исследованию операций, математической оптимизации компании «Deltares», сказала, что, если исследователи смогут показать необходимость решения нелинейных уравнений в моделях оптимизации, то есть уверенность в том, что сообщество исследователей технологических операций примет вызов и продолжит разработку решателей для задач нелинейной оптимизации.

## Наводнения, недостаток воды, понижения уровня воды в дельтах рек: гидрологи составляют карту меняющихся речных ландшафтов<sup>11</sup>

В новом исследовании, опубликованном в журнале «Science», ученые из Массачусетского университета и университета Цинциннати впервые составили глобальную карту изменений рек за последние 35 лет. Результаты работы показали, что в 44 % крупнейших рек, расположенных в нижнем течении, объем воды, проходящей через них ежегодно, сократился, тогда как в 17 % самых маленьких рек в верхнем течении он увеличился. Эти изменения оказывают серьезное влияние на частоту наводнений, разрушение экосистем, развитие гидроэнергетики и обеспечение пресной водой.



Ранее попытки количественно оценить изменения в реках ограничивались изучением отдельных участков стока или задней части речного бассейна, отмечает Донгмэй Фэн, ведущий автор исследования, доцент университета Цинциннати и бывший научный сотрудник лаборатории «Fluvial@UMass», которой руководит соавтор работы Колин Глисон, про-

<sup>11</sup> Источник: Floods, insufficient water, sinking river deltas: hydrologists map changing river landscapes | <https://smartwatermagazine.com/news/university-massachusetts-amherst/floods-insufficient-water-sinking-river-deltas-hydrologists> Опубликовано 13.12.2024

фессор гражданского и экологического строительства в Массачусетском университете в Амхерсте.

По словам Донгмэй Фэн реки нельзя рассматривать изолированно. «Даже если исследователи сосредотачиваются на одном участке реки, важно учитывать, как это влияет как на верхнее, так и на нижнее течение. Мы рассматриваем речную систему как единый, органически взаимосвязанный организм. Основной вывод нашего исследования заключается в том, что реки по-разному реагируют на внешние факторы — такие как изменения климата или человеческая деятельность. Мы представляем более детализированную картину этих процессов», — поясняет она.

Скорость течения реки, также известная как расход воды, описывает объем воды, который проходит через реку и измеряется в м<sup>3</sup>/с или галлонах в день. Сегодня скорость течения измеряется вручную, с использованием специального инструмента – акустического доплеровского измерителя течения, который перемещается по поверхности реки. Эти данные затем комбинируются с автоматическими измерениями глубины реки, что позволяет рассчитывать скорость течения на протяжении времени. Однако этот метод позволяет измерить расход воды только в определенной точке и в конкретное время, что ограничивает доступность данных о расходах.

По словам Колина Глисона, в мире существует около 10-15 тысяч малых участков, где мы знаем точные данные о речных стоках — среди миллионов километров рек по всей планете.

Тем не менее, Донгмэй Фэн и Колин Глисон разработали новый подход, который использует спутниковые данные и компьютерное моделирование для получения информации о скорости течения рек в 3 миллионах ручьев по всему миру. Как утверждает Глисон, теперь они могут отслеживать скорость течения каждой реки в каждый день на протяжении 35 лет. Некоторые реки изменяются на 5-10% в год, что является значительными и быстрыми изменениями. Ранее ученые не знали, как эти скорости течения изменяются или какие реки изменились за этот период, но теперь эта информация доступна.

Значительное сокращение водных ресурсов в реках ниже по течению приводит к дефициту пресной воды на больших участках многих рек по всему миру. Это оказывает серьезное влияние на питьевое водоснабжение и орошение.

Сообщества, использующие речную воду для орошения и снабжения питьевой водой, сталкиваются с вопросом: если уровень воды падает, является ли такое использование устойчивым? «Можете ли вы расширить свой город? Можете ли вы увеличить его площадь? Можете ли вы увеличить количество акров, отведенных под сельское хозяйство? Может ли река поддерживать такие изменения? Мы точно не знаем, почему это проис-

ходит, но понимаем, что такие изменения могут иметь значительные последствия».

Снижение скорости течения также означает, что река теряет способность перемещать грязь и мелкие камни в своем русле. Движение этих наносов вниз по течению способствует образованию дельт и играет важную роль в противодействии подъему уровня моря. Поэтому потеря этой способности оказывает пагубное влияние на дельты, особенно на фоне строительства плотин, которые ограничивают количество наносов, способных перемещаться по реке.

В более мелких участках рек, расположенных вверх по течению (обычно ближе к горам), наблюдается обратная тенденция: 17% рек демонстрируют увеличение стока. Однако, как отмечает Колин Глисон, это явление не является однородным, поскольку в 10% рек сток, наоборот, сокращается. Увеличение объема стока в этих небольших реках может оказать серьезное влияние на окружающие их сообщества. Исследования показали, что количество крупных наводнений в этих реках увеличилось на 42%. В качестве примера Колин Глисон приводит недавние события в Вермонте.

Донгмэй Фэн добавляет, что наводнения могут быть катастрофическими для людей, но для видов, обитающих выше по течению, они могут быть полезными. Наводнение приносит важные питательные вещества и способствует миграции рыб. Местные жители вблизи западной части реки Амазонки, например, сообщили, что миграция рыб в этом регионе увеличилась, поскольку наводнения стали происходить чаще. Это означает, что увеличивается количество стока, необходимого для миграции рыбы.

Увеличение скорости течения в верховьях рек может также вызвать неожиданные изменения в области гидроэнергетики, особенно в высокогорных районах Азии, таких как Непал и Бутан. «Увеличение стока речного канала означает, что сила эрозии значительно возросла, и она переносит больше наносов вниз по течению», — говорит Донгмэй Фэн. Это становится проблемой для стран, стремящихся развивать более чистые источники энергии, поскольку эти наносы могут засорить гидроэлектростанции.

Хотя в статье невозможно дать точную количественную оценку причин и последствий, исследователи уверены, что основными факторами этих изменений являются изменение климата и деятельность человека. Речные регионы вверх по течению в целом наблюдают увеличение осадков. Таяние снега в высокогорных районах, где обычно холодно, скорее всего, более чувствительно к изменениям климата, что приводит к увеличению таяния снега в этих регионах. Деятельность человека включает в себя забор воды из рек для питьевого водоснабжения, а также сброс сельскохозяйственных и сточных вод.

Колин Глисон добавляет, что эта статья является важным шагом: «Если вы не понимаете, что происходит, вы не сможете понять, почему это важно. Люди, живущие вдоль этих рек, конечно, знают о существующих проблемах, но если вы аналитик по вопросам политики и пытаетесь определить лучшее место для новой гидроэлектростанции среди 100 возможных кандидатов, то измерить характеристики 100 разных рек — задача непростая. [Коллеги по водным системам говорят, что] вы были бы поражены тем, сколько мест, особенно с ограниченными ресурсами, принимают важные решения о климате, водных ресурсах и инфраструктурных проектах практически без данных. Моя надежда заключается в том, что все смогут использовать эти данные, понять их и, возможно, принимать более обоснованные решения».

## **Спутники показывают резкое падение уровня пресной воды в мире<sup>12</sup>**

Глобальное сокращение запасов пресной воды: исследователи обсуждают возможные последствия и связь с изменением климата, представляя тревожные данные и прогнозы.

Международная группа ученых, используя данные со спутников США и Германии, обнаружила, что общий объем пресной воды на Земле резко сократился с мая 2014 года и остается на низком уровне до сих пор. В статье в журнале *Surveys in Geophysics* исследователи предположили: это может указывать на то, что континенты Земли вошли в фазу постоянной засухи.

С 2015 по 2023 год спутниковые измерения показали, что среднее количество пресной воды на Земле, включая жидкую поверхностную воду в озерах и реках, а также воду в подземных водоносных слоях, было на 1 200 кубических километров ниже среднего уровня с 2002 по 2014 год. С лица Земли исчезло количество воды сравнимое, например, с озером Селигер.

---

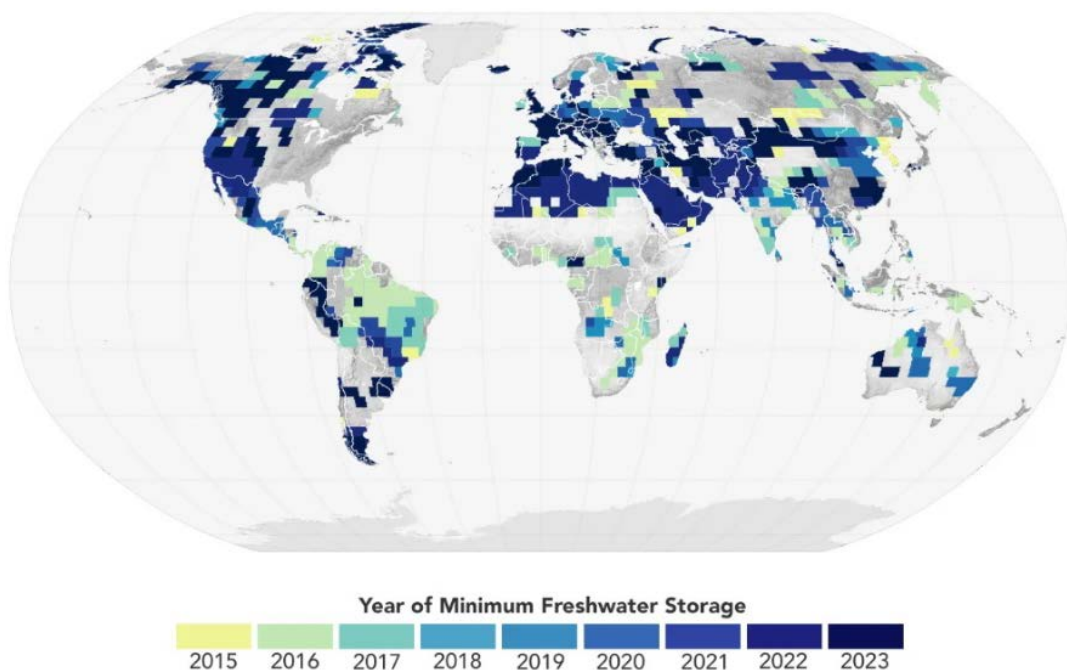
<sup>12</sup> Источник:

[https://naukatv.ru/news/sputniki\\_nasa\\_pokazyvayut\\_rezkoe\\_padenie\\_urovnya\\_presnoj\\_vody\\_v\\_mire](https://naukatv.ru/news/sputniki_nasa_pokazyvayut_rezkoe_padenie_urovnya_presnoj_vody_v_mire)  
Опубликовано 18.11.2024

С учащением засух и с ростом площадей, отданных под орошаемое сельское хозяйство, города все чаще полагаются на подземные воды, что может привести к истощению запасов: пресная вода иссякает, а дожди и снег не пополняют их. Это создает нагрузку на сельхозпроизводителей и общество, что может привести к голоду, конфликтам, бедности и увеличению риска заболеваний (при использовании загрязненных источников воды).

Исследователи выявили резкое глобальное снижение запасов пресной воды, используя данные с гравитационных спутников GRACE, которые измеряют колебания в гравитационном поле Земли, позволяющие определить изменения в массе воды.

Снижение началось с сильной засухи в северной и центральной Бразилии и затем усугубилось серией крупных засух в Австралии, Южной и Северной Америке, Европе и Африке. Повышение температуры океана в тропической части Тихого океана с конца 2014 до 2016 года, что привело к одному из самых значительных Эль-Ниньо с 1950 года, вызвало изменения в атмосферных струях, изменившие погоду и осадки по всему миру. Однако даже после ослабления Эль-Ниньо мировые запасы пресной воды не восстановились. Фактически, согласно отчету, 13 из 30 самых сильных засух, наблюдаемых GRACE с января 2015 года, произошли именно в этот период.



Глобальное потепление может способствовать устойчивому истощению запасов пресной воды. Оно заставляет атмосферу удерживать больше водяного пара, что приводит к более экстремальным осадкам. Хотя уровни годовых осадков могут меняться незначительно, длительные периоды между интенсивными ливнями позволяют почве высыхать и становиться более плотной, уменьшая количество влаги, которую она может поглотить во время дождя. Вода стекает, вместо того чтобы впитываться и пополнять запасы подземных вод.

В глобальном масштабе уровни пресной воды остаются стабильно низкими с Эль-Ниньо 2014-2016 годов, в то время как больше воды остается в атмосфере в виде пара. Повышенные температуры увеличивают как испарение воды с поверхности в атмосферу, так и водопоглощаемость атмосферы, увеличивая время и интенсивность засух.

Остается неясным, восстановятся ли запасы пресной воды, стабилизируются или продолжат снижаться. Учитывая, что девять самых теплых лет с начала наблюдений совпали со спадом пресной воды, авторы отмечают: «Мы не думаем, что это случайность, и это может быть предвестником грядущих изменений».

## Азия

### **Увеличение стоков: как изменение климата усиливает наносы в высокогорных реках<sup>13</sup>**

Многие высокогорные реки Азии сегодня переносят больше наносов вниз по течению, чем несколько лет назад. Эти изменения оказывают значительное влияние на сельское хозяйство, качество воды, управление наводнениями и производство гидроэлектроэнергии. Исследование, проведенное с участием Потсдамского университета, подчеркивает взаимосвязь между ледниками, растительностью, осадками и уклоном местности в процессах мобилизации и переноса наносов в реках.

Для противодействия изменениям климата авторы исследования призывают применять систематический подход к управлению водными ресурсами на уровне всего речного бассейна в высокогорных районах.

Как отметил Бодо Букхаген, профессор дистанционного зондирования в геологии Потсдамского университета, удельный уровень наносов в водосборных бассейнах с высоким ледниковым покровом в среднем на порядок выше, чем в бассейнах без ледников. При этом азиатские водосборные бассейны, замерзшие большую часть года, характеризуются значительно более высоким уровнем наносов, чем бассейны в Европейских Альпах, Андах или Норвегии.

Речные взвешенные наносы представляют серьезную угрозу качеству воды ниже по течению, что негативно сказывается на водных экосистемах, речной инфраструктуре (гидроэлектростанциях, мостах) и таких отраслях, как сельское хозяйство и скотоводство.

Исследовательская группа проанализировала данные о 151 реке, окружающей Тибетское плато, и установила, что ледники играют ключевую роль в регулировании динамики речных наносов. Особенно сильное влияние они оказывают в условиях высокой интенсивности осадков и в бассейнах с крупными ледниковыми покровами.

---

<sup>13</sup> Источник: Swelling streams -- climate change causes more sediment in high-mountain rivers | <https://www.sciencedaily.com/releases/2024/12/241204114321.htm> Опубликовано 4.12.2024



Профессор Бодо Букхаген отмечает, что их исследование выявляет множество конкурирующих факторов, влияющих на перенос наносов в речных водосборных бассейнах. Для более точного прогнозирования объёмов наносов необходимо учитывать не только изменения климата, но и динамику ледников, изменения растительности и их взаимодействие со склонами.

Растительность играет значимую роль в процессе переноса наносов, особенно в восточной части Тибетского плато и в горной системе Тянь-Шаня. В зависимости от климатической зоны растительность может либо способствовать эрозии материала, либо стабилизировать склоны, предотвращая его смывание. Эти выводы подчёркивают необходимость системного подхода к адаптации к изменениям климата в высокогорных регионах, охватывающего управление на уровне всего речного бассейна.

## **Смена власти в Сирии окажет негативное влияние на одну из важных рек в Израиле<sup>14</sup>**

Падение режима Башара Асада в Сирии может оказать значительное влияние на состояние водных ресурсов на Ближнем Востоке, в частности, на реку Ярмук — один из важнейших источников воды для Израиля, Сирии и Иордании. Этот 70-километровый водный поток, являющийся главным притоком реки Иордан, играет критическую роль в водоснабжении региона.

Как сообщает издание Walla, река Ярмук имеет стратегическое значение на протяжении тысячелетий, однако в настоящее время её роль особенно важна для Иордании, которая остро нуждается в водных ресурсах. Доктор Давид Кац, старший преподаватель Школы окружающей среды Хайфского университета, подчеркнул, что для Иордании, испытывающей постоянный водный дефицит, это вопрос критической важности, особенно учитывая зависимость страны от Канала Абдаллы, питаемого водами Ярмука.

---

<sup>14</sup> Источник: <https://cursorinfo.co.il/israel-news/smena-vlasti-v-sirii-okazhet-negativnoe-vliyanie-na-odnu-iz-vazhnyh-rek-v-izraile/> Опубликовано 5.01.2025

Водное соглашение между Сирией и Иорданией, регулирующее использование воды, включая строительство плотины «Аль-Вахда» на границе двух стран, долгое время находилось под угрозой срыва. Сирийская сторона часто забирала значительные объемы подземных вод до их попадания в русло Ярмука, что негативно отражалось на водоснабжении Иордании.

Тем не менее, гражданская война в Сирии временно изменила ситуацию: повреждения насосных станций привели к увеличению потока воды в Ярмук, что временно улучшило положение Иордании. Однако, по мнению доктора Каца, в случае дальнейшей нестабильности и отсутствия центрального контроля, повстанческие силы в Сирии могут начать бесконтрольно использовать водные ресурсы, что вновь приведет к сокращению водоснабжения в регионе.

Кац предупреждает, что ухудшение ситуации с водоснабжением может дестабилизировать Иорданию, где водные ресурсы играют ключевую роль в сельскохозяйственной поддержке населения. «Если воды в Ярмуке не будет, то не будет воды и в Канале Абдаллы, что напрямую затронет фермеров и сторонников короля Абдаллы в Иорданской долине, подрывая стабильность его власти», — пояснил он.

В рамках мирного соглашения между Израилем и Иорданией, подписанного в 1994 году, Израиль ежегодно поставляет Иордании воду из озера Кинерет, чтобы поддерживать стабильность в соседней стране. Израильские эксперты подчеркивают, что страна заинтересована не в увеличении собственных водных ресурсов, а в сохранении стабильного режима в Иордании, чтобы избежать социальных потрясений, подобных сирийским.

Доктор Кац также напомнил, что восстание против Асада в 2011 году началось именно в городе Дарья, расположенном вблизи истока Ярмука, где фермеры жаловались на нехватку воды. Этот фактор стал одним из катализаторов конфликта, и эксперты предупреждают, что повторение подобного сценария в Иордании должно быть предотвращено любой ценой.

## **Китайский мегапроект по переброске воды стоимостью 70 млрд долларов – сложности и последствия<sup>15</sup>**

Потенциально крупнейший в мире инфраструктурный проект, это проект Китая по переброске воды с юга на север общей протяжённостью около 4345 км и стоимостью 70 миллиардов долларов.



Чтобы удовлетворить свои растущие потребности, Китай приступил к реализации, возможно, самого крупного инфраструктурного проекта в истории. Эта амбициозная инициатива направлена на ежегодное перераспределение миллиардов кубометров воды по территории одной из крупнейших стран мира.

### **История и масштаб проекта**

В Китае проживает 20% населения планеты, но на его долю приходится лишь шестая часть водных ресурсов.

---

<sup>15</sup> Источник: <https://dzen.ru/a/Z3f-r9t0zwsq3x11> Опубликовано 3.01.2025

Осознавая это неравномерное распределение в засушливых промышленных и сельскохозяйственных северных регионах страны, при частых наводнениях на юге, Мао Цзэдун ещё в 1952 году впервые предложил концепцию перераспределения водных ресурсов.



Это привело к реализации амбициозного проекта по перераспределению воды с юга на север. Запущенный в 2002 году с датой реализации до 2050 года, этот проект является одним из самых масштабных, связанных с управлением водными ресурсами.

Осуществляется он наряду с другими значительными проектами, как строительство плотины «Три ущелья» на реке Янцзы, которая уже вносит значительный вклад в удовлетворение потребностей быстрорастущего населения и экономики Китая.

Однако проект переброски воды с юга на север уникален по своим масштабам и охвату. Он призван обеспечить водоснабжение будущего, соединив богатый водой юг с засушливым севером.

## Основные маршруты грандиозного китайского проекта

Проект переброски воды с юга на север включает три основных маршрута, каждый из которых решает различные географические и логистические задачи, для эффективного управления водными ресурсами Китая.



### Центральный маршрут

Центральный маршрут состоит из канала протяжённостью 1264 км от водохранилища Даньцзянкоу на реке Хань, входящей в обширную систему реки Янцзы.

Этот канал, часто называемый Большим акведуком, использует серию плотин, создающих гравитационный поток для непрерывного водоснабжения Пекина. Строгие государственные правила запрещают сбрасывать в этот канал отходы, чтобы сохранить качество воды пригодным для питья и приготовления пищи.



Строительство этого маршрута, завершённое в 2014 году, потребовало переселения около 330 000 человек из районов, расположенных вблизи водохранилища, и значительно сократило водной поток в реке Хань. Это свидетельствует о серьёзном социальном и экологическом воздействии.

### **Восточный маршрут**

Восточный маршрут, который уже введён в эксплуатацию, но ещё не завершён, модернизирует и расширяет древний Большой канал, построенный ещё в пятом веке до нашей эры.

Система отводит воду из реки Янцзы в северные города, как Тяньцзинь. В отличие от центрального маршрута с естественным течением, восточный маршрут использует более 20 насосных станций на протяжении 1100 км, для облегчения потока воды. Это отражает сложное сочетание древней инженерии и современных технологических усовершенствований.



### **Западный маршрут**

Западный маршрут – самый спорный из трёх, и его строительство ещё не началось.



Планируется направить воду из реки Йи (Yi) из района Тибетского нагорья в засушливые районы Внутренней Монголии, Цинхая и Ганьсу. Однако маршрут сталкивается с серьёзными экологическими и политическими преградами.

Тибетское нагорье – важнейший источник для других крупных азиатских рек, включая Меконг и Брахмапутру, которые имеют стратегическое значение для соседних с Китаем стран. Поэтому отвод воды из этих источников вызывает опасения у стран, расположенных ниже по течению, и усиливает напряжённость в регионе.

### **Влияние и обоснование проекта**

Центральный и Восточный маршруты необходимы для обеспечения экономической безопасности и роста Китая. Они направляют жизненно важные ресурсы к ключевым промышленным и политическим центрам, как Пекин.



Однако этот проект постоянно подвергается критике, особенно в южных провинциях, где опасения по поводу сокращения запасов воды



усугубляются изменением климата. Например, провинция Хубэй выражает недовольство по поводу поддержания высокого уровня водохранилищ для центрального маршрута, что ограничивает доступность воды для местных жителей.

Правительство Китая оправдывает масштабный отвод воды, ссылаясь на стратегическую необходимость поддержать иссушенные северные регионы, в которых находится Пекин, важный политический и промышленный центр. Когда проект будет завершён, сможет перебрасывать внушительные 45 млрд кубометров воды в год, с юга на север.

### **Социальные и экологические последствия водного проекта**

Несмотря на огромные масштабы и амбиции, проект переброски воды с юга на север привёл к возникновению серьёзных экологических и социальных проблем.

Масштабная перестройка ландшафтов и экосистем привела к нарушениям не только в районах, расположенных поблизости от каналов. Это резко изменило природные экосистемы, особенно вдоль восточного маршрута, который в значительной степени зависит от озёр и речных притоков.



Такое нарушение водного баланса региона также серьёзно сказалось на водной флоре и фауне, особенно на популяциях рыб. Перемещение воды с юга на север создало и новые непредвиденные опасности, как перенос болезней, передающихся через воду.

Например, паразитарные заболевания, переносимые улитками на юге Китая, теперь угрожают северным регионам, вызывая серьёзные опасения в области здравоохранения. Другой критической проблемой является повышение уровня солёности воды.

Процесс, который происходит, когда много воды отводится из района, изменяя естественный баланс местных экосистем, делает оставшуюся воду непригодной для сельского хозяйства или потребления.

Число человеческих жертв этого проекта также огромно. Сотни тысяч жителей были вынуждены переселиться только из-за пути центрального маршрута, причём многие – во второй раз, поскольку районы уже были переселены во время строительства плотины «Три ущелья».



В результате этих переселений общины оказались в затруднительном положении, не имея достаточных средств к существованию и поддержки для восстановления прежнего уровня жизни. Такие вынужденные переселения указывают на социальный ущерб от масштабных инфраструктурных инициатив Китая, о которых не сообщается в официальных источниках.

Несмотря на затраты в 70 миллиардов долларов США и десятилетия работ, долгосрочная жизнеспособность проекта всё ещё находится под пристальным вниманием. Некоторые китайские чиновники, в том числе бывший заместитель министра жилищного строительства, а также городского и сельского развития Ця Баосин Сингх, высказывают опасения по поводу устойчивости поддержания и управления этой водной системой.

Высокие эксплуатационные расходы, а также значительный экологический и социальный ущерб заставляют задуматься, действительно ли этот проект является удачным практическим решением проблемы нехватки воды в Китае.

### **Краткосрочное решение долгосрочной проблемы**

Эксперты утверждают, что альтернативные меры могли бы смягчить необходимость столь масштабной затеи.



Городские системы водоснабжения Китая страдают от неэффективности, например, протекающие трубы и устаревшая инфраструктура. До недавнего времени учёт воды вообще был редкостью в Поднебесной, а цены настолько низкими, что экономия не имела приоритетного значения.

Хотя в последние годы и был достигнут определённый прогресс в этом направлении, реализация эффективной политики экономии остаётся сложной задачей, особенно учитывая отсутствие прозрачности в системе управления водными ресурсами Китая.

Критики утверждают, что проект направлен на устранение симптомов, а не причин водного кризиса в Китае. Избыточное использование воды на севере страны, особенно в сельском хозяйстве, так и остаётся главной проблемой. А предоставление дополнительной воды непреднамеренно усиливает неустойчивую практику, задерживая проведение необходимых реформ.

В результате эксперты предупреждают, что проект передачи воды с юга на север рискует стать лишь краткосрочным решением долгосрочной проблемы.

### **Экономические и сельскохозяйственные последствия**

Многие специалисты критически оценивают роль этого проекта в сохранении неустойчивых сельскохозяйственных отраслей.



Они сравнивают его с хирургической операцией, при которой не меняется основная причина – нездоровый образ жизни. Предоставляя дополнительные водные ресурсы, проект временно облегчает чрезмерное потребление воды в регионах, как бассейн Жёлтой реки, не решая проблем, связанных с необходимостью реформ сельского хозяйства.

Это может снизить нагрузку, но не стимулирует необходимое долгосрочное сокращение потребления воды. Ведь значительная часть передаваемой воды предназначена для сельскохозяйственных нужд, что обусловлено растущим спросом на продовольствие со стороны растущего населения.

Несмотря на это, Китай остаётся нетто-импортёром продуктов питания, что подтверждает неэффективность и неустойчивость методов ведения сельского хозяйства в северных засушливых регионах. Более жизнеспособным решением могло бы стать сокращение выращивания в этих районах культур, как пшеница и кукуруза, а также повышение эффективности производства в более подходящих регионах.

По мере того как китайская экономика будет развиваться в направлении экологичных и сложных технологий производства, спрос на воду в промышленных процессах также должен снизиться. Этот сдвиг должен частично снизить дефицит воды, хотя пока неясно, смогут ли текущие проекты по водосбережению удовлетворить растущие потребности Китая.

### **Альтернативы крупномасштабной переброски воды**

Эксперты считают, что альтернативы, как рециркуляция дождевой и опреснение морской воды, хотя и являются изначально более дорогостоящими, в будущем могут обеспечить более устойчивые решения.

Эти методы в комплексе с усовершенствованными технологиями управления водными ресурсами и их сохранения должны оказаться более экономически эффективными и экологичными, чем проект переброски.



Перевоска воды с юга на север, несомненно, является одним из крупнейших инженерных проектов в мире, но и препятствия, стоящие на его пути, не менее масштабны. А последствия для устойчивости, экономической стабильности и здоровья окружающей среды, являются напоминанием о сложностях, связанных с крупномасштабным управлением природными ресурсами.

## Америка

### **Переброска воды по двухстороннему опционному контракту может обеспечить надежность и сэкономить деньги для городских и сельскохозяйственных пользователей во время засухи на западе США<sup>16</sup>**

Новое исследование, проведенное учеными из Университета Северной Каролины в Чапел-Хилл, предлагает решение проблемы дефицита воды во время засух в условиях интенсивного экономического развития, роста населения и климатической неопределенности, характерных для западных штатов США. Исследователи предложили двухсторонние договоры аренды, которые позволят координировать использование водных ресурсов: в периоды засухи сельскохозяйственные объекты будут предоставлять воду городским районам, а в более влажные периоды города смогут отдавать воду сельскому хозяйству. Такой подход принесет выгоду как городским, так и сельскохозяйственным водопользователям.

Грег Чараклис, почетный профессор имени Уильяма Р. Кенана-младшего в Университете Северной Каролины в Чапел-Хилл и директор Института управления рисками и инноваций в страховании (IRMI), отметил, что водные рынки являются важным инструментом для распределения воды в засушливых регионах, таких как западные штаты США. Однако, по его словам, эти рынки зачастую реагируют на засуху слишком медленно, что препятствует эффективному перераспределению ресурсов и усугубляет финансовые последствия.

Недавно опубликованное в *Earth's Future* исследование, анализирует гидрологические, инженерные и институциональные системы, регулирующие водоснабжение в быстро растущих сообществах региона Фронт-Рейндж в Колорадо. В рамках исследования тестируется механизм двух-

---

<sup>16</sup> Источник: Two-way water transfers can ensure reliability, save money for urban and agricultural users during drought in Western U.S. | <https://www.sciencedaily.com/releases/2024/11/241126145323.htm> Опубликовано 26.11.2024

стороннего опционного контракта для водопользователей, позволяющий быстро адаптироваться к изменениям влажности или засушливости среды. Эти контракты заключаются заранее, до наступления засухи, и обеспечивают как экономию средств, так и высокую надежность водоснабжения для городов. Сельскохозяйственные пользователи получают ежегодные платежи за опционы от городских пользователей, а в засушливые годы – дополнительные выплаты, когда происходит переброска воды. В обычные и влажные годы такие опционные контракты дают возможность перенаправить излишки городских водных ресурсов ирригаторам, что позволяет им извлекать выгоду за счет повышения уровня сельскохозяйственной производительности в этот период.

Исторически перераспределение воды через аренду прав на водопользование представляло собой медленный и дорогостоящий процесс, особенно во время засух. Муниципалитеты часто приобретали значительно больше постоянных прав на водопользование, чем требуется для удовлетворения среднего спроса, чтобы обеспечить надежное снабжение даже в самых засушливых условиях. Однако эти редко используемые права затем трудно сдавать в аренду ирригаторам в нормальные или влажные годы из-за бюрократических и финансовых барьеров, что в итоге снижает долгосрочную продуктивность сельского хозяйства. В последние годы западные штаты США начали принимать законы, ускоряющие процесс утверждения краткосрочных перебросок воды, делая его менее затратным. Тем не менее, пока не были разработаны новые механизмы, позволяющие эффективно использовать эти законы. Данное исследование предполагает, что инновационные договорные структуры, такие как двухсторонние опционные контракты, могут стать частью решения проблемы.

По словам Закари Хирша, ведущего автора исследования и бывшего аспиранта (MS'23) департамента экологических наук и инженерии Школы глобального общественного здравоохранения Гиллингс, двухсторонние опционные контракты могут иметь многолетний характер. Завершение согласований и проработка деталей до начала засухи позволяет обеспечить быстрое и эффективное перераспределение дефицитных водных ресурсов между согласованными сторонами, что значительно снижает потери.

В ходе исследования была оценена эффективность модели на основе 63-летних гидрологических наблюдений (с 1950 по 2012 гг.) в Колорадо. Результаты показали, что такая модель является действенным инструментом снижения затрат, позволяя муниципалитетам и оросителям оперативно реагировать на изменения гидрологических условий, превосходя традиционные методы вододеления.

Десятилетия однонаправленных и постоянных перебросок воды нанесли значительный косвенный ущерб сельскохозяйственной экономике



и вызвали напряженность в отношениях между городскими и сельскохозяйственными водопользователями. Контракты, которые обеспечивают сбалансированное перераспределение воды и гибкость в ответ на меняющиеся условия, играют ключевую роль в восстановлении доверия. Совместные решения проблемы засухи становятся особенно актуальными в современных условиях.

Исследовательская группа считает, что эта двухсторонняя модель водodelения может быть успешно адаптирована и применена на других рынках воды по всей территории США.

## **Микробы играют большую роль в формировании здоровья рек<sup>17</sup>**

**Андрей Ионеску**

Реки и ручьи играют жизненно важную роль, пересекая самые разные ландшафты — от тихих верховьев до бескрайних океанов. Эти водные артерии имеют ключевое значение для здоровья людей и экосистем, сельского хозяйства и энергетики, обеспечивая около двух третей питьевой воды в США.

Тем не менее, по сравнению с океанами и озёрами микробиология рек остаётся практически неизученной. Эту ситуацию изменила группа учёных под руководством специалистов из Университета штата Колорадо (CSU). Впервые они составили детальный каталог микроорганизмов, обитающих в реках, охватывающих 90 % водосборных бассейнов континентальной части США. В каталоге описаны как виды микроорганизмов, так и их функции в экосистемах.

Результаты исследования, опубликованные в журнале *Nature*, демонстрируют, как речные микробы влияют на круговорот питательных веществ, качество воды и экологическое здоровье в целом. Эти открытия открывают новый горизонт в изучении микробиома рек.

---

<sup>17</sup> Источник: Andrei Ionescu. Microbes play a big role in shaping the health of rivers | <https://www.earth.com/news/microbes-play-a-big-role-in-shaping-the-health-of-rivers/> Опубликовано .12.2024

## Важнейшая роль речных микробов

Новое исследование подчёркивает критическую роль микробов в поддержании здоровья рек. Эти микроорганизмы выступают в роли «мастеров-оркестрантов», регулируя потоки питательных веществ и энергии, а также играя ключевую роль в обеспечении качества воды как в настоящем, так и в будущем.

Учёные выяснили, что речные микробы активно взаимодействуют с такими загрязняющими веществами, как антибиотики, удобрения, микропластик и побочные продукты дезинфекции. Примечательно, что эти микроорганизмы способны разлагать микропластик на более мелкие углеродные соединения. Однако исследование также показало, что вблизи очистных сооружений микробы демонстрируют высокий уровень генов устойчивости к антибиотикам, что свидетельствует о значительном антропогенном воздействии на речные экосистемы.

По словам профессора Университета штата Колорадо и ведущего автора исследования Микаэла Бортонна, люди долгое время считали реки лишь «трубами», через которые вода перетекает из одного места в другое. Однако реки — это гораздо большее. Они выполняют множество функций, деятельность которых можно предсказать. Теперь исследователи знают, какие микробы ответственны за выполнение этих важных функций.

## Реки как интегрированные системы

Исследование также поддерживает концепцию речного континуума — теории, которая существует уже несколько десятилетий и рассматривает реки как интегрированные системы. Согласно этой теории, изменения в верхнем течении реки напрямую влияют на экосистемы, расположенные в её нижнем течении.

Например, здоровье популяции рыб в одной части реки зависит от процессов, происходящих выше по течению. Учёные обнаружили, что эта взаимосвязь распространяется и на микроорганизмы.

Одной из ключевых идей исследования было то, что микробиология рек также связана с развитием рек, от маленьких ручьёв до крупных рек. «Эти результаты хорошо согласуются с более старыми теориями речных экосистем», — говорит соавтор исследования, доцент Университета штата Колорадо Мэтт Росс.

## **Составление карты речных микробиомов по всей территории США**

Для создания каталога речных микроорганизмов исследователи проанализировали более 2000 микробных геномов, собранных из около 100 рек Северной Америки.

Проект во многом опирался на участие местных жителей: добровольцы собирали пробы воды в рамках программы, проводимой Тихоокеанской северо-западной национальной лабораторией (PNNL). Эти образцы затем анализировались на содержание микроорганизмов.

«Когда мы смотрим на то, как управляются земли вокруг реки, мы можем увидеть, как микробы в их ДНК перерабатывают определённые антропогенные загрязнители или химические вещества», — говорит Келли Райтон, профессор Колледжа сельскохозяйственных наук Университета штата Колорадо и соавтор исследования.

«Существует очень сильная взаимосвязь, что свидетельствует о том, что в микробиоме есть сигнал о том, как мы живем на земле и управляем ею. Этот сигнал передается в речную систему и далее вниз по течению», — добавляет профессор Райтон.

### **Микробы как индикаторы здоровья реки**

Наука о микробиоме — это развивающаяся область с многообещающими перспективами для здоровья окружающей среды. Речные микробы могут служить индикаторами раннего предупреждения об изменениях в экосистеме, подобно канарейке в угольной шахте.

«Мы надеемся, что эта информация в будущем будет использована для разработки новых диагностических инструментов, которые позволят отличать здоровые реки от нездоровых», — пояснил Келли Райтон.

Эти знания могут помочь учёным и политикам более эффективно управлять речными системами и окружающими их ландшафтами.

Исследование также выявило шесть ключевых микроорганизмов, присутствующих во всех изученных реках. Эти микробы, использующие свет в качестве источника энергии, оказались активными и предсказуемыми по всей континентальной части США.

«Микробы активно функционируют в этих системах так, что их поведение предсказуемо по всей территории США», — добавил Микаэль

Бортон. «Это потрясающе, и, я думаю, это многое говорит о надежности научных исследований, проведенных до нас».

### **Решение крупнейших мировых проблем**

Это исследование не только предоставило новые данные о речных микробах, но и продемонстрировало потенциал крупномасштабной коллективной науки.

Проект был запущен в 2018 г., когда Келли Райтон познакомился с Джеймсом Стегеном, учёным-землеведом из Тихоокеанской северо-западной национальной лаборатории, который уже возглавлял глобальную инициативу по отбору проб рек. Райтон понял, что образцы, собранные для химического анализа, можно также исследовать на наличие микроорганизмов. Это открытие положило начало новаторскому сотрудничеству.

«Интерес к картированию микробиомов огромен, но данных о микробах рек было недостаточно», — отмечает Райтон.

«Однако я также задумался: можем ли мы масштабировать эту науку? Если мы сможем продемонстрировать её эффективность, это откроет нам путь к решению таких глобальных проблем, как изменение климата. Мы сможем использовать эти данные и методы повсеместно».

### **Удобная база данных речных микробиомов**

Одним из главных достижений проекта стало создание удобной для поиска базы данных, посвящённой речному микробиому.

Мэтт Росс, специалист по экосистемам и анализу данных, сыграл ключевую роль в создании этой платформы и контекстуализации полученных данных для окончательного анализа исследования. «Я очень горжусь тем, что часть этого проекта связана с доступностью данных», — отметил Микаэль Бортон.

Бортон надеется, что эта инфраструктура вдохновит учёных, не работающих в области микробиома, на включение микробных процессов в более широкие модели экосистем. «Нам нужно лучше изучать ландшафты, и лучшее понимание рек может помочь нам в этом», — добавил он.

## Новый рубеж для науки об окружающей среде

Это исследование открывает новые горизонты для научных исследований и их практического применения. От борьбы с изменением климата до улучшения моделирования экосистем, знания, полученные с помощью изучения речных микробиомов, могут стать основой для решения важнейших мировых проблем.

«Мы открываем двери в глубоко изученную часть Земли», — говорит Джеймс Стеген. «Очень приятно, что мы создали нечто, что принесет пользу многим людям, помимо нашей команды».

Исследование раскрывает скрытую динамику речных микробов и пересматривает наше представление о реках. Они больше не воспринимаются как простые каналы для воды, а как живые, взаимосвязанные экосистемы, формируемые мельчайшими формами жизни.

Перевод: Усманова О., Юлдашева Г.

Верстка: Беглов И.

Подготовлено к печати  
в Научно-информационном центре МКВК

Республика Узбекистан, 100 187,  
г. Ташкент, м-в Карасу-4, д. 11А

**[sic.icwc-aral.uz](http://sic.icwc-aral.uz)**