

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

# ВОДНАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ, СОТРУДНИЧЕСТВО И ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ: МИРОВОЙ ОПЫТ



**НИЦ МКВК**

Научно-информационный центр  
Межгосударственной координационной  
водохозяйственной комиссии  
Центральной Азии

Ташкент 2025

Научно-информационный центр  
Межгосударственной координационной водохозяйственной комиссии  
Центральной Азии

**Водная безопасность,  
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 низкоуглеродной и климатоустойчивой трансформации взаимосвязи энергии, воды и 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 (IKI)

## Содержание

<b>Глобальные вопросы.....</b>	<b>5</b>
Предотвращение конфликтов, вызванных строительством трансграничных плотин.....	5
Интегрированные водосборные системы: смена парадигмы устойчивого управления.....	10
Ученые НАСА выявили новые антропогенные изменения в глобальном круговороте воды .....	14
Управление спросом на воду: будущее многоцелевых водохранилищ.....	16
4 подхода к решению проблемы продовольственной и водной безопасности в эпоху интеллектуальных технологий.....	21
<b>Информационные технологии в водном хозяйстве.....</b>	<b>28</b>
Преимущества ОИИ для гидрологического моделирования: реальность за гранью рекламных обещаний .....	28
Переосмысление плотин как транзитных узлов: создание глобальной сети водных ресурсов с использованием DamNet .....	30
Гидроэнергетика становится цифровой: новая эра эффективности и устойчивости .....	38
<b>Технологии в водном хозяйстве .....</b>	<b>42</b>
Децентрализованные решения для водоочистки: как локализованные системы расширяют возможности сообществ.....	42
<b>Азия .....</b>	<b>53</b>
«Жаждающий дракон и иссушенный тигр»: «Плотина за плотину» — конфликт Китая и Индии за гидротехнические сооружения в Гималаях .....	53
«Новая Великая стена»: китайский мегапроект по переброске воды стоимостью \$70 млрд и длиной 4345 км.....	55
Почему Китай уходит под воду? Дело не только в глобальном потеплении.....	62

Управляемые водно-болотные угодья – потенциальный метод снижения риска наводнений .....	66
Израиль лидирует в области водосбережения благодаря революции интеллектуальных счетчиков.....	47
Вопреки всему: как проект водоснабжения на 1,7 миллиарда литров стал основой современного Израиля.....	48
<b>Америка.....</b>	<b>71</b>
Уникальная дренажная и оросительная система: начало «неолитической революции» в Амазонии.....	71
И океан станет питьевым — ученые разработали новый способ перевода морской воды в питьевую .....	73

## Глобальные вопросы

### Предотвращение конфликтов, вызванных строительством трансграничных плотин

Планирование, развитие и управление плотинами в трансграничных речных бассейнах должны осуществляться эффективно и в сотрудничестве, чтобы минимизировать негативные экологические и социально-экономические последствия, а также предотвратить возможные конфликты. Исследования в бассейнах рек Меконг, Замбези и Сенегал ли<sup>1</sup> роль институционализированного сотрудничества в смягчении потенциальных конфликтов, связанных со строительством гидроэлектростанций.

Возведение плотин в трансграничных бассейнах нередко становится причиной разногласий между прибрежными государствами. Это не только угрожает экологической устойчивости и социальному благополучию, но также может дестабилизировать регион и подорвать мир. Таковы выводы нового исследования Сюзанны Шмайер из Института IHE Delft в Нидерландах.

Для предотвращения таких конфликтов были разработаны правовые и управленческие механизмы. Они включают:

- принципы международного водного права,
- положения о плотинах, закрепленные в бассейновых соглашениях,
- планы управления бассейнами,
- методы оценки воздействия на окружающую среду.

С целью выяснить, насколько эффективно такие институциональные механизмы управления предотвращают или смягчают конфликты, Сюзанна Шмайер провела детальный анализ ситуации в бассейнах рек Меконг, Замбези и Сенегал. Результаты её исследования опубликованы в журнале «*Frontiers in Climate*».

---

<sup>1</sup> Источник: Preventing conflicts over transboundary dams / <https://www.waterpowermagazine.com/analysis/preventing-conflicts-over-transboundary-dams/>  
Опубликовано 30.12.2024

## **Бассейн реки Меконг**

Прибрежные страны бассейна Нижнего Меконга на протяжении десятилетий сотрудничали в разработке и совместном управлении ресурсами реки, что привело к созданию Комиссии по реке Меконг (КРМ) в 1995 г.

По словам Шмайер, «вероятно, нет другой бассейновой организации, которая проделала бы столько работы, связанной с плотинами, как Комиссия по реке Меконг». Она отмечает, что КРМ разработала беспрецедентное количество политик, руководств и инструментов, отличающихся разнообразием. Кроме того, организация адаптировалась к специфическим потребностям бассейна, создавая более целевые и конкретные механизмы управления.

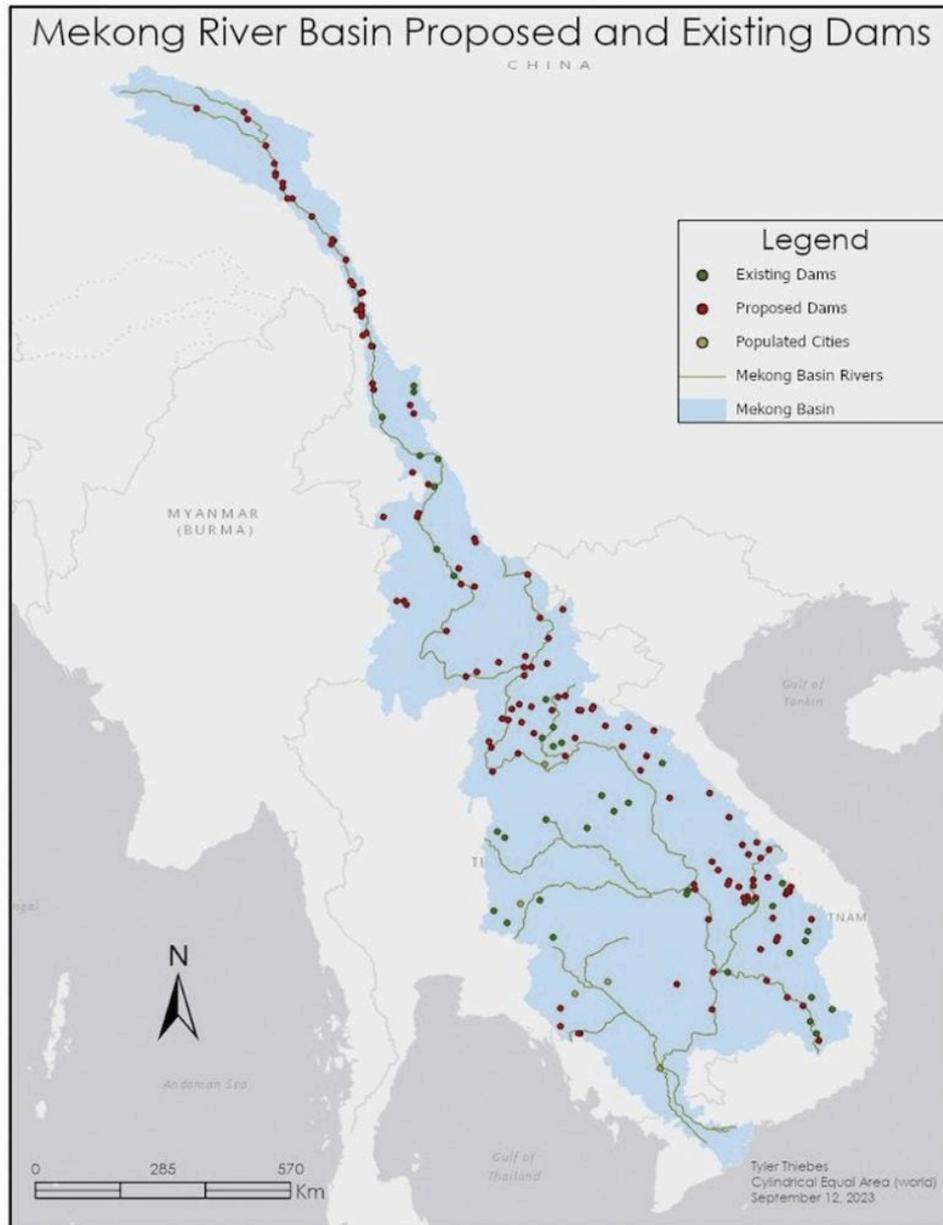
Тем не менее, проблемы остаются, предупреждает Шмайер. Они наглядно демонстрируют более широкие сложности, связанные со строительством плотин в трансграничных бассейнах: «даже при наличии комплексного набора мер по устранению воздействий и предотвращению потенциальных конфликтов».

Шмайер подчеркивает, что, хотя конфликты вокруг плотин в бассейне Меконга были смягчены, прибрежные народы и страны остаются уязвимыми к изменениям, вызванным этими сооружениями. Экологические и социальные последствия строительства плотин до сих пор не устранены в полной мере. Поскольку влияние плотин распределяется неравномерно среди прибрежных сообществ и государств, маргинализированные группы страдают непропорционально сильно. Шмайер предупреждает, что такая ситуация создает риск возникновения будущих конфликтов.

## **Бассейн реки Замбези**

Бассейн реки Замбези охватывает территории восьми стран: Анголы, Ботсваны, Малави, Мозамбика, Намибии, Танзании, Замбии и Зимбабве. Сотрудничество между Замбией и Зимбабве началось еще в 1940-х гг., что в конечном итоге привело к созданию Управления реки Замбези (ZRA) в 1987 г. и реализации различных совместных проектов.

В 2004 г., опираясь на предыдущие усилия большинства прибрежных стран, была создана Комиссия по водотоку Замбези (ZAMCOM). Ее главной задачей стало обеспечение комплексного и экологически устойчивого управления ресурсами всего бассейна



Шмайер отмечает: несмотря на то что ZAMCOM является относительно молодой организацией, она уже внесла значительный вклад в создание подхода к комплексному управлению бассейном. Однако она добавляет, что река Замбези в ближайшие годы станет своего рода «лакмусовой бумажкой».

По мнению Шмайер, прибрежные страны сосредоточены на извлечении экономической выгоды от существующих и новых плотин. В такой ситуации ZAMCOM может сыграть ключевую роль, обеспечивая, чтобы новые плотины строились в наиболее подходящих местах. Однако она предупреждает: если ZAMCOM не обеспечит более устойчивого и скоординированного подхода к управлению, последствия строительства плотин и их

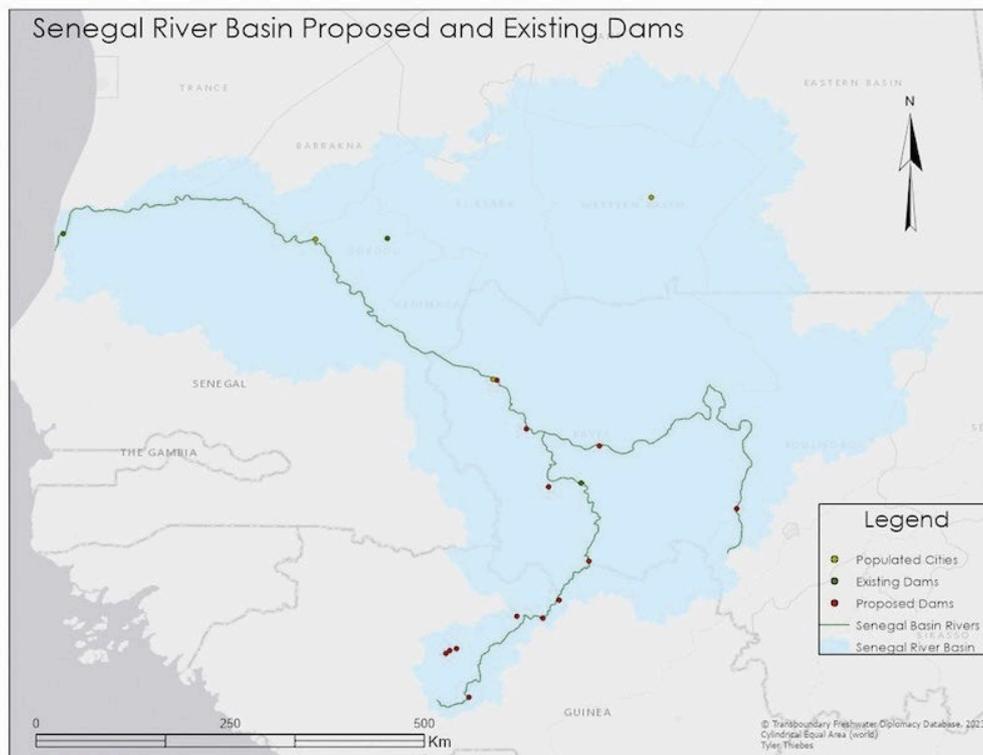
распределение среди прибрежных государств «могут стать серьезной проблемой».

Пример бассейна реки Замбези демонстрирует «интересное сочетание»: одна организация (ZRA) занимается разработкой проектов плотин, охватывающих интересы только двух из восьми стран бассейна, тогда как другая организация (ZAMCOM) стремится управлять всем бассейном на основе комплексного подхода, смягчая негативные последствия строительства плотин и предотвращая возможные конфликты.

«Это расхождение интересов, — подчеркивает Шмайер, — еще предстоит преодолеть».

### Бассейн реки Сенегал

Бассейн реки Сенегал представляет собой источник «интересных» идей совместного развития, сосредоточенного на эксплуатации и управлении плотинами для достижения экономической выгоды. В 1972 г. три страны нижнего течения — Мали, Мавритания и Сенегал — создали Организацию по вопросам управления водными ресурсами Сенегала (OMVS). Гвинея, расположенная выше по течению, присоединилась к этой организации в 2006 г.



Несмотря на то, что OMVS считается «относительно успешной» в создании и поддержании приверженности региональному сотрудничеству с акцентом на совместное использование водных ресурсов, Шмайер отмечает, что достигнутые выгоды «не соответствуют ожиданиям». Они распределяются неравномерно, как среди населения, так и, вероятно, между самими странами.

Шмайер подчеркивает, что для обеспечения долгосрочной устойчивости необходимы дополнительные усилия по смягчению экологических и социальных последствий. Более комплексное управление бассейном может создать новые вызовы, поскольку государства, расположенные выше по течению, могут начать ставить под сомнение эффективность и справедливость существующего институционального сотрудничества.

В связи с этим, заключает Шмайер, OMVS находится на переломном этапе. Организации предстоит продолжать решать существующие проблемы, разрабатывая и внедряя новые правовые и институциональные механизмы. Эти механизмы должны не только эффективно устранять экологические последствия строительства плотин и их влияние на население, но также обеспечивать баланс интересов всех прибрежных государств и укреплять долгосрочную приверженность региональному сотрудничеству.

### **Продолжающийся диалог**

Принципы международного водного права действительно предоставляют важную основу, способную направлять поведение государств при строительстве плотин на трансграничных реках. Однако для их эффективного применения необходимы правовые, политические и технические механизмы, адаптированные к особенностям конкретного бассейна, которые способны реализовать эти принципы и связанные с ними обязательства на практике.

На самом деле, внедрение таких механизмов может столкнуться с вызовами, связанными с недостатками проектирования, реализации или отсутствием готовности прибрежных государств к их активному использованию. Даже если существует и успешно применяется всеобъемлющий набор мер для решения проблем, связанных с плотинами, а также для предотвращения или смягчения конфликтов, трудности могут вновь возникать.

Шмайер подчеркивает, что постоянный диалог через бассейновые организации играет ключевую роль в долгосрочном предотвращении конфликтов. По ее словам, само существование институционализированного сотрудничества, особенно в вопросах, связанных с плотинами, «уже явля-

ется важной предпосылкой для управления конфликтами, поскольку оно способствует предотвращению их эскалации».

В заключение, Шмайер отмечает, что на глобальном уровне институционализированные механизмы сотрудничества все еще редки. Тем не менее, в тех (пусть и немногих) речных бассейнах, где такие механизмы существуют, они доказали свою эффективность в предотвращении и смягчении рисков конфликтов. Учитывая эти преимущества, Шмайер призывает к дальнейшему продвижению и укреплению подобных механизмов, которые способны помочь в управлении общими водными ресурсами трансграничных речных бассейнов.

## **Интегрированные водосборные системы: смена парадигмы устойчивого управления<sup>2</sup>**

**Майк Моррис, Рассел Смит**

Вода – дефицитный и подверженный риску ресурс. Она испытывает давление со стороны изменения климата, роста населения, урбанизации и загрязнения, а также подвергается воздействию многих отраслей промышленности. Например, стоки с автомагистралей, промышленные сбросы, распыление химикатов в сельском хозяйстве, использование водоемов для досуга местными жителями и воздействие от деятельности компаний, занимающихся водоснабжением.

Важно рассматривать водосборные бассейны в более широком контексте и понимать, как каждое решение, принятое в одной отрасли, влияет на другие сферы и на местную природную среду. Целостный и гибкий подход к управлению водными ресурсами должен воспринимать конкретный природный водосборный бассейн как сложную и взаимосвязанную систему, включающую как природные, так и антропогенные элементы. Поскольку ни один участок реки в Англии и Северной Ирландии не находится в хорошем экологическом состоянии, необходимость принятия срочных мер никогда не была так велика.

---

<sup>2</sup> Источник: Mike Morris, Russel Smith. Integrated catchment systems: A paradigm shift in sustainable management / <https://www.watermagazine.co.uk/2025/01/07/integrated-catchment-systems-a-paradigm-shift-in-sustainable-management/> Опубликовано 7.01.2025

Водоемы в Англии рассматриваются с учетом набора вероятных и подтвержденных причин, по которым не достигается хороший экологический статус (RNAGs).

Учитывая экономическую важность природы и нашу зависимость от здоровья экосистем, эта проблема затрагивает множество отраслей. Поэтому для ее решения необходимо объединить усилия различных секторов, агентств и заинтересованных сторон.

Несмотря на сложность водосборных бассейнов, решение проблемы не должно быть чрезмерно сложным. В этом контексте на помощь приходит комплексное управление водосборными системами (ICSM).

### **Комплексное управление водосборными системами на практике**

Цель комплексного управления водосборными системами (*ICSM*) – обеспечить устойчивость и жизнеспособность воды и других связанных с ней ресурсов и услуг (таких как почва, углерод, здоровье и благополучие, биоразнообразие). *ICSM* признает, что вода не ограничивается социальными, политическими и отраслевыми границами. Землепользование, инфраструктура, управление и социальное поведение – все эти элементы взаимосвязаны внутри водосборного бассейна. *ICSM* показывает, как мы можем более эффективно использовать наши ограниченные ресурсы и способствовать принятию обоснованных решений через трансграничное сотрудничество.

*ICSM* – это не новая концепция. Подход, основанный на водосборных бассейнах, используется в Англии уже более 10 лет. Улучшение понимания потенциала восстановления водосборных бассейнов в рамках инициативы *Nature Positive*, повысило его значимость. Инновации в области природных технологий, моделирования, а также инструментов и методов восстановления расширили возможности реализации этого подхода. Более 40 стран присоединились к программе *Freshwater Challenge*. Эта программа использует *ICSM* для обоснования, интеграции и ускорения целевых решений по трем направлениям «Знания», «Планы и Стратегии» и «Ресурсы». Программа охватывает вопросы устойчивого развития, биоразнообразия, изменения климата и снижения риска бедствий для 300 000 км рек и 350 млн га водно-болотных угодий.

Подход *ICSM* включает в себя множество заинтересованных сторон, различных масштабов реализации, дисциплин и ценностей. Он требует высокого уровня совместной разработки и согласования потребностей, а также планирования множества результатов. Сотрудничество между различными отраслями, промышленными секторами и местными сообществами

крайне важно. Если у нас есть четкое видение речного водосбора под руководством сообщества, мы можем совместно разработать подход, который обеспечит достижение этого видения.

Участие множества заинтересованных сторон, согласующих свои цели, является ключом к успеху *ICSM*. Компании *United Utilities*, *Greater Manchester Combined Authority* и *The Environment Agency* объединились для подписания меморандума о взаимопонимании, с целью изменить методы управления водными ресурсами в Большом Манчестере. Комплексный план управления водными ресурсами был разработан с учетом понимания важности воды как с экологической, так и с культурной точки зрения. Международная компания *Stantec* оказала партнерам поддержку в разработке плана и проведении оценки, для определения общего видения, разработки дорожной карты и эффективного управления для его реализации.

Важно отметить, что комплексное управление водосборными системами – это специфический и динамичный процесс, который требует регулярной оценки и постоянного совершенствования.

### **Преимущества комплексных систем водосбора**

Основная причина использования комплексного подхода заключается в том, что он позволяет извлечь многочисленные выгоды от относительно небольшого числа действий. На сегодняшний день многие программы управления работают изолированно, упуская возможности для взаимовыгодного взаимодействия.

**Улучшение качества и доступности воды:** *ICSM* может устранить источники загрязнения и его последствия, восстановить естественные экосистемы, оптимизировать эффективность водопользования, а также увеличить запасы воды и способствовать ее пополнению. Это может улучшить качество водоснабжения в таких областях, как питьевая вода, орошение, промышленность, рекреация и экосистемные услуги.

**Снижение рисков наводнений и засухи:** Внедрение решений, основанных на природе, таких как восстановление водно-болотных угодий, улучшение состояния почвы, восстановление лесов и живых изгородей, установка зеленых крыш, водопроницаемых тротуаров и дождевых садов, может значительно снизить риски наводнений и засух. *ICSM* способствует уменьшению стоков и пиковых потоков ливневых вод, смягчая последствия наводнений, а также улучшает инфильтрацию и удержание воды, что повышает устойчивость к засухам.

**Повышение биоразнообразия и здоровья экосистем:** Этот подход помогает защитить и восстановить природные активы и функции водосбо-

ра, такие как леса, луга, тугайные зоны и водные экосистемы. *ICSM* способствует восстановлению биоразнообразия и здоровья экосистем, которые, в свою очередь, предоставляют важнейшие услуги, включая улавливание углерода, а также способствуют улучшению благополучия человека.

**Расширение социальных и экономических возможностей:** *ICSM* вовлекает и расширяет возможности местных сообществ и заинтересованных сторон. Этот подход способствует социальной интеграции, участию и сотрудничеству, а также создает новые возможности для получения средств к существованию, образования, отдыха и защиты культурных ценностей. Кроме того, он может привести к экономическим выгодам за счет снижения затрат на очистку воды, обслуживание инфраструктуры и реагирование на стихийные бедствия, а также повысить производительность и стоимость отраслей, связанных с водными ресурсами, таких как сельское хозяйство, туризм и энергетика.

**Обеспечение устойчивых возможностей благодаря комплексному подходу:** *ICSM* помогает снизить риски и раскрыть новые возможности благодаря более глубокому пониманию водосбора в цепочках поставок и создания ценности.

Комплексный подход к управлению водными ресурсами позволяет по-настоящему ценить наш природный мир как с экологической, так и с социальной точки зрения. Благодаря совместным и прозрачным методам компании могут выявить возможности для снижения материальных рисков, определить устойчивую бизнес-модель и разработать природоположительное направление для долгосрочного развития бизнеса.

Присущее *ICSM* планирование на основе конкретных мест способствует повышению уровня взаимодействия как с внутренними, так и с внешними заинтересованными сторонами. Этот подход позволяет проводить мониторинг, отчетность и проверки, как обязательные, так и добровольные, обеспечивая прозрачность и успех экологических и социальных стратегий.

Комплексный подход, поддерживающий устойчивость и способствующий вовлечению заинтересованных сторон, предлагает **комплексное управление водосборными системами** являющимся комплексным решением глобальных экологических и экономических проблем, с которыми мы сталкиваемся.

Недавно компания *Stantec* присоединилась к другим компаниям и общественным организациям, подписавшим Декларацию об управлении водосборными бассейнами. Стороны, подписавшие декларацию, придерживаются совместного подхода к управлению водными ресурсами и природным капиталом, чтобы преодолеть возникающие трудности и воспользоваться открывающимися возможностями.

## Ученые НАСА выявили новые антропогенные изменения в глобальном круговороте воды<sup>3</sup>

Эрика МакНэми

В недавно опубликованном исследовании ученые НАСА на основе почти 20-летних наблюдений показали, что глобальный круговорот воды претерпевает беспрецедентные изменения. Большинство этих сдвигов вызваны деятельностью человека, такой как сельское хозяйство, и могут оказать влияние на экосистемы и управление водными ресурсами, особенно в некоторых регионах.

По словам Суджей Кумара, научного сотрудника Центра космических полетов НАСА им. Годдарда (Гринбелт, штат Мэриленд) и соавтора работы, опубликованной в журнале *Proceedings of the National Academy of Sciences*, с помощью ассимиляции данных было установлено, что вмешательство человека в глобальный круговорот воды более значительно, чем считалось ранее.

Эти изменения оказывают влияния на людей по всему миру. Практики управления водными ресурсами, такие как проектирование инфраструктуры для защиты от наводнений или разработка индикаторов засухи для систем раннего предупреждения, часто основываются на предположении, что круговорот воды колеблется лишь в определенном диапазоне, утверждает Ваньшу Ни, научный сотрудник НАСА Годдард и ведущий автор статьи.

«Возможно, для некоторых регионов это уже не так», - говорит Ние. «Мы надеемся, что это исследование послужит путеводной картой для совершенствования методов оценки изменчивости водных ресурсов и планирования устойчивого управления ими, особенно в тех регионах, где эти изменения наиболее значительны».

По словам Суджей Кумара, одним из примеров воздействия человека на круговорот воды является Северный Китай, где уже долгое время наблюдается постоянная засуха. Однако растительность во многих районах продолжает процветать, отчасти потому, что фермеры продолжают орошать свои земли, выкачивая больше воды из подземных источников. Такие

---

<sup>3</sup> Источник: Erica McNamee. NASA Scientists Find New Human-Caused Shifts in Global Water Cycle / <https://www.nasa.gov/missions/gpm/nasa-scientists-find-new-human-caused-shifts-in-global-water-cycle/> Опубликовано 16.01.2025

взаимосвязанные вмешательства человека часто приводят к комплексным последствиям для других переменных круговорота воды, такие как испарение и сток.

Ние и ее коллеги сосредоточились на трех различных типах сдвигов или изменений в круговороте воды: во-первых, тенденция, такая как, уменьшение уровня воды в подземных резервуарах; во-вторых, изменение сезонности, например, более раннее начало вегетационного периода или более раннее таяние снега и, в-третьих, изменение экстремальных событий, таких как «100-летние наводнения», которые происходят все чаще.

Ученые собрали данные дистанционного зондирования за период с 2003 по 2020 гг. с нескольких различных спутников НАСА: Это включало данные об осадках с аппарата *Global Precipitation Measurement Mission* (Миссия по глобальному измерению осадков), данные о влажности почвы с *European Space Agency's Climate Change Initiative* (Инициатива Европейского космического агентства по изменению климата) и данные о запасах воды в земле со спутников *Gravity Recovery and Climate Experiment* (Эксперимент по восстановлению гравитации и климата). Кроме того, для получения информации о состоянии растительности использовались данные со спутника *Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer* (Спектрорадиометр с формированием изображений умеренного разрешения).

По словам Аугусто Гетирана, научного сотрудника НАСА Годдарда и соавтора работы, данное исследование объединяет многолетние усилия группы исследователей по развитию возможностей анализа спутниковых данных, что позволяет группе точно моделировать материковые потоки и запасы воды по всей планете.

Результаты исследования свидетельствуют о том, что модели Земной системы, используемые для моделирования будущего глобального круговорота воды, должны быть усовершенствованы, чтобы учитывать продолжающиеся последствия человеческой деятельности. С увеличением объема данных и развитием моделей производители и руководители водного сектора смогут лучше понять и эффективно планировать, как будет выглядеть «новая норма» водных ресурсов в их регионе.

## Управление спросом на воду: будущее многоцелевых водохранилищ<sup>4</sup>

Изменение климата и растущие потребности в воде ставят под сомнение традиционные подходы к управлению водохранилищами, что приводит к поиску инновационных решений. В новых исследованиях рассматриваются различные подходы, от оптимизации противопаводковых водохранилищ в США для их двойного использования до нахождения баланса между гидроэнергетикой и ирригацией в глобальном контексте. Также важным аспектом является управление конфликтами между заинтересованными сторонами, как, например, в Венгрии. Эксперты пересматривают роль водохранилищ в удовлетворении потребностей населения, промышленности и экосистем.

Разработка новой концепции направлена на повышение двойной функциональности водохранилищ Инженерного корпуса армии США (USACE). Водоохранилища, предназначенные исключительно для борьбы с наводнениями, не могут полностью удовлетворить растущие и разнообразные требования к управлению водными ресурсами. Поэтому исследование сосредоточено на возможности использования этих водохранилищ для обеспечения водных ресурсов, при этом определяется максимально безопасный уровень воды (MSWL), который позволяет эффективно сочетать задачи по борьбе с наводнениями и водоснабжению.

Результаты исследований Мингды Лу и Венкатеша Мерваде, опубликованные в журнале *Американской ассоциации водных ресурсов*, раскрывают сложный баланс между управлением рисками наводнений и улучшением водообеспечения. Исследования показывают, что точные оперативные корректировки могут существенно повысить устойчивость и эффективность водохранилищ.

«Этот метод, — утверждают авторы, — представляет собой реальный путь преобразования одноцелевых водохранилищ в многоцелевые, которые смогут удовлетворять растущие потребности в воде, обеспечивать надежную защиту от наводнений и способствовать более эффективному водопользованию».

Поскольку большинство плотин и водохранилищ Инженерного корпуса армии США были построены в XX веке, а их средний возраст состав-

---

<sup>4</sup> Источник: *Balancing water demands: the future of multi-purpose reservoirs* / <https://www.waterpowermagazine.com/analysis/balancing-water-demands-the-future-of-multi-purpose-reservoirs/?cf-view> Опубликовано 28.01.2025

ляет 61 год, со временем они оказали значительное влияние на перенос наносов, коэффициент стока и региональную эвапотранспирацию. Это привело к снижению эффективности работы водохранилищ из-за изменений в водосборном бассейне и климатических условий. В свою очередь, такая низкая эффективность может негативно сказаться на управлении водными ресурсами в борьбе с наводнениями, производстве гидроэлектроэнергии и водообеспечении, а также оказать социально-экономическое воздействие на заинтересованные стороны и инвесторов.

Инженерный корпус армии США (USACE) предложил повысить эффективность использования паводковых вод, используя имеющиеся ресурсы для удовлетворения других потребностей в воде. Исследование было направлено на модификацию и оптимизацию работы 15 средних и крупных водохранилищ, эксплуатируемых округом Луисвилл, подразделениями Великих озер и реки Огайо. Эти водохранилища, изначально построенные для снижения риска наводнений в нижней части бассейна реки Огайо, обладают потенциалом для многоцелевого использования благодаря своей большей емкости по сравнению с малыми водохранилищами.

Результаты исследования показывают, что некоторые из водохранилищ имеют потенциал для использования в водоснабжении в будущем. К ним относятся: озеро Кейджелс Милл, озеро Кейв Ран, озеро Нолин Ривер и озеро Тейлорсвилл.

Авторы добавили, что данная система может быть применена к водохранилищам с аналогичными возможностями по сбору данных и функциональными характеристиками, несмотря на различия в размерах и расположении. Однако проектные мероприятия могут подвергаться изменениям в зависимости от конкретных эксплуатационных требований, выдвигаемых различными заинтересованными сторонами и органами, принимающими решения, связанными с эксплуатацией и управлением водохранилищами.

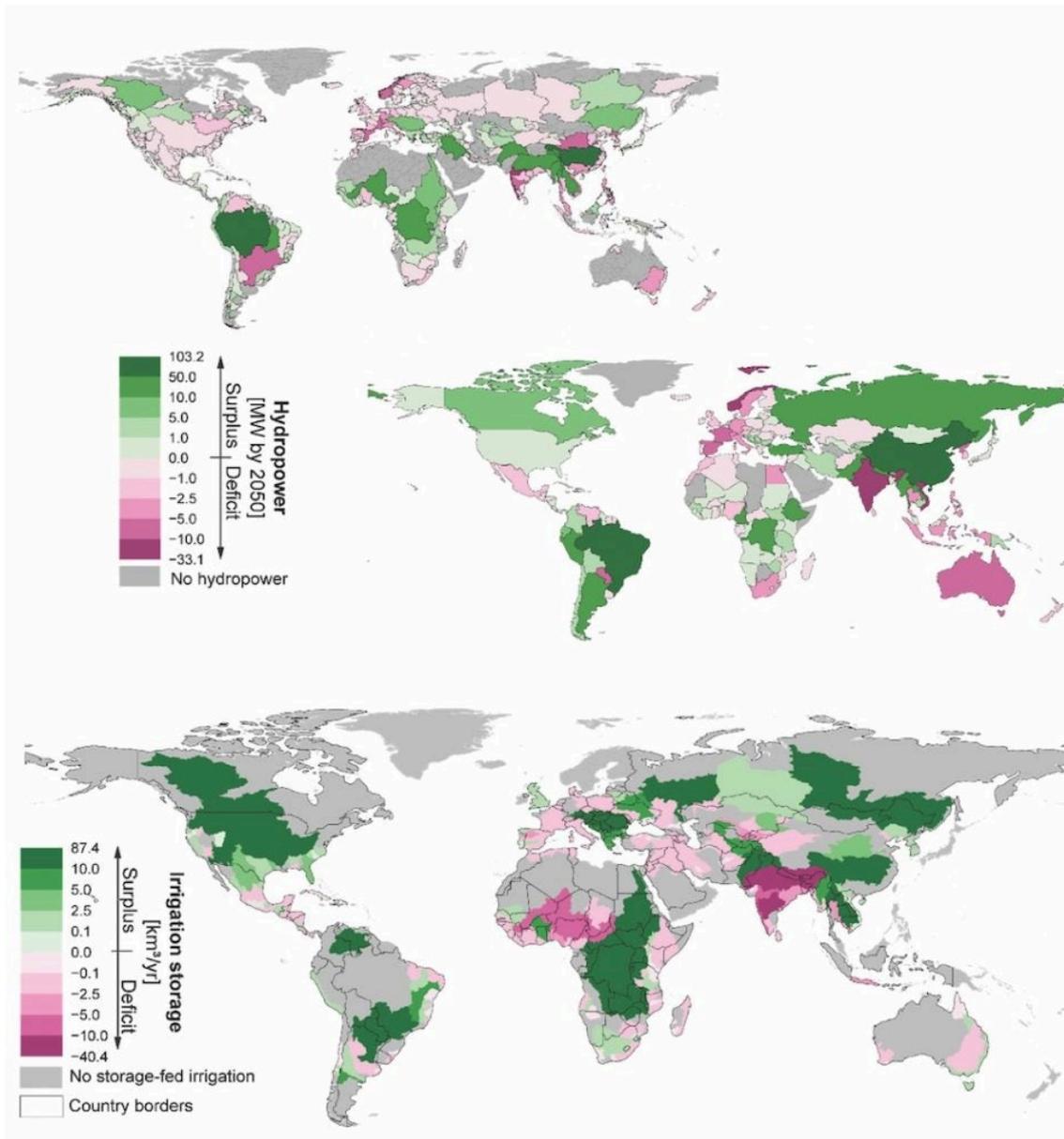
«В данном исследовании, — пояснили Лу и Мерваде, — основное внимание уделялось единичным экстремальным событиям притока/паводка с достаточно высокой максимальной скоростью стока и длительной продолжительностью для определения максимально безопасного уровня воды (MSWL). Суммарные расчетные объемы наводнений не только превышают все одиночные экстремальные события, наблюдавшиеся в истории, но и превышают большинство каскадных/непрерывных многократных экстремальных событий потока. Однако нельзя игнорировать статистическую возможность каскадных/непрерывных многократных экстремальных событий потока, которые могут привести к большим объемам паводка и потенциальному давлению на плотину».

## Орошаемая гидроэнергетика

Согласно другим исследованиям, опубликованным в журнале *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, в местах, где плотины в настоящее время в основном используются для гидроэнергетики, существует большой потенциал для орошения, основанного на использовании водохранилищ. К таким регионам относятся Европа, северные районы Северной и Южной Америки, а также Африка. Рафаэль Ян Пабло Шмитт и Лоренцо Роза утверждают, что в развитых странах потенциал для увеличения гидроэнергетики ограничен, в то время как в бассейнах глобального Юга существуют возможности для роста как гидроэнергетики, так и орошения, основанного на водохранилищах.

В результате складывается ясная картина профицита и дефицита. Примечательно, что дефицит гидроэнергетики наиболее выражен в Европе и некоторых частях Азии — в Индии и Индо-Тихоокеанском регионе. Это выглядит нелогично, поскольку многие европейские страны располагают значительными гидроэнергетическими ресурсами. Однако потенциал для увеличения гидроэнергетики с целью удовлетворения прогнозируемого роста спроса очень мал. Пространственная структура дефицита гидроэнергии для орошения, основанного на использовании водохранилищ, более сложна, объясняют авторы, с «горячими точками» в Европе, Южной Азии, а также в Африке к югу от Сахары и на Ближнем Востоке. Таким образом, Европа и Южная Азия являются ключевыми «горячими точками», где дефицит оросительных водохранилищ и гидроэнергии в будущем может создать проблемы для продовольственных и энергетических систем.

Учитывая, что оба сектора — гидроэнергетика и ирригация — зависят от одной и той же услуги, а именно от хранения воды, и конкурируют за ее использование, в данном исследовании была поставлена задача изучить будущий рост этих отраслей. В ходе исследования были выявлены проблемы, которые возникнут из-за этой конкуренции, а также определены географические районы, где она будет наиболее выражена. В результате авторы представили первый комплексный анализ будущих темпов роста и потенциалов для гидроэнергетики и орошения, основанного на использовании водохранилищ, а также обозначили эти сектора как критически важные в связке «вода-энергия-продовольствие».



Пробелы в ресурсах для гидроэнергетики и хранения ирригационной воды будут сосредоточены в нескольких региональных горячих точках. Сравнение прогнозов спроса на гидроэнергетику в низкоуглеродных энергетических системах 2050-х годов (из МЭА, а, b) и требуемого ирригационного хранения с техническим гидроэнергетическим потенциалом для гидроэнергетики и хранения (из FHRED) подчеркивает, где потенциал превышает спрос (избыток: зеленый) и наоборот (дефицит: фиолетовый). Обратите внимание, что анализ выполняется на уровне страны для гидроэнергетики (поскольку электроэнергия обычно передается на уровне страны) и на уровне бассейна для орошения. Данные уровня бассейна (a) и уровня страны (b) для спроса на гидроэнергетику были уменьшены из региональных прогнозов.

## Компромиссы в Венгрии

Управление водохранилищами в Венгрии следует рассматривать как многокритериальную задачу принятия решений, в рамках которой необходимо найти оптимальное компромиссное решение для удовлетворения потребностей водопользователей, борьбы с наводнениями, экологии и отдыха.

Являясь характерной частью холмистого ландшафта Венгрии, водохранилища были построены для различных целей, таких как разведение рыбы, борьба с наводнениями, отдых, а также промышленное, сельскохозяйственное и коммунальное водоснабжение. Однако со временем, как объясняют Иштван и его коллеги, экономические условия и условия жизни в венгерской сельской местности претерпели значительные изменения.

В связи с сокращением объемов промышленной деятельности и рыболовства сектор отдыха и развлечений стал активно развиваться. Многие водохранилища постепенно превращаются в озера, предназначенные исключительно для курортных целей, таких как рыбалка, плавание и катание на лодках. Для оптимизации гидрологических условий для этих видов деятельности колебания уровня воды в водохранилищах были в значительной степени смягчены. В результате возможности этих озер для использования в других целях, кроме отдыха и развлечений, оказались сильно ограничены.

Как объясняют авторы в своей статье, представленной на 10-м Международном симпозиуме по гидротехническим сооружениям, все это происходит на фоне растущей потребности в некоторых традиционных услугах водохранилищ, таких как защита от наводнений и коммунальное/сельскохозяйственное водоснабжение.

Между различными пользователями водохранилищ возник устойчивый конфликт. Авторы приводят пример водохранилища Маконка на реке Загыва, которое было изначально предназначено для борьбы с наводнениями, а водообеспечение рассматривалось как второстепенная функция, в то время как рекреационное и спортивное рыболовство было лишь дополнительным использованием.

Поскольку местная ассоциация рыболовов требует поддержания постоянного и стабильно высокого уровня воды в водохранилище, это ставит под угрозу выполнение его противопаводковых функций и функций водоснабжения. Увеличение потерь на испарение еще больше усугубило проблему дефицита воды в холмистых бассейнах Венгрии.

Анализ, основанный на моделях, показывает, что строительство нового водохранилища на реке Загыва может существенно улучшить проти-

вопаводковые мероприятия, водообеспечение и экологическую ситуацию в бассейне реки, а также создать удовлетворительные условия для отдыха на самом водохранилище. Кроме того, новое водохранилище поможет смягчить конфликт относительно использования существующего водохранилища ниже по течению.

Авторы утверждают, что «по общему опыту Венгрии, как только в водохранилище надолго задерживается значительный объем воды, неизбежно начинается освоение этого водоема рыбаками и другими пользователями рекреационных услуг». Чтобы предотвратить возможные конфликты, они рекомендуют применять модельный подход при определении конфигурации водохранилища и его эксплуатации, что позволит удовлетворить интересы всех заинтересованных сторон. Также важно отказаться от прежней односторонней практики и обеспечить, чтобы перед строительством нового или изменением существующего водохранилища все правомочные пользователи пришли к соглашению. В этом соглашении партнеры должны утвердить наилучший компромиссный проект и работу структур управления потоком, разработанных в ходе анализа на основе модели.

## **4 подхода к решению проблемы продовольственной и водной безопасности в эпоху интеллектуальных технологий<sup>5</sup>**

**Сародж Кумар Джа, Джойита Гупта**

Более целостные и интегрированные данные о системах продовольствия и водоснабжения имеют решающее значение для продвижения устойчивых вмешательств и улучшения процесса принятия решений.

Проблемы, связанные с изменением климата, истощением природных ресурсов и рисками дефицита воды, в сочетании с растущим мировым спросом на продовольствие, требуют скоординированного подхода к управлению данными.

---

<sup>5</sup> Источник: Saroj Kumar Jha, Joyeeta Gupta. 4 ways to address food and water security in the Intelligent Age / <https://www.weforum.org/stories/2025/01/food-water-security-intelligent-age/> Опубликовано 23.01.2025

В течение двух лет Глобальный совет по продовольственной и водной безопасности Всемирного экономического форума исследовал эту проблему и разработал структуру стека данных, которая позволит заинтересованным сторонам принимать обоснованные решения.

### **Баланс инноваций и устойчивого развития**

Стеки данных могут объединять и синтезировать различные наборы данных на единой интегрированной платформе, используя новые технологии, включая искусственный интеллект (ИИ), для выработки рекомендаций. В таких разрозненных секторах, как производство продовольствия и водоснабжение, где требуется высокая степень интеграции, такой комплекс может стать жизненно важным инструментом для заинтересованных сторон из различных бизнес-подразделений, министерств и отраслей, помогая им принимать более устойчивые и восстанавливающие решения в сфере продовольствия и водных ресурсов.

Однако новые технологии, такие как искусственный интеллект (ИИ), требуют значительных объемов воды, энергии, а также первичных металлов и минералов, при этом они еще не разработаны как циклические, возобновляемые и устойчивые. Поэтому крайне важно разрабатывать ИИ с минимальным экологическим воздействием.

Если это будет достигнуто и риск дезинформации учтен, ИИ сможет предоставить значительные возможности для выявления эффективных, действенных и справедливых решений.

Глобальный совет по вопросам продовольственной и водной безопасности призывает к созданию соответствующих структур управления, направленных на снижение рисков, связанных с ИИ, и обеспечение его использования в устойчивых целях.

## Стек данных для решений с участием многих заинтересованных сторон

Лица, принимающие решения/  
пользователи

Политики, финансисты, потребители, фермеры, частный сектор

Уровень принятия решений и интеллектуальный уровень

Приборная панель

Анализ сценариев

Анализ затрат и выгод

Сертификация продуктов питания/воды

Чат-интерфейс

Уровень инноваций

Биотехнологии

Химтехнологии

«Зеленые» ценности/  
цепочка поставок

Прогнозы погоды

Уровень цифровых технологий и уровень данных

Продовольствие и вода, данные и аналитика, обмен данными и другие платформы

Границы фермы

Водопользование на ферме

Виртуальная торговля водой в обмен на продукты питания

Погода

Хранение воды

Уровень физической инфраструктуры

Источники и запас воды

Склады

Землепользование

Инфраструктура «последней мили»

Очистные сооружения

## **Повышение продовольственной и водной безопасности**

Глобальный совет по будущему признал потенциал, который предоставляет генеративный искусственный интеллект (ИИ) и другие новые технологии для поддержки лиц, принимающих решения. Он изучил, как этот стек данных может быть использован различными заинтересованными сторонами на всех этапах цепочки создания стоимости — от политиков до фермеров и инвесторов.

На саммите *One Water*, организованном правительствами Франции и Казахстана, Совет представит стек данных и соответствующий анализ в рамках Белой книги «Продовольственные и водные системы в эпоху интеллектуальных технологий».

Совет рекомендует лидерам применять следующие принципы для внедрения и масштабирования пакета мер, направленных на содействие принятию решений в области продовольствия и водных ресурсов на местном и национальном уровнях.

### **1. Совместное создание эффективной инфраструктуры данных, обеспечивающей открытый доступ и локализованные запасы продовольствия и воды.**

Стек данных должен разрабатываться совместно с конечными пользователями, такими как фермеры и политики, чтобы обеспечить его применимость к местным условиям. Это гарантирует вовлеченность и приверженность долгосрочному улучшению внедрения.

Управление стеком должно осуществляться нейтральной и заслуживающей доверия платформой, с установлением защитных механизмов от ненадлежащего использования и вмешательства. При включении конфиденциальной информации необходимо разработать общие протоколы обмена данными, а также обеспечить соблюдение норм конфиденциальности, контроля доступа и монетизации данных.

### **2. Используйте рынки природных ресурсов и инновационное финансирование с низкими процентами ставками для увеличения выгод**

Для разработки и поддержки стека могут быть использованы различные источники финансирования. В долгосрочной перспективе коллективный анализ стека может продемонстрировать его преимущества, связывая воду и продовольствие с финансированием в области климата и охраны природы.

Необходимо предоставить больше льготного финансирования для поддержки стран, наиболее пострадавших от изменения климата, поскольку

ку адаптивное земледелие имеет ключевое значение для преодоления последствий климатических изменений.

### **3. Создание многостороннего координационного механизма**

Координация действий между министерствами и заинтересованными сторонами имеет решающее значение, поскольку она позволяет лучше интегрировать данные о продовольствии и водных ресурсах, включая информацию о границах водных ресурсов, разрешениях, контрактах, концессиях и других правах собственности, существующих в этих пределах. Это, в свою очередь, способствует более эффективному распределению водных ресурсов и внедрению целостного подхода.

Кроме того, координация обеспечит включение вопросов продовольствия и водоснабжения в национальные планы действий, включая цели в области климата и социального развития.

Наконец, сотрудничество с частным сектором и пользователями на основе предконкурентного, межотраслевого взаимодействия будет способствовать более быстрому внедрению и позволит реализовывать устойчивые и экологически безопасные решения в реальных условиях.

### **4. Перспективы повышения устойчивости и принятия решений в области инноваций**

При разработке стека необходимо учитывать будущее влияние решений в сфере продовольствия, включая воздействие изменения климата на водные ресурсы (повышение температуры на каждый градус Цельсия увеличивает испарение воды), использование различного количества воды для производства различных продуктов питания и других товаров, а также альтернативных белков.

Продовольственный и водный ландшафт постоянно обновляется и адаптируется, поэтому крайне важно, чтобы новые циклические и возобновляемые технологии, а также новые решения, которые появляются, были учтены в структуре стека.

### **Климатически устойчивые системы продовольствия и водоснабжения**

Использование стеков данных вместе с другими передовыми технологиями должно стать важнейшим элементом в масштабировании многосторонних усилий по созданию безопасных систем водоснабжения и продовольствия в условиях засух и других климатических проблем, влияющих на многие регионы, включая Латинскую Америку и Карибский бассейн.

Трансформация этих систем требует значительной поддержки в области доступа к знаниям, финансам и рынкам.

Ключевые географические регионы становятся лидерами в реализации аналогичных рамок для принятия решений в области продовольствия и водных ресурсов. В Индии фермеры используют подобные подходы для выбора более устойчивых к климату сортов сельскохозяйственных культур, а представители частного сектора предлагают инновационные решения для повышения эффективности использования воды, основанные на потребностях, определённых через стек данных.

Этот стек помогает исследователям мониторить трансграничные водоразделы, такие как бассейн реки Лимпопо, моделировать будущие сценарии и предоставлять правительствам данные, которые могут быть использованы при разработке политики по охране водных ресурсов.

Крайне важно признать масштабное воздействие изменения климата на развивающиеся страны и обеспечить устранение его последствий с помощью таких механизмов поддержки, как Фонд потерь и ущерба, созданный на КС-28.

Эти новые примеры демонстрируют возможность использования стековой структуры для принятия решений в контексте продовольствия и водных ресурсов. В долгосрочной перспективе существует потенциал для того, чтобы обучение, которое получают сегодняшние лидеры и будущие поколения, способствовало лучшему управлению климатической стабильностью и, следовательно, обеспечению безопасного будущего в области воды и продовольствия.

### **Использование высококачественных данных**

Увеличение объема доступных высококачественных данных позволит создавать более точные и соответствующие целям модели искусственного интеллекта (ИИ), которые будут продолжать помогать в принятии решений доступным способом.

Однако просто наличие таких данных не всегда приводит к действиям, как это видно на примере отказа от ископаемого топлива. Несмотря на потенциал ИИ для значительного улучшения процесса принятия решений на уровнях фермерского хозяйства, ландшафта, страны и региона, его внедрение должно происходить в рамках принципов предосторожности, чтобы обеспечить его широкое использование, при этом минимизируя воздействие на окружающую среду.

Отдавая приоритет интеграции данных и инвестируя в инновационные решения, заинтересованные стороны могут эффективно решать сложные проблемы продовольственной и водной безопасности, одновременно повышая устойчивость к будущим изменениям климата, вызовам, связанным с искусственным интеллектом (ИИ), и другим угрозам.

Такой упреждающий подход не только защищает ресурсы, но и гарантирует, что методы ведения сельского хозяйства и управления водными ресурсами останутся справедливыми, поддерживая устойчивое развитие в условиях изменения климата для будущих поколений.

## Информационные технологии в водном хозяйстве

### Преимущества ОИИ для гидрологического моделирования: реальность за гранью рекламных обещаний<sup>6</sup>

Специалисты по гидрологическому моделированию всё чаще прибегают к объяснимому искусственному интеллекту (ОИИ) для лучшего понимания сложных гидрологических процессов. Однако новое исследование Университета Аделаиды указывает на то, что идеи ОИИ могут быть не столь революционными, как считают его сторонники.

ОИИ представляет собой область исследований и набор методов, позволяющих пользователям понять, как работают алгоритмы искусственного интеллекта, а также повысить доверие к их результатам.

В традиционном гидрологическом моделировании исследователи используют данные об осадках и испарении для решения таких задач, как обеспечение безопасности водоснабжения и управление рисками наводнений.

Если гидрологические модели создаются с использованием подходов искусственного интеллекта (ИИ), перед ОИИ ставится задача объяснить, на основе каких данных и логики модель ИИ определила взаимосвязи между такими факторами, как количество осадков и водоснабжение.

Однако, согласно исследованию, опубликованному в журнале *Journal of Hydrology X* под руководством профессора Хольгера Майера из Школы архитектуры и гражданского строительства Университета Аделаиды, применение ОИИ в гидрологическом моделировании пока не привело к ожидаемым прорывным результатам, которые эта технология способна обеспечить в перспективе

---

<sup>6</sup> Источник: XAI benefits to hydrological modeling obscured by hype / <https://smartwatermagazine.com/news/university-adelaide/xai-benefits-hydrological-modeling-obscured-hype> Опубликовано 2.01.2025

По словам профессора Майера, многие подходы ОИИ напоминают более традиционные методы анализа существующих моделей, такие как анализ чувствительности или оценка выгод и потерь.

На самом деле, подход к разработке моделей, основанных на данных, с целью лучшего понимания гидрологических процессов и создания более физически обоснованных моделей столь же стар, как и сама гидрология.

Поэтому остается открытым вопрос: способны ли методы ОИИ предоставить больше информации, чем можно получить с помощью традиционных методов анализа.

Профессор Майер отмечает, что для полного использования потенциала ОИИ в гидрологическом моделировании требуется пересмотреть существующий подход, сосредоточенный на технологии.

В настоящее время при использовании ОИИ основное внимание часто уделяется максимизации предсказательной способности моделей ИИ любой ценой. Это, как правило, приводит к созданию больших моделей с тысячами или даже миллионами плохо определенных параметров.

Мало пользы от объяснения взаимосвязей, выявленных с помощью ИИ, если они не отражают глубинных гидрологических процессов.

Необходимо перестать рассматривать ОИИ исключительно как технический инструмент и вместо этого применять социотехнический подход. Такой подход позволяет рассматривать ОИИ как процесс, способный решать задачи в более широком социальном и политическом контексте.

В предыдущем исследовании профессор Майер и его коллеги подчеркнули недостатки использования искусственного интеллекта в гидрологическом моделировании.

Несмотря на то, что модель была построена на большом объеме данных и продемонстрировала высокую предсказательную способность, она показала **отрицательный вклад осадков в сток ручья** — результат, который не имеет физического смысла.

Такие проблемы указывают на необходимость замедления внедрения ОИИ до тех пор, пока технология не будет тщательно протестирована на основе проверенных моделей для обеспечения её точности и надёжности

По словам профессора Майера, нет смысла применять методы ОИИ к моделям ИИ, которые не могут последовательно и достоверно отражать глубинные процессы.

## Переосмысление плотин как транзитных узлов: создание глобальной сети водных ресурсов с использованием DamNet<sup>7</sup>

Санчит Миноча, Притам Дас, Фейсал Хоссейн

В современном мире плотины, регулирующие поверхностные воды, во многом напоминают аэропорты, которые являются узловыми пунктами для авиаперевозок. Плотина, расположенная на реке, получает поверхностные воды, часто поступающие от одной или нескольких плотин, находящихся выше по течению. Подобно аэропорту, принимающему множество рейсов из разных мест, плотина аккумулирует и распределяет поступающие ресурсы.



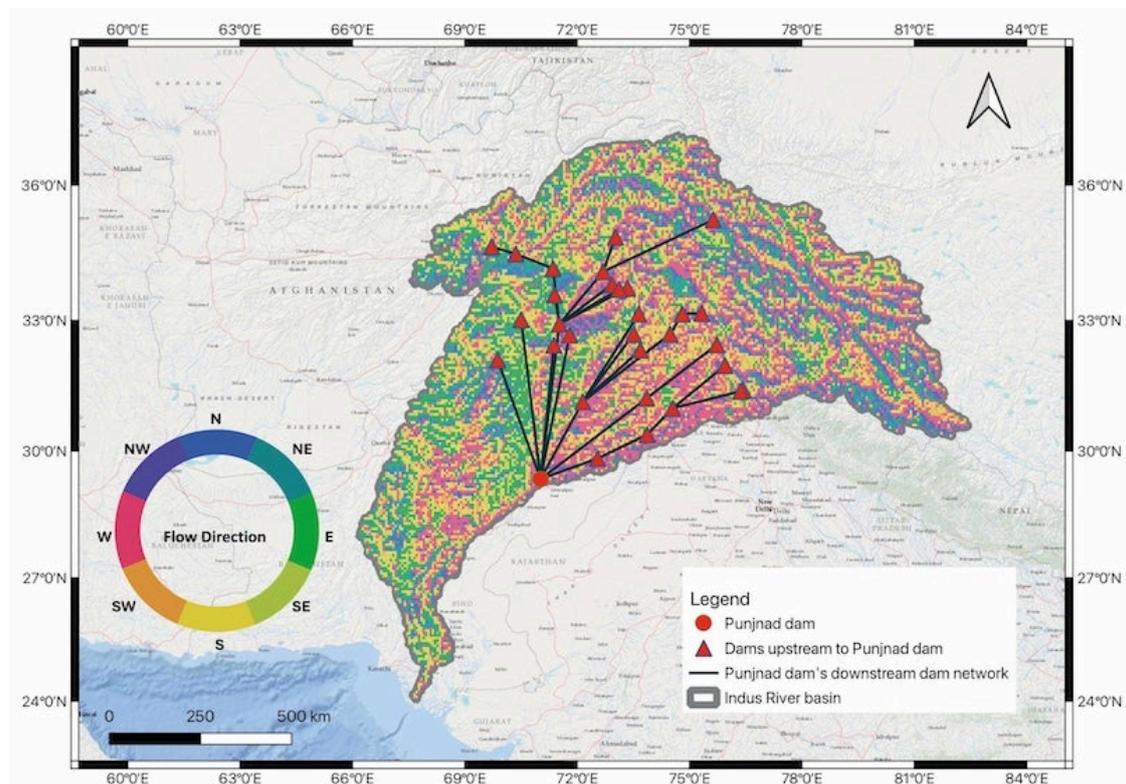
*Карта мира основных авиационных узлов в виде сети аэропортов, показывающая прямые авиасообщения по краям*

Любое нарушение в работе или повреждение структуры плотин в верховьях реки неизбежно сказывается на функционировании плотин, рас-

<sup>7</sup> Источник: Sanchit Minocha, Pritam Das and Faisal Hossain. Reimagining dams as transit hubs: visualising global water networks with DamNet / <https://www.waterpowermagazine.com/analysis/reimagining-dams-as-transit-hubs-visualising-global-water-networks-with-damnet/> Опубликовано 31.12.2024

положенных ниже по течению. Это схоже с ситуацией в аэропорту, где задержки или отмены рейсов создают цепную реакцию, нарушая расписание в других узлах. Аналогично, плотина выполняет функцию «обслуживания» или «регулирования» поверхностных вод, направляя их к нескольким плотинам в нижнем течении того же речного бассейна. Это можно сравнить с аэропортом, откуда вылетают рейсы в различные пункты назначения.

При всестороннем анализе одна плотина может рассматриваться как транзитный узел для поверхностных вод, аккумулирующий ресурсы из обширного региона, регулируемого другими плотинами, подобно крупному аэропорту. Одиочная плотина также может выступать в роли транзитного пункта для поверхностных вод перед их попаданием в крупное водохранилище. Такое водохранилище используется для хранения или дальнейшего перераспределения воды в различные сферы, включая гидроэнергетику, отдых (водные виды спорта, рыбалку) и орошение.



*Карта, изображающая плотину Пунджнад в бассейне реки Инд в Пакистане, вместе с ее сетью плотин вверх по течению. Карта также включает направление поверхностного потока воды для каждой пространственной сетки речного бассейна, показанное определенным цветом, иллюстрирующим модели потока воды и связность*

## Сходство с авиационной промышленностью

В чем же заключается ценность переосмысления плотин как транзитных узлов поверхностных вод, аналогичных узлам авиационной промышленности? Мы утверждаем, что такой подход имеет ряд важных преимуществ.

Используя эту концепцию, мы можем повысить нашу способность адаптироваться к изменению климата, обеспечивая более надежное и устойчивое снабжение ключевыми ресурсами — энергией, продовольствием и водой, — которые зависят от работы плотин. Определив для каждой плотины набор расположенных выше по течению объектов, регулирующих поступающие поверхностные воды, можно сразу обозначить её «зону влияния».

Если какая-либо из плотин в верховьях реки окажется под воздействием экстремальных явлений, таких как засуха, катастрофические наводнения (переполнение насыпей) или даже прорыв, станет возможным разработать планы и протоколы подготовки. Эти меры позволят минимизировать перебои в работе и обеспечить безопасность, особенно если плотина относится к категории повышенной опасности, то есть расположена выше по течению от крупных населённых пунктов.

Например, представим сценарий, при котором через водосброс одной из плотин, расположенных выше по течению, происходит утечка крупного загрязняющего вещества. Для обеспечения общественной безопасности важно локализовать этот инцидент. Знание «границы влияния» позволяет точно определить маршрут распространения загрязнения и рассчитать время, необходимое для его достижения следующей плотины, которая может играть ключевую роль в регулировании водоснабжения для населения.

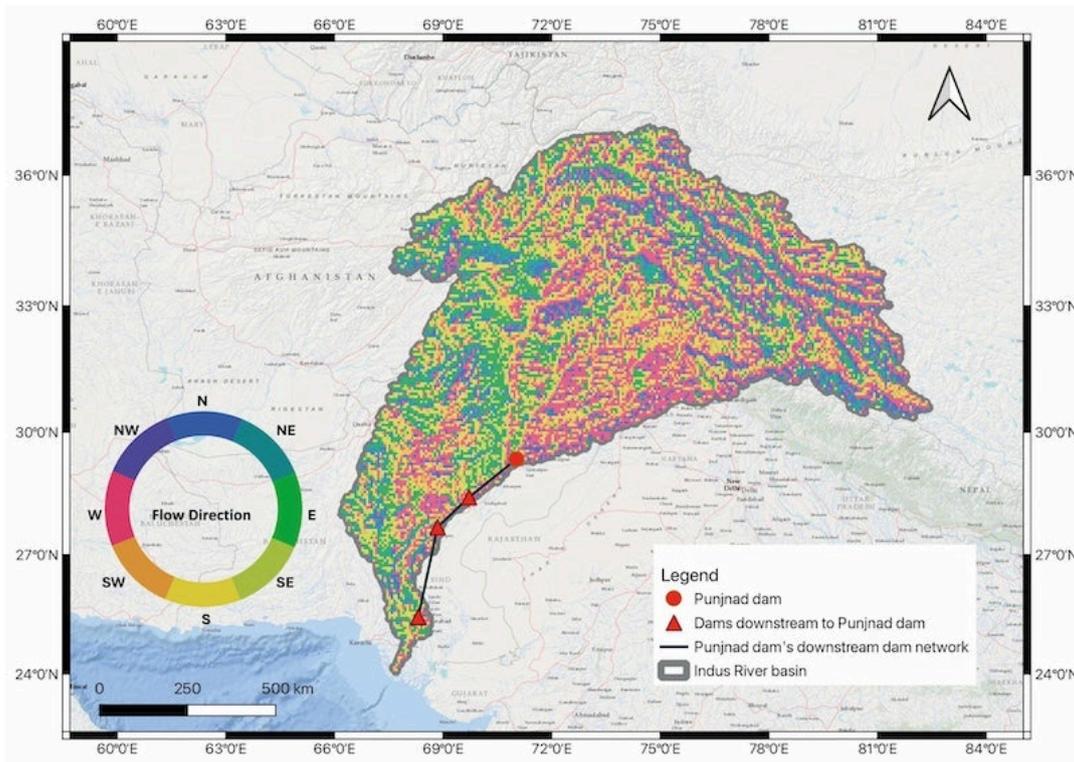
Аналогичным образом, определив плотины, расположенные ниже по течению, которые непосредственно зависят от работы или структурной целостности рассматриваемой плотины, можно установить соответствующую «зону влияния». Это даёт оператору плотины важную информацию о том, какие именно объекты требуют координации или взаимодействия для обеспечения оптимального распределения воды и соблюдения общих целей управления водными ресурсами в интересах местного населения. Кроме того, плотина может адаптировать свою операционную политику, чтобы поддержать плотину, расположенную ниже по течению, например, увеличив объём сброса воды в условиях её дефицита или приняв меры для защиты от наводнений.

Яркий пример подобной координации произошел в 2016 г., когда плотина, расположенная в верховьях реки в Китае, выпустила больше во-

ды, чем обычно, чтобы помочь плотине на Красной реке во Вьетнаме справиться с засухой. В противоположность этому, в июле 2019 г. одна из плотин в верховьях реки Меконг в Китае, как сообщалось, сократила сброс воды наполовину, что привело к аномально низкому уровню воды в дельте Меконга.

Многочисленные исследования показывают, что увеличение объема сброса воды могло бы помочь дельте нижнего Меконга во Вьетнаме справиться с засухой и даже снизить уровень солености пресной воды. Более того, недавние данные свидетельствуют о том, что даже в спорных и сильно запруженных речных бассейнах, таких как Голубой Нил или Тигр и Евфрат, страны получают значительно больше выгоды, если между сетью плотин в верхнем и нижнем течении осуществляется тактическая координация. Даже для успешной миграции рыбы в верховьях рек оптимальные и согласованные правила эксплуатации плотин оказываются чрезвычайно эффективными, позволяя минимизировать экологические последствия и поддерживать биоразнообразие.

Настало время представить миру программное обеспечение для глобальной визуализации плотин, используя доступные инструменты с открытым исходным кодом и открытые научные данные. Этот подход поможет переосмыслить роль плотин как транзитных узлов. Такая визуализация способна значительно улучшить управление ключевыми ресурсами жизнеобеспечения, контролируемые плотинами: энергией (гидроэнергия), продовольствием (благодаря ирригационным проектам) и питьевой водой. Кроме того, она будет способствовать разработке более надежной политики адаптации к экстремальным экологическим условиям, вызванным изменением климата. Инструмент также может стать ценным образовательным ресурсом, позволяя обучать студентов управлению поверхностными водами и бережному отношению к природным ресурсам. Он может быть полезен для разработки полевых экспериментов по мониторингу и отслеживанию переноса осадков, изучению миграции рыбы в зарегулированных реках и других исследовательских задач.



*Карта, изображающая плотину Пенджнад в бассейне реки Инд в Пакистане, а также сеть плотин ниже по течению, наложенную на сетку направлений потока для речного бассейна*

### Представляем DamNet: сеть для плотин

В ответ на необходимость создания инструмента визуализации, позволяющего рассматривать плотины как узловые и транзитные пункты, мы рады представить **DamNet**.

DamNet использует алгоритмы теории сетей для определения геолокации плотин, расположенных выше или ниже по течению от заданной плотины в рамках определённого пути потока. В текущей версии инструмента сетевой алгоритм был применён к классической базе данных плотин **GraND** (Global Reservoirs and Dams database), включающей более 7000 объектов.

Сетевой алгоритм стал частью модели **Reservoir Operations driven River Regulation (ResORR)**. Кроме того, инструмент позволяет пользователям загружать собственные базы данных плотин и файлы направлений стока или сетей рек, что делает его универсальным для различных задач и регионов.

Доступ к **DamNet** можно получить по ссылке:

<https://depts.washington.edu/saswe/damnet/>

При наведении курсора мыши на плотину появляются опции для отображения плотин, расположенных выше или ниже по течению. Кроме того, в каждом месте, где на визуализации показана плотина, отображается ключевая информация о ней.



*Скриншот инструмента визуализации DamNet, отображающего сеть плотин по всему североамериканскому континенту. Плотины обозначены черными маркерами, а соединения представлены направленными ребрами (от светло-синего до темно-синего).*

*[См. <https://depts.washington.edu/saswe/damnet/>]*

## Инструмент визуализации плотин

Инструмент визуализации **DamNet** был разработан с использованием платформы **Observable Notebook** — интерактивного и редактируемого формата документов, идеально подходящего для визуализации данных. Этот формат позволяет создавать визуализации, которые можно интегрировать в веб-сайты. Интерактивная визуализация построена на основе сетевого графа, реализованного с использованием JavaScript и библиотеки **d3**.

Пользователи могут выбрать определённый континент или опцию «Все континенты», чтобы просмотреть плотины в интересующем их регионе. При наведении курсора на плотину инструмент выделяет плотины выше по течению красным цветом, плотины ниже по течению — зелёным,

а выбранная плотина отображается жёлтым цветом. В правом нижнем углу отображаются название плотины и река, на которой она построена.

При нажатии на плотину отображается вся её связанная сеть, включающая все плотины, расположенные выше и ниже по течению относительно выбранной.

Цветовая схема визуализации отражает потоки воды:

- **Красный** — плотины выше по течению (входящий поток),
- **Жёлтый** — выбранная плотина (точка осмотра),
- **Зелёный** — плотины ниже по течению (исходящий поток).

Цветовая схема визуализации следующая:

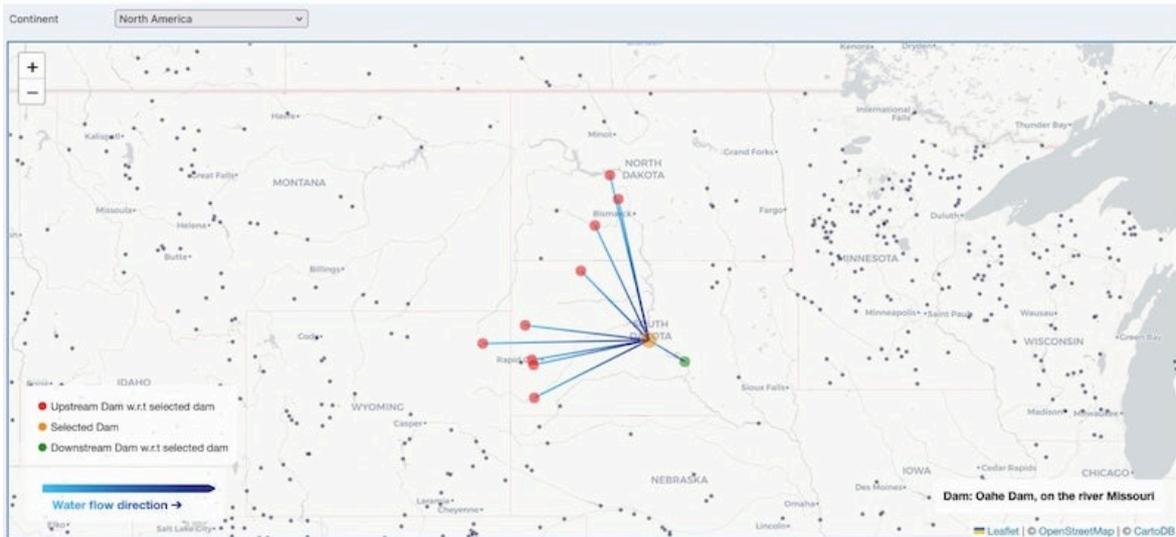
- **Красный** — плотины выше по течению, символизируют входящий поток,
- **Жёлтый** — выбранная плотина, обозначает точку осмотра,
- **Зелёный** — плотины ниже по течению, отражают исходящий поток.

Кроме того, направление потока воды представлено градиентным синим цветом. Этот цвет плавно темнеет по мере того, как вода движется от плотин в верховьях к плотине, расположенной ниже по течению.

## Управление

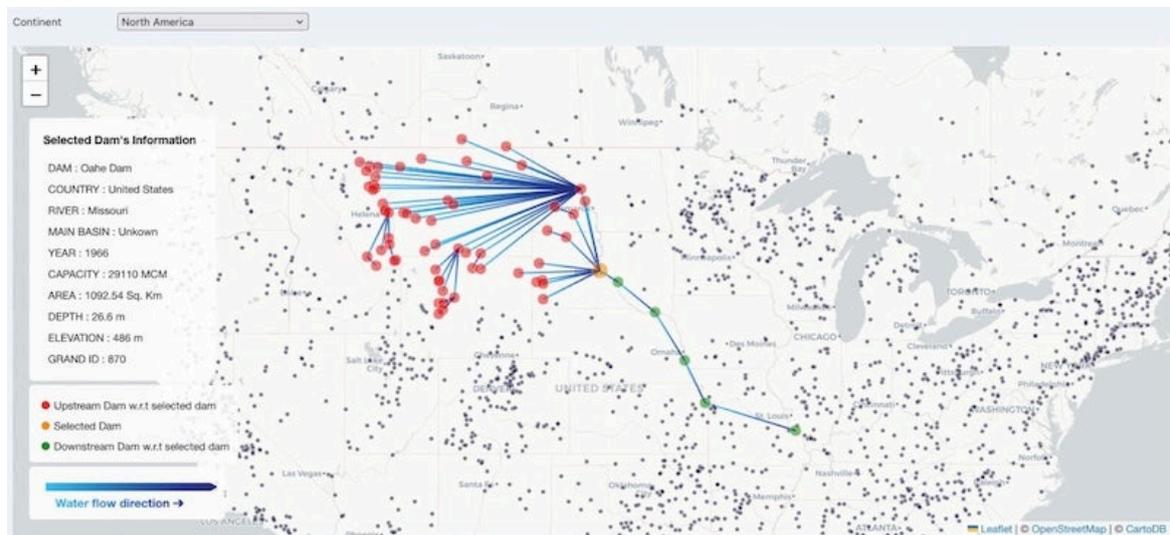
С помощью **DamNet** можно проводить множество исследований, особенно если пользователь использует более полные базы данных плотин, такие как **GDAT** и **GOODD**, в сочетании с высокоразрешёнными данными о направлениях потока рек мира, такими как **GRWL** и **SWORD**. Эти исследования могут служить как образовательным целям, так и решать исследовательские задачи.

В этой статье мы продемонстрировали общую ценность **DamNet** как инструмента визуализации, который позволяет переосмыслить плотины как транзитные узлы водных ресурсов на глобальном уровне. Мы надеемся, что пользователи найдут этот инструмент полезным, расширят его с помощью более полных наборов данных и добавят дополнительные слои информации, чтобы углубить понимание роли плотин в управлении ключевыми ресурсами и услугах, которые зависят от поверхностных вод.



*Скриншот инструмента визуализации DamNet, сделанный при наведении курсора на плотину Оахе (выделена желтым) в США. Название плотины и река, на которой она построена, отображаются в правом нижнем углу. Плотины, расположенные выше по течению, показаны красным цветом, а плотины, расположенные ниже по течению, — зеленым.*

*[См. <https://depts.washington.edu/saswe/damnet>]*



*Скриншот инструмента визуализации DamNet, сделанный при нажатии на плотину Оахе (выделена желтым) в США. Атрибуты плотины отображаются на левой панели, при этом плотины, расположенные выше по течению, показаны красным цветом, а плотины, расположенные ниже по течению, — зеленым.*

*[См. <https://depts.washington.edu/saswe/damnet>]*

## **Гидроэнергетика становится цифровой: новая эра эффективности и устойчивости<sup>8</sup>**

Гидроэнергетика активно внедряет передовые цифровые технологии, такие как искусственный интеллект (ИИ), машинное обучение и цифровые двойники, что способствует развитию сектора в сторону повышения эффективности и экологической устойчивости. От мониторинга в режиме реального времени до более рационального управления водными ресурсами – цифровизация стимулирует инновации и модернизацию по всему миру, прокладывая путь к более экологичному энергетическому будущему, несмотря на такие вызовы, как интеграция технологий и вопросы кибербезопасности.

Сектор гидроэнергетики переживает глубокую цифровую трансформацию, которая помогает ему двигаться к более устойчивому и эффективному будущему. В процессе развития отрасли, направленного на обеспечение безопасного, устойчивого и конкурентоспособного энергоснабжения, в гидроэнергетические установки интегрируются передовые цифровые технологии и датчики.

Цифровые двойники, представляющие собой виртуальные копии физических систем, используются для мониторинга, моделирования и прогнозирования. Эти технологии уже успешно применяются, например, на электростанции Rabenstein компании Verbund и на плотине Alder в американском штате Вашингтон.

Продолжающийся прогресс в области искусственного интеллекта и машинного обучения открыл «новую эру» оптимизированных методов обслуживания. Мониторинг в режиме реального времени активно используется для эффективного управления гидроэлектростанциями, а оцифровка играет ключевую роль в мониторинге состояния окружающей среды и биоразнообразия в водохранилищах. Существенные успехи также наблюдаются в области автономного контроля качества воды.

Цифровизация гидроэнергетики открывает новые возможности для повышения эффективности эксплуатации, продления срока службы активов, улучшения мониторинга окружающей среды, экономии затрат и принятия решений, основанных на данных. Однако существует ряд проблем, которые необходимо преодолеть, таких как:

---

<sup>8</sup> Источник: Hydropower goes digital: a new era of efficiency and sustainability / <https://www.waterpowermagazine.com/analysis/hydropower-goes-digital-a-new-era-of-efficiency-and-sustainability/> Опубликовано 2.01.2025

- Интеграция с существующими системами. Внедрение новых технологий в существующую инфраструктуру требует тщательного планирования и грамотной реализации.
- Проблемы кибербезопасности. Увеличение цифровизации открывает больше возможностей для кибератак, что требует повышения уровня защиты данных и систем.
- Высокие первоначальные инвестиции. Внедрение передовых цифровых технологий часто требует значительных начальных вложений, что может быть препятствием для многих организаций.
- Развитие навыков. Для успешного внедрения цифровых технологий необходимы квалифицированные специалисты, обладающие опытом работы с новейшими инструментами и методами.
- Вопросы нормативного регулирования и соответствия требованиям. Навигация в сложной нормативной среде может представлять собой значительную проблему при внедрении новых технологий.

### **Техническая эволюция**

Модернизация может рассматриваться как возможность для максимально эффективного использования потенциала гидроэнергетики. В своем исследовании, опубликованном в журнале *Renewable Energy*, Ваньони и его коллеги представляют обзор решений по цифровизации и инновационных технологий, которые будут способствовать развитию нового поколения устойчивых гидроэнергетических систем, а также выявляют возможности для модернизации существующих гидроэлектростанций.

Автор, анализируя европейскую гидроэнергетическую отрасль, утверждает, что результаты их работы имеют практическое значение для заинтересованных сторон в секторе и политиков, подчеркивая важность создания благоприятных условий и эффективных рынков для максимального раскрытия потенциала европейской гидроэнергетики в контексте достижения целей энергетического перехода.

Ваньони и его коллеги утверждают, что гибкость и цифровизация являются ключевыми факторами для успешной реализации энергетического сценария с нулевым уровнем выбросов. Эти аспекты должны быть интегрированы во все звенья энергетической системы: от генерации электроэнергии до усиленных систем передачи и распределения, эффективного хранения энергии и гибкого управления спросом.

Развитие гибкости должно учитывать потребности в хранении энергии для будущих систем электроснабжения, а также подчеркивать роль

гидроэнергетики как важного элемента, способствующего устойчивости энергетической системы. Авторы также рассматривают экологические аспекты, такие как влияние гидроэнергетики на экологию водоемов и подводную жизнь, и подчеркивают необходимость учета трансграничных факторов в рамках устойчивости гидроэнергетики, где это возможно.

«Развитие гибкости должно поддерживаться прогрессом в области цифровизации и инноваций», — утверждают они, добавляя, что, несмотря на хороший уровень цифровизации в европейском секторе гидроэнергетики, потенциал этих технологий пока не реализован в полной мере.

Как говорится в их отчете: «Последние технологические решения, похоже, не были единообразно приняты в европейских странах, что подтверждает необходимость обмена знаниями между заинтересованными сторонами. Например, требуется улучшить беспилотную эксплуатацию гидроэлектростанций и увеличить количество гидроэлектростанций с гидроаккумулирующими установками».

Кроме того, стареющий парк гидроэлектростанций Европы «открывает отличные возможности для внедрения инновационных стратегий модернизации, направленных на повышение устойчивости гидроэнергетики на глобальном уровне».

## **Шведская цифровизация**

Инвестиционный менеджер компании Downing сотрудничает с HYDROGRID для повышения эффективности и устойчивости своих гидроэнергетических операций в Швеции. Партнерство будет направлено на цифровизацию парка мощностью 45 МВт, состоящего из 32 гидроэлектростанций, с использованием передовых технологий для улучшения производительности и автоматизации. В рамках сотрудничества будут внедрены различные модули, включая полную оптимизацию каскадов и базовую интеграцию притока воды.

Ульф Веннилсё, управляющий портфелем и генеральный директор Downing Sweden, отметил, что технология HYDROGRID является краеугольным камнем их пути к цифровизации, помогая обеспечить соответствие требованиям завтрашнего дня для небольших каскадов Downing.

Проект включает внедрение усовершенствованной платформы управления водными ресурсами, которая поддержит выход первой гидроэлектростанции Downing на рынок мощности в рамках FCR-N и FCR-D. Также компания Downing будет сотрудничать с OneNordic в вопросах эксплуатации и обслуживания для обеспечения эффективной передачи данных и максимальной эксплуатационной эффективности.

## Водохозяйственный сектор

Водохозяйственный сектор описывается как находящийся на пути к так называемой «четвертой революции», стремясь к более устойчивому и эффективному управлению водными ресурсами. В условиях глобального изменения климата, которое увеличивает неопределенность относительно доступности и качества воды, внедрение цифровых технологий помогает сектору адаптироваться к растущим потребностям в воде, усугубляемым последствиями изменений климата и проблемами качества воды.

Как объясняет Кристина Уолтер в своем исследовании, опубликованном в *Geoforum*, водохозяйственный сектор «сталкивается с мега тенденцией цифровизации». Внедрение цифровых технологий открывает новые возможности для решения водных рисков 21-го века на ранних этапах. Новые технологии помогут углубить знания о водоснабжении, спросе на воду и других данных, которые могут быть использованы для информирования государственной политики или для направленных инвестиций.

Цифровые технологии также обеспечат более легкий сбор и обмен данными между различными пространственными масштабами, а также помогут управлять такими процессами, как поток воды, с использованием удаленного мониторинга. Кроме того, новые отношения и взаимодействия формируются непосредственно через цифровые технологии.

Вальтер из Аугсбургского университета в Германии «рисует позитивное и оптимистичное будущее» для водохозяйственного сектора, которое можно достичь с помощью внедрения цифровых технологий.

## Технологии в водном хозяйстве

### **Децентрализованные решения для водоочистки: как локализованные системы расширяют возможности сообществ<sup>9</sup>**

Элли Гейбл

Доступ к чистой воде является основой для здоровья, экономического развития и экологической устойчивости. Однако централизованные системы водоочистки, несмотря на свою эффективность в ряде регионов, часто не могут удовлетворить потребности отдаленных или недостаточно обслуживаемых сообществ. Элли Гейбел объясняет, почему децентрализованные системы водоочистки становятся важным трансформационным решением, предлагая локализованные, адаптируемые и экономически эффективные методы обеспечения безопасной питьевой воды для всех.

Децентрализованная водоочистка представляет собой маломасштабные локальные системы, которые очищают воду непосредственно вблизи от места её использования. В отличие от централизованных систем, которые полагаются на сложную инфраструктуру для транспортировки и распределения воды на большие расстояния, децентрализованные системы фокусируются на решении конкретных местных проблем качества воды.

Эти системы могут варьироваться от домашних фильтров до общественных очистных сооружений и часто используют передовые технологии, такие как обратный осмос, ультрафиолетовое (УФ) обеззараживание и биологические процессы очистки.

#### **Почему решения по децентрализации важны**

Централизованные системы водоснабжения давно являются основой городского и регионального водного хозяйства, но они не лишены недо-

---

<sup>9</sup> Источник: Ellie Gabel. Decentralized Water Treatment Solutions: Empowering Communities With Localized Systems / <https://www.globalwaterforum.org/2025/01/16/decentralized-water-treatment-solutions-empowering-communities-with-localized-systems/> Опубликовано 16.01.2025

статков. Во многих случаях такие системы не могут эффективно решать специфические проблемы, с которыми сталкиваются отдаленные, недостаточно обслуживаемые или пострадавшие от стихийных бедствий населенные пункты.

Децентрализованные системы водоочистки представляют собой многообещающую альтернативу, устраняя эти недостатки с помощью локализованных, адаптируемых и экономически эффективных решений. Вот несколько ключевых причин, почему децентрализованные системы необходимы:

### **Доступность для удаленных районов**

Централизованные системы водоснабжения могут быть дорогостоящими как в установке, так и в обслуживании, особенно для сельских или географически сложных населенных пунктов.

Децентрализованные системы предлагают практичную альтернативу, снижая необходимость в обширных трубопроводных сетях и обеспечивая очистку воды прямо у источника. Эти системы эффективно обслуживают небольшие и рассредоточенные группы населения, минимизируя затраты на инфраструктуру и обеспечивая большую гибкость в проектировании и реализации.

### **Рентабельность**

Централизованные системы водоочистки требуют значительных инвестиций в инфраструктуру, техническое обслуживание и энергозатраты.

В то время как децентрализованные системы могут быть адаптированы и масштабированы в зависимости от конкретных местных потребностей, что снижает как первоначальные, так и эксплуатационные расходы. Такие системы особенно эффективны для обеспечения не питьевой водой — например, для орошения или промышленного использования — без перегрузки централизованных объектов.

### **Устойчивость в кризисных ситуациях**

Стихийные бедствия, стареющая инфраструктура и случаи загрязнения воды подчеркивают уязвимость централизованных систем. Децентра-

лизованные системы водоочистки могут повысить устойчивость, диверсифицируя источники воды и предлагая резервные решения, которые обеспечивают непрерывность снабжения в условиях чрезвычайных ситуаций.

### **Принцип работы децентрализованных систем**

Эффективность децентрализованных систем водоочистки заключается в их универсальности и инновационном дизайне. Эти системы не являются универсальным решением, а применяют различные технологии и подходы, чтобы эффективно решать местные проблемы качества воды.

От модульных установок, которые можно масштабировать по мере необходимости, до передовых методов очистки, ориентированных на конкретные загрязнители — децентрализованные системы разработаны с учетом гибкости и адаптивности.

Промышленные системы водоподготовки требуют регулярного тестирования качества воды для предотвращения загрязнения и обеспечения надежности децентрализованных технологий с точки зрения соблюдения стандартов безопасности. Постоянное тестирование защищает здоровье пользователей и помогает точно настроить системы, позволяя им адаптироваться к изменяющимся условиям водоснабжения и поддерживать максимальную эффективность.

Децентрализованные системы обеспечивают практичные и устойчивые решения благодаря точным испытаниям и адаптируемым конструкциям, что делает их неотъемлемой частью современных стратегий управления водными ресурсами.

### **Модульная конструкция**

Децентрализованные системы водоочистки часто имеют модульную конструкцию, что позволяет легко масштабировать или изменять их конфигурацию. Такая гибкость делает их идеальными для растущих сообществ или регионов с переменной потребностью в воде.

Одним из распространенных решений являются контейнерные системы, где очистное оборудование размещается в мобильных блоках. Эти системы можно быстро перемещать и устанавливать, что обеспечивает оперативное решение проблем водоснабжения в зонах бедствий или временных поселениях.

## Разнообразие технологий очистки

В децентрализованных системах используются различные технологии, учитывающие местные особенности качества воды. К распространённым методам относятся:

- **Системы фильтрации:** эффективны для удаления осадков и твёрдых частиц.
- **Мембранные технологии:** идеально подходят для опреснения воды или удаления загрязнителей, таких как мышьяк.
- **Методы дезинфекции:** ультрафиолетовое излучение или хлорные технологии для уничтожения патогенов.
- **Природные системы:** водно-болотные угодья или биопесчаные фильтры, использующие экологические процессы для очистки.

Адаптивность этих технологий позволяет системам эффективно справляться с широким спектром загрязнений — от микробных патогенов до тяжёлых металлов.

В США децентрализованные системы очистки сточных вод всё чаще признаются важной частью инфраструктуры сельских территорий. Эти системы помогают предотвратить загрязнение, защищают здоровье населения и снижают нагрузку на устаревающую централизованную инфраструктуру.

Однако, несмотря на значительные преимущества, децентрализованные системы сталкиваются с рядом проблем. Их техническое обслуживание и эксплуатация требуют наличия специальных знаний, которые могут быть ограничены в некоторых регионах. Также финансирование таких систем может стать серьёзным препятствием, особенно для небольших сообществ с ограниченными бюджетами.

## Потенциал будущего

Развитие технологий и политическая поддержка открывают новые перспективы для более широкого внедрения децентрализованных систем. Интеллектуальные инструменты управления водными ресурсами, такие как датчики и аналитика данных, повышают эффективность и надёжность этих систем. Цифровые технологии, включая устройства Интернета вещей (IoT) и облачную аналитику, революционизируют методы эксплуатации и обслуживания.

Интеллектуальные датчики позволяют отслеживать ключевые параметры качества воды, такие как рН, мутность и уровень загрязнения, в реальном времени, что способствует оперативной реакции на возникающие проблемы. Устройства с поддержкой IoT дают возможность дистанционно управлять системой и проводить её диагностику, что сокращает потребность в персонале на месте и повышает общую эффективность работы.

Облачные платформы объединяют данные с различных объектов, предоставляя практические выводы, которые помогают оптимизировать процессы очистки и прогнозировать потребности в техническом обслуживании. Эти технологии также способствуют соблюдению стандартов безопасности водных ресурсов.

Автоматизированная регистрация данных упрощает процесс составления отчётов, а упреждающая аналитика позволяет выявлять потенциальные сбои в системе до их возникновения, сокращая время простоя и увеличивая срок службы оборудования.

Благодаря интеграции данных и цифровых технологий децентрализованные системы водоснабжения становятся более эффективными и устойчивыми, что позволяет им обеспечивать надёжный доступ к чистой воде в самых различных условиях.

Кроме того, правительственные стимулы и государственно-частные партнёрства помогают преодолевать финансовые барьеры. Например, Всемирный банк утвердил финансирование для продвижения децентрализованных решений в области водоснабжения в странах, таких как Гаити, сочетая техническую помощь с финансовой поддержкой для укрепления местных возможностей.

## **Путь вперед**

Децентрализованные системы водоочистки меняют подходы к управлению водными ресурсами. Ориентируясь на локальные решения, эти системы позволяют сообществам взять под контроль качество воды и обеспечить доступ к чистой и безопасной питьевой воде.

У политиков, инженеров и общественных деятелей есть уникальная возможность масштабировать эти системы, решая глобальные проблемы водных ресурсов и одновременно способствуя устойчивости и жизнестойкости. С развитием технологий и снижением их стоимости децентрализованная водоочистка может стать краеугольным камнем современных стратегий управления водными ресурсами.

Инвестируя в эти инновационные системы и поддерживая их, общество может приблизиться к достижению всеобщего доступа к чистой воде — одному из основных прав человека и важнейших компонентов устойчивого развития.

## **Израиль лидирует в области водосбережения благодаря революции интеллектуальных счетчиков<sup>10</sup>**

Новаторская трансформация системы учета воды в Израиле близится к завершению. Установка двух миллионов интеллектуальных счетчиков воды по всей территории Израиля стремительно продвигается, сообщает *The Jerusalem Post*. Эта инициатива, возглавляемая компанией *Arad Group*, как ожидается, позволит израильским потребителям сэкономить около \$28 млн в год за счет сокращения потерь воды.

Управление водного хозяйства поставило цель сделать 100% всех водосчетчиков в Израиле интеллектуальными к 2026 г. На данный момент уровень внедрения интеллектуальных счетчиков составляет 70%, что является одним из самых высоких показателей в мире. Это уже помогает сократить потери воды на 7%. Такое достижение особенно примечательно на фоне сектора электроэнергетики, где внедрение интеллектуальных счетчиков составляет всего 30%. В последние годы компания *Arad* развивает сеть *LoRaWAN IoT*, что обеспечивает простую, гибкую и экономически эффективную интеграцию решений интернета вещей (IoT), включая более 500 тыс. датчиков *LoRaWAN* по всей стране.

Современные интеллектуальные счетчики предоставляют точные данные о потреблении воды, выявляя утечки, кражи и другие неэффективные практики. Оповещения в реальном времени, отправляемые на мобильные устройства, позволяют оперативно реагировать на проблемы, что сокращает время устранения утечек с 35 дней до 10. Своевременное вмешательство предотвращает потерю тысяч литров воды на домохозяйство, что способствует значительной экономии для потребителей и сохранению ценного ресурса.

---

<sup>10</sup> Источник: [Israel leads the way in water conservation with smart meter revolution / https://smartwatermagazine.com/news/smart-water-magazine/israel-leads-way-water-conservation-smart-meter-revolution](https://smartwatermagazine.com/news/smart-water-magazine/israel-leads-way-water-conservation-smart-meter-revolution) Опубликовано 21.01.2025

Только в 2024 г. интеллектуальные счетчики выявили утечки в более чем 200 тыс. домохозяйств и отправили 1,3 миллиона уведомлений в режиме реального времени. Эти усилия позволили сэкономить 10 млн м<sup>3</sup>, что подчеркивает как экологические, так и экономические преимущества инициативы.

Регев Янай, вице-президент *Arad Group* по локальному маркетингу, выразил гордость за участие в этой революции, подчеркнув приверженность компании международным стандартам и технологическим инновациям. С развитием интеллектуальной городской инфраструктуры Израиля эта инициатива в сфере учета воды устанавливает новый глобальный стандарт устойчивости и эффективности.

## **Вопреки всему: как проект водоснабжения на 1,7 миллиарда литров стал основой современного Израиля<sup>11</sup>**

**Каиф Шейх**

Когда Израиль получил официальное признание в 1948 г., страна столкнулась с огромной проблемой: как обеспечить достаточное количество воды для быстрорастущего населения на территории, где осадки распределены неравномерно? В ответ на этот вызов был создан Национальный водовод (NWC) — амбициозный инженерный проект, который должен был перекачивать большие объемы воды с более влажного севера в более сухие центральные и южные регионы.

Этот технически смелый и крайне важный для процветания страны проект не только изменил географию Израиля, но и укрепил его экономику, вызвав при этом как восхищение, так и споры.

В этой статье рассматриваются ключевые факторы, которые стали движущими силами быстрого восьмилетнего строительства проекта, амбициозные методы, использованные для его реализации, а также его далеко идущие политические последствия. Узнайте о новаторских решениях

---

<sup>11</sup> Источник: Kaif Shaikh. Against all odds: The 1.7 billion liter water project that built modern Israel / <https://interestingengineering.com/culture/israel-1953-mega-water-transfer-project> Опубликовано 30.01.2025

NWC, таких как огромные трубопроводы, туннели через труднопроходимые холмы и резервуары, спроектированные для минимизации испарения, а также о том, как эти инженерные подвиги проложили путь к современным технологиям, таким как опреснение воды.

Читайте дальше, чтобы узнать удивительные подробности того, как этот мегапроект помог преобразить только что возникшее государство, или посмотрите видео, чтобы отправиться в визуальное путешествие по теме. Выбор за вами.

### **Быстрорастущая нация**

К концу 1940-х гг. Израиль столкнулся с резким притоком новых жителей, вызванным последствиями Второй мировой войны и Холокоста. В 1948 г. население региона составляло чуть более 800 000 человек. Всего три года спустя, в 1951 г., оно удвоилось и достигло 1,6 млн человек. Сегодня эта цифра превышает 9 млн, и всё это на территории площадью около 22 000 км<sup>2</sup> что примерно соответствует размеру Нью-Джерси.

Этот быстрый рост населения выявил критическую проблему: дефицит воды из-за неравномерного распределения осадков. Северные районы, такие как Галилейское море и бассейн реки Иордан, получали обильные осадки, в среднем около 40 дюймов в год. Однако большинство вновь прибывших поселились в центральном и южном Израиле — регионах с гораздо меньшим количеством осадков. Огромная пустыня Негев занимает примерно половину общей площади страны, а в некоторых местах ежегодно выпадает менее четырёх дюймов осадков.

В то время как бедуинские общины давно адаптировались к суровым условиям Негева, приток новых жителей требовал более надёжного и долговечного источника воды. Обеспечение равного доступа к воде стало необходимым для расселения быстрорастущего населения и закладки фундамента для будущего развития страны.

### **Фундаменты водовода**

Задуманный в начале 1950-х гг., Национальный водовод (NWC) Израиля был разработан для решения проблемы неравномерного распределения воды в стране. Протяжённостью 130 км, он включает в себя ряд подземных и надземных сооружений: 87 км стальных и бетонных трубопроводов, 13 км высеченных вручную туннелей через скальные породы и 8 км

открытых каналов, соединённых большими балансирующими резервуарами.

Строительство началось в 1958 г. под руководством компании *Tahal*, государственной организации, занимающейся планированием водных ресурсов, и было завершено всего за восемь лет, в 1964 г. Изначально система перекачивала впечатляющие 450 млн м<sup>3</sup> воды в год, достигая пика в 1,5 млн м<sup>3</sup> ежедневно. Стоимость строительства проекта составила \$420 млн, что эквивалентно примерно \$4 млрд. по сегодняшним меркам.

Важно отметить, что проект был спроектирован с учётом будущего роста. Инженеры создали его модульно, предвидя усовершенствования в технологиях управления водными ресурсами и потребность в увеличении пропускной способности по мере роста населения. Сегодня система может транспортировать почти в четыре раза больше воды, чем её первоначальная пропускная способность, ежегодно перемещая около 1,7 млрд. м<sup>3</sup> воды. Этот дальновидный подход сыграл ключевую роль в изменении географии Израиля, обеспечив более сбалансированное распределение воды: из относительно дождливого севера в более сухие центральные и южные регионы.

### **Преодоление трудности подъема**

Одной из ключевых инженерных задач для Национального водовода было перемещение воды вверх по склону от Галилейского моря, расположенного на 213 м ниже уровня моря, через общий подъём высоты около 600 м. Путешествие начинается на насосной станции Сапир, которая поднимает воду на 250 м к главной начальной точке сети. Далее вступает в дело насосная станция Цалмон, использующая специально изготовленные турбины и насосы для подъёма миллионов кубометров воды ещё на 115 м в самой крутой части маршрута.

Из Цалмона вода поступает в туннель Якова — 850-метровый канал, пролегающий под холмами Элуна. Прокладка туннеля через известняк и базальт стала серьёзной задачей для тысяч рабочих, инженеров и специалистов по бурению, которые должны были поддерживать идеальный уклон для движения воды под действием силы тяжести, сводя к минимуму необходимость в дополнительных насосах. Укрепление трёхметрового туннеля сталью и бетоном гарантировало его способность выдерживать высокое давление воды и обеспечивало возможность его дальнейшего расширения. За пределами этого подземного чуда ещё две крупные насосные станции в Эшколе и Мишмар-Хаэмеке регулируют, фильтруют и уравнивают поток воды, прежде чем отправить её дальше в Негев на юге Израиля.

## **Минимизация потерь от испарения**

Поскольку большая часть Израиля получает минимальное количество осадков и испытывает высокие температуры, испарение воды стало критической проблемой, особенно для надземных водохранилищ и открытых каналов. Чтобы решить эту проблему, инженеры применили несколько стратегий проектирования. Многие более мелкие водохранилища были построены в овальной или круглой форме, что позволяло уменьшить открытую площадь поверхности и тем самым сократить объём воды, теряемой из-за испарения. Водоохранилище Эшколь, одно из крупнейших в сети, может вмещать более 5 млн м<sup>3</sup> воды. Его прямоугольная форма с размерами 400 м в ширину и 15 м в глубину была выбрана специально для минимизации испарения, сводя к минимуму площадь, подверженную воздействию ветра и солнечного света.

Аналогичные принципы были применены и при проектировании каналов. Они часто имеют трапециевидную форму с различной глубиной и наклонными сторонами, что помогает ограничить поглощение тепла на открытых участках. Используя основы физики и гидрологии, инженеры Национального водовода позаботились о том, чтобы каждый участок — от трубопроводов и туннелей до резервуаров и каналов — сохранял как можно больше этого ценного ресурса.

## **Преобразование пустыни**

Огромный успех Национального водовода изменил городской ландшафт Израиля, особенно в пустыне Негев. Города, такие как Беэр-Шева, стали процветающими центрами образования, исследований и промышленности, непосредственно извлекая выгоду из постоянного водоснабжения. Арад, основанный как первый запланированный город Израиля в 1962 г., также процветал, несмотря на суровые условия пустыни, благодаря надежному водоснабжению NWC.

Вскоре к этому примеру присоединились и другие районы, такие как Димона, Мицпе-Рамон и Кирьят-Гат, где наблюдался быстрый рост, который был бы невозможен без надежной и доступной водной инфраструктуры.

## Споры и технологическое решение

Несмотря на свои достижения, Национальный водовод столкнулся с серьёзными международными проблемами. Иордания, Сирия и Ливан опасались, что чрезмерный забор воды из Галилейского моря снизит уровень воды в бассейне реки Иордан. К концу 1960-х гг. это падение действительно произошло. Экологические группы также критиковали проект за ущерб местной флоре и фауне, а также за ухудшение качества воды, особенно в нижнем течении реки Иордан. Эти возражения стали одним из факторов, усиливающих региональную напряжённость, кульминацией которой стала Шестидневная война 1967 года.

Значительный сдвиг произошёл с появлением технологии опреснения, впервые опробованной в Израиле в 1960-х гг. для промышленных целей. Благодаря методу обратного осмоса морская вода под высоким давлением пропускается через полупроницаемые мембраны, которые отделяют соли и примеси от питьевой воды. К началу 2000-х гг., Израиль вложил значительные средства в эту технологию, построив несколько опреснительных установок вдоль своего побережья Средиземного моря. Сегодня эти установки обеспечивают от 70% до 80% бытового водоснабжения страны, надёжно интегрируясь в первоначальную инфраструктуру Национального водовода для распределения воды по всей стране.

Это сочетание опреснения и Национального водовода развеяло многие прежние опасения по поводу чрезмерного использования источников пресной воды. Оно также является подтверждением непреходящей важности проекта. Крупномасштабные переброски воды в таких местах, как Калифорния, Китай и Ливия, обязаны новаторским усилиям этого проекта, который продемонстрировал, что огромные расстояния и сложные ландшафты не обязательно должны быть препятствием для доставки воды.

Национальный водовод — это выдающийся пример инженерной изобретательности, показывающий, что география и климат не должны быть непреодолимыми препятствиями на пути развития.

Его наследие продолжает жить в каждом сообществе, процветающем в ранее засушливых условиях, являясь ярким примером успешного сочетания стратегического видения и технических инноваций.

## Азия

### **«Жажущий дракон и иссушенный тигр»: «Плотина за плотину» — конфликт Китая и Индии за гидротехнические сооружения в Гималаях<sup>12</sup>**

В журнале The Week опубликован ответ Индии на планы Китая по строительству огромной плотины в Тибете, а также намерения Дели возвести собственную плотину в непосредственной близости от этого объекта.

Индия строит огромную гидроэлектрическую плотину на реке Сианг, чтобы противостоять китайской плотине, расположенной дальше на севере.

Однако этот шаг в водной геополитике между двумя странами рассматривается как угроза для миллионов людей, живущих и работающих в ближайших районах и ниже по течению, в том числе в Бангладеш.

#### **Плотина за плотину**

Индийский проект Upper Siang Multipurpose Project стоимостью \$13,2 млрд предполагает создание водохранилища, способного вместить 9 млрд м<sup>3</sup> воды и генерировать 11 тыс. МВт электроэнергии, сообщает *Al Jazeera*.

Новости о строительстве этой плотины появились всего через месяц после того, как Пекин одобрил строительство самой амбициозной и самой крупной в мире дамбы через реку Ярлунг-Цангбо в тибетском уезде Медог, прямо перед тем, как река попадет на территорию Индии, где она известна как Сианг.

---

<sup>12</sup> Источник: The Thirsty Dragon and Parched Tiger: 'Dam for a Dam' – China and India's Dam War In Himalayas / <https://waterpolitics.com/the-thirsty-dragon-and-parched-tiger-dam-for-a-dam-china-and-indias-dam-war-in-himalayas/> Опубликовано 30.01.2025

Индия утверждает, что ее плотина будет служить «буфером» на случай «избыточного и внезапного сброса воды с китайских плотин», пишет *The Diplomat*. Однако Пекин «преуменьшил» опасения Дели, заявив, что были проведены детальные исследования, подтверждающие, что новая китайская плотина «не окажет негативного влияния на страны, расположенные ниже по течению»

В этой водной войне «плотина за плотину» отношения между двумя странами на спорной гималайской границе пока не достигли точки кипения. В последние годы здесь происходили стычки между индийскими и китайскими войсками, но в 2024 г. наступила «оттепель», когда обе стороны вывели войска из двух очагов напряженности, сообщает *VOA News*.

По словам министра иностранных дел Индии Субрахманьяна Джайшанкара, вывод войск стал шагом в сторону улучшения отношений между Нью-Дели и Пекином, однако взаимное недоверие «по-прежнему остается главным препятствием» для более дружелюбных отношений, отмечает американский новостной сайт.

### **Опасная борьба за власть**

В самой Индии существует немало причин для беспокойства относительно местных планов. Жители района многоцелевого проекта «Сианг Верхний» предупреждают, что по меньшей мере 20 деревень будут затоплены, а еще два десятка частично, что приведет к выселению тысяч людей, сообщает *Al Jazeera*.

В результате этой «опасной борьбы за власть» над водными ресурсами наличие двух гигантских плотин в сейсмоопасном районе Гималаев «представляет серьезную угрозу для миллионов людей» в Индии и Бангладеш.

На фоне «усиливающегося сопротивления» местных жителей правительство штата направило военизированные силы, хотя столкновений пока не произошло.

Последствия изменения климата могут «усугубить эту напряженность» и сделать ее «гораздо более опасной и потенциально дестабилизирующей в ближайшее десятилетие», заявил в интервью *Al Jazeera* Майкл Кугельман, директор Института Южной Азии при Центре Вильсона, американском аналитическом центре.

По мнению Рухина Деб из газеты *The Indian Express*, необходимо «всеобъемлющее соглашение о совместном использовании водных ресур-

сов между Китаем и Индией», а текущие «односторонние заверения» следует заменить «обязательными» официальными рамками.

## **«Новая Великая стена»: китайский мегапроект по переброске воды стоимостью \$70 млрд и длиной 4345 км<sup>13</sup>**

**Каиф Шейх**

Потенциально крупнейший инфраструктурный проект в мире: китайский проект переброски воды с юга на север длиной 4345 км и стоимостью \$70 млрд.

На протяжении всей своей истории Китай неоднократно изменял географию в соответствии с растущими потребностями. Сегодня страна реализует, возможно, самый грандиозный инфраструктурный проект в истории — проект переброски воды с юга на север. Эта амбициозная инициатива направлена на ежегодное перераспределение миллиардов кубометров воды по территории одной из крупнейших стран мира. Протяженность системы составляет 4 345 км.

Чтобы понять мотивы и возможные последствия этого масштабного проекта, компания Interesting Engineering провела беседу с экспертами, включая Карлу Фриман, старшего специалиста по Китаю в Институте мира США, и профессора Стефана Пфистера из *ETH Zurich*, эксперта по вопросам воздействия водопотребления в глобальном масштабе.

---

<sup>13</sup> Источник: Kaif Shaikh. The new Great Wall: China's \$70 billion, 2,700-mile water transfer mega-project / <https://interestingengineering.com/culture/china-largest-infrastructure-project> Опубликовано 1.01.2025



*Водохранилище Даньцзянкоу — основной источник воды для Центрального маршрута проекта переброски воды в Китае*

### **Генезис и масштаб проекта**

Китай, в котором проживает 20% населения планеты, обладает лишь одной шестой частью мировых водных ресурсов. Столкнувшись с дисбалансом между засушливыми условиями в промышленно и сельскохозяйственно значимых северных регионах и частыми наводнениями на юге, идея перераспределения воды была впервые предложена Мао Цзэдуном в 1952 г.

Эта концепция легла в основу амбициозного проекта по переброске воды с юга на север. Реализация началась в 2002 г., а завершение запланировано на 2050. Этот проект является одним из крупнейших мероприятий Китая по управлению водными ресурсами и дополняет другие масштабные инициативы, такие как строительство плотины «Три ущелья» на реке Янцзы, которая существенно помогает удовлетворить растущие потребности населения и экономики.

Однако проект переброски воды выделяется своими масштабами и уникальностью: его цель — обеспечить стабильное водоснабжение для будущих поколений, связав богатый водой юг с засушливым севером.

## **Ключевые маршруты грандиозного китайского проекта**

Проект переброски воды с юга на север состоит из трех основных этапов, каждый из которых решает уникальные географические и логистические задачи, направленные на эффективное управление водными ресурсами Китая.

### **Центральный маршрут**

Центральный маршрут включает канал протяженностью 1 264 км, который соединяет водохранилище Даньцзянкоу на реке Хань (части обширной системы реки Янцзы). Этот канал, часто называемый Большим акведуком, использует серию плотин для создания гравитационного потока, обеспечивающего непрерывное водоснабжение Пекина.

Строгие правила запрещают сброс отходов в канал, чтобы сохранить высокое качество воды, необходимое для питья и приготовления пищи. Строительство маршрута, завершенное в 2014 г., потребовало переселения около 330 000 человек из районов, расположенных вблизи водохранилища, и привело к значительному снижению стока в реке Хань, что подчеркивает масштабное социальное и экологическое воздействие проекта.

### **Восточный маршрут**

Восточный маршрут, уже введенный в эксплуатацию, но еще находящийся на стадии завершения, представляет собой модернизацию и расширение древнего Великого канала, построенного еще в V веке до нашей эры. Эта система направляет воду из реки Янцзы в северные города, такие как Тяньцзинь.

В отличие от центрального маршрута, где вода поступает самотеком, восточный маршрут использует более 20 насосных станций на протяжении 1 100 км для облегчения потока воды. Это сочетание древней инженерии и современных технологий делает проект по-настоящему уникальным.

### **Западный маршрут**

Западный маршрут является самым спорным из трех, строительство которого еще не началось. Планируется направить воду из реки Йи в рай-

оне Тибетского нагорья в засушливые регионы Внутренней Монголии, Цинхая и Ганьсу. Однако этот маршрут продолжает сталкиваться с серьезными экологическими и политическими проблемами.

Тибетское нагорье — это важнейший источник воды для других крупных азиатских рек, таких как Меконг и Брахмапутра, которые обеспечивают водными ресурсами страны за пределами Китая. Отвод воды из этих рек вызывает опасения по поводу влияния на страны, расположенные ниже по течению, и усиливает напряженность в регионе.

### **Влияние и обоснование**

Центральный и Восточный маршруты необходимы для обеспечения экономической безопасности и устойчивого роста Китая, особенно учитывая, что они направляют жизненно важные ресурсы в ключевые промышленные и политические центры, такие как Пекин. Однако проект вызывает критику, особенно в южных провинциях, где опасения по поводу сокращения запасов воды усиливаются из-за изменения климата. Например, в провинции Хубэй выражают недовольство по поводу необходимости поддержания высокого уровня водохранилищ для обеспечения функционирования центрального маршрута, что ограничивает водоснабжение для местных жителей.

Правительство оправдывает масштабный водозабор, ссылаясь на стратегическую необходимость поддержания водоснабжения для засушливых северных регионов, включая Пекин, который является важнейшим политическим и промышленным центром. Когда проект будет завершен, ежегодно будет перебрасываться 45 млрд м<sup>3</sup> воды с богатого водными ресурсами юга в засушливые северные районы.

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

Несмотря на свои грандиозные масштабы и амбиции, проект переброски воды с юга на север привел к возникновению серьезных экологических и социальных проблем. Масштабная перестройка ландшафтов и экосистем повлияла не только на непосредственные районы вдоль каналов.

## **Экологические последствия**

Проект кардинально изменил природные экосистемы, особенно вдоль Восточного маршрута, который в значительной степени зависит от озер и рек-притоков. Эти изменения серьезно сказались на водной флоре и фауне, особенно на популяциях рыб. Перемещение воды с юга на север также привело к непредвиденным опасностям, таким как перенос заболеваний, передаваемых через воду.

Например, паразитарные заболевания, переносимые улитками, распространены на юге Китая, теперь угрожают северным регионам, вызывая серьезные опасения в области здравоохранения. Другой критической проблемой является вторжение морской воды, которое происходит, когда значительное количество воды отводится из одного региона, изменяя естественный баланс местных экосистем и делая оставшуюся воду непригодной для сельского хозяйства или потребления.

## **Социальное перемещение**

Человеческие жертвы проекта были значительными. Сотни тысяч людей были вынуждены переселиться только по центральному маршруту, причем многие — во второй раз, поскольку они уже были перемещены во время строительства плотины «Три ущелья».

Эти переселения привели к тому, что многие общины оказались в трудном положении, не имея достаточных средств для существования и поддержки для восстановления своих жизней. Такие вынужденные миграции подчеркивают социальные последствия масштабных инфраструктурных проектов Китая, которые часто остаются за пределами официальных отчетов и не получают должного освещения в СМИ.

## **Проблемы устойчивости**

Несмотря на стоимость в \$70 млрд и десятилетия работы, долгосрочная жизнеспособность проекта остается под пристальным вниманием. Некоторые китайские чиновники, в том числе бывший заместитель министра жилищного строительства и городского и сельского развития Ця Баосин Сингх, выражают опасения относительно устойчивости ремонта, технического обслуживания и управления системой.

Высокие эксплуатационные расходы, в сочетании с значительными экологическими и социальными последствиями, порождают вопросы о том, является ли этот проект реальным и эффективным решением проблемы дефицита воды в Китае.

### **Краткосрочное решение долгосрочной проблемы**

Эксперты утверждают, что альтернативные меры могли бы смягчить необходимость в таких масштабных проектах. Городские системы водоснабжения Китая страдают от значительных потерь, включая утечку воды в трубах и устаревшую инфраструктуру. До недавнего времени приборы учета воды были редкостью, а цены на воду были настолько низкими, что экономия не имела приоритета.

Несмотря на некоторый прогресс, достигнутый в последние годы, реализация эффективной политики сохранения водных ресурсов остается сложной задачей, особенно в условиях отсутствия прозрачности в системах управления водными ресурсами Китая.

Критики считают, что проект решает лишь симптомы проблемы, а не ее коренные причины. Чрезмерное водопользование на севере страны, особенно в сельском хозяйстве, остается основной проблемой. Обеспечение дополнительными водными ресурсами в рамках проекта по переброске воды непреднамеренно укрепляет неустойчивую практику, откладывая принятие необходимых реформ.

Как результат, эксперты предупреждают, что проект переброски воды с юга на север рискует стать краткосрочным решением долгосрочной проблемы.

### **Экономические и сельскохозяйственные последствия**

Профессор Стефан Пфистер из ETH Zurich критически оценивает роль проекта в поддержке неустойчивых сельскохозяйственных систем. Он сравнивает его с хирургической операцией, которая не изменяет основной нездоровый образ жизни.

Предоставляя дополнительные водные ресурсы, проект временно снижает чрезмерное водопользование в таких регионах, как бассейн реки Хуанхэ (Желтой реки), однако он не решает вопрос необходимости глубокой реформы сельского хозяйства. Такой подход может облегчить текущую нагрузку, но не стимулирует необходимое долгосрочное снижение уровня водопотребления.

Значительная часть перебрасываемой воды предназначена для сельскохозяйственных нужд, что обусловлено растущими потребностями населения в продовольствии. Тем не менее, Китай продолжает оставаться нетто-импортером продуктов питания, что свидетельствует о неэффективности и неустойчивости методов ведения сельского хозяйства в северных засушливых районах.

По мнению профессора Пфистера, более жизнеспособным решением может быть сокращение выращивания водоемких культур, таких как пшеница и кукуруза, в засушливых районах, а также повышение эффективности сельскохозяйственного производства в более подходящих регионах.

С развитием китайской экономики в направлении более экологичных и высокотехнологичных методов производства спрос на воду в промышленных процессах может снизиться. Этот сдвиг может частично помочь решить проблему дефицита воды, хотя пока неясно, смогут ли текущие проекты по водосбережению удовлетворить растущие потребности.

Карла Фриман, старший эксперт по Китаю из Института мира США, скептически оценивает эффективность существующих проектов по сохранению водных ресурсов в удовлетворении растущего спроса на воду. Возможно, для китайского правительства непреодолимой оказалась привлекательность масштабных решений, таких как проект «Юг-Север», который предлагает грандиозное решение, напоминающее исторические попытки изменить ландшафт. Однако, несмотря на монументальные масштабы и затраты, этот проект может не быть самым экономически целесообразным в долгосрочной перспективе.

### **Альтернативы крупномасштабной переброске воды**

Несмотря на то, что на начальных этапах они будут более дорогостоящими, такие альтернативы, как рециркуляция дождевой воды и опреснение морской воды, могут стать более устойчивыми решениями. Эти методы, а также усовершенствованное управление водными ресурсами и их сохранение, могут оказаться более экономически эффективными и экологичными, чем проект переброски воды.

Переброска воды с юга на север, безусловно, является одним из крупнейших инженерных проектов в мире, однако препятствия, стоящие на его пути, столь же масштабны. Последствия этого проекта для устойчивости, экономической стабильности и здоровья окружающей среды напоминают о сложностях, с которыми сталкиваются крупномасштабные проекты по управлению природными ресурсами.

## Почему Китай уходит под воду? Дело не только в глобальном потеплении<sup>14</sup>

Александр Долгих

Казалось бы, большую территорию Поднебесной занимают Гималаи, о каком затоплении может идти речь? Но проблема в том, что примерно 70% населения живут на побережье и равнинах, а в последние годы (в 2021, 2023 и 2024 годах) в Китае случались мощнейшие наводнения. Подобные катаклизмы фиксируются и в других странах мира, но именно у Китая больше всего шансов через пару сотен лет исчезнуть с лица земли из-за погружения под воду. Виной этому — деятельность человека. И речь не о глобальном потеплении.

### Что говорят учёные?

Недавнее совместное исследование учёных из нескольких стран выявило высокий риск затопления от 25 до 50% территории КНР. Примечательно, что в зонах предполагаемой катастрофы находится более половины китайских мегаполисов!

В период исследования климатологи, геодезисты, инженеры и прочие специалисты использовали не только непосредственные измерения наземных объектов, но фотографии со спутников Sentinel-1, на которых установлены интерферометрические радиолокаторы, оснащённые синтезированной оптикой, благодаря чему могут производить вертикальные измерения. Также, в рамках исследования, оценивалось количество и расположение слоёв грунтовых вод, примерный вес зданий и прочих объектов.

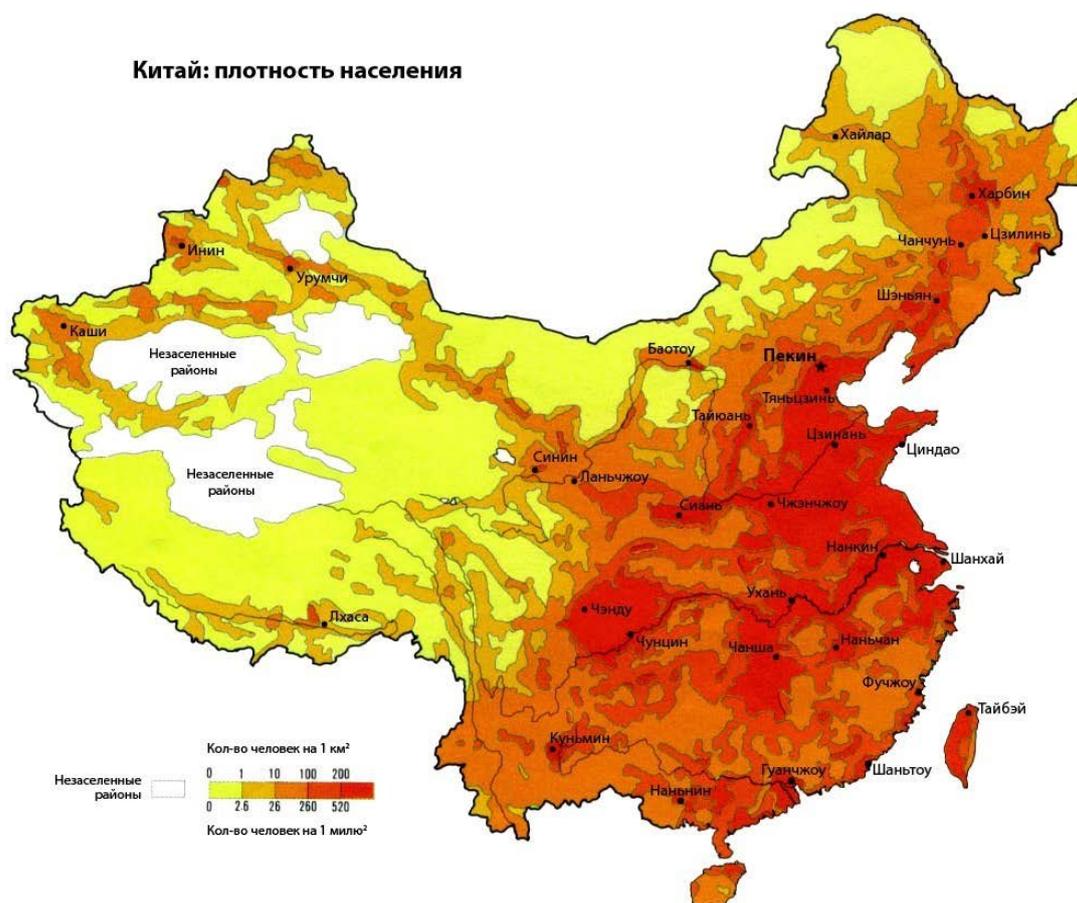
Согласно исследованию, крупные города просто уходят под землю, по причине проседания грунта. И происходит это достаточно быстро: более чем на метр за сто лет. Предположительная причина, которую специалисты считают основной — это различная деятельность человека.

Конечно же, в случае глобальной катастрофы, задача властей — спасти как можно больше людей. Желательно — всех, или почти всех. Поэтому, в первую очередь, исследовали состояние грунта в крупных городах, с количеством жителей более двух миллионов человек. Городов таких в Китае очень много, в них проживает большая часть населения страны, около

---

<sup>14</sup> Источник: <https://dzen.ru/a/ZjUkV3BEх0vuT2t4> Опубликовано 5.05.2024

920 млн человек, а в 10 крупнейших — почти 160 млн человек (от 8 до 33 млн в каждом).



*В восточной части Китая живёт 94% населения, в то время как горные западные районы почти не заселены.*

Дополненные исследования позволили узнать следующее: почти 45% крупных городов опускаются под землю, или, в зависимости от расположения, под воду, на три-пять миллиметров в год. Ещё примерно в 16% мегаполисов ежегодное проседание грунта достигает одного сантиметра.

Происходит это из-за откачивания грунтовых вод перед строительством зданий либо после него. Из-за откачки воды в земле образуются пустоты, которые, под весом здания, постепенно уменьшаются. Природа не терпит вмешательства: пустые подземные участки должны быть заполнены, и ей не важно, будет то вода, почва или объекты, созданные человеком.

При этом на скорость опускания под землю городов влияет даже движение городского наземного транспорта (автомобилей, поездов и так далее), который создаёт вибрацию почвы и её осыпание в местах, где есть

пустоты. Города растут, количество зданий и транспорта увеличивается, а потому процесс проседания, по всей видимости, ускоряется. Важно учесть и огромное количество подземных коммуникаций в больших городах. Это подвалы, канализационные системы, огромные подземные парковки и многое другое.

Также во многих регионах Китая ведётся крупномасштабная добыча полезных ископаемых: из-за этого также образуются подземные пустоты, грозящие провалом под землю целым городам. Мелиорация земель также вредит стабильности грунта.

### Что ждёт Китай через сто лет?

Учёные утверждают, что спустя 100 лет не менее 26% китайских территорий может опуститься ниже уровня моря. Речь, в первую очередь, идёт о прибрежных городах восточной и северо-восточной части КНР. Это грозит уничтожением инфраструктуры и гибелью миллионов людей.



Ситуация осложняется и тем, что подавляющее большинство китайских городов располагается на равнинах, находящихся очень низко относительно уровня моря. Из-за глобального потепления вода поднимается, а потому сроки затопления Китая могут уменьшиться в разы.

Быстрее других под воду может уйти Пекин. Некоторые его участки находятся на высоте менее 30 метров над уровнем моря. Похожая ситуация и в Тяньцзине: 2023 году здесь уже фиксировались обвалы зданий, когда улица просто «разделилась» пополам. Обрушение произошло из-за того, что разные участки грунта могут проседать с разной скоростью. Известно также, что крупнейший город КНР Шанхай со времён строительства в 1949 году уже опустился на целых три метра относительно первоначального уровня (это намного быстрее прогнозируемых учёными нескольких сантиметров в год).

Скорость проседания земли наиболее высокая там, где есть метро, а также на участках, где часто проезжают большегрузные машины. Неконтролируемое проседание грунта увеличивает и опасность наводнений: в последние годы их произошло уже три.

### **Что можно сделать?**

Как эти ни странно, но шансы спастись у китайцев есть. Они уже много сделали, например, для сокращения скорости подъёма уровня мирового океана. Именно у КНР, с его развитой промышленностью, выбросы CO<sub>2</sub> в атмосферу были самыми масштабными: почти в пять раз больше, чем, например в России. К 2030 году Китай собирается снизить выбросы углекислоты на 65% относительно уровня 2005 года. Для этого в стране внедряются технологии использования ветровой и солнечной энергии, высаживаются леса. К 2050 же году Китай стремится вообще достичь нулевых выбросов парниковых газов.

Китайские территории, которые уже погружаются под землю, также можно спасти, замедлив рост городских агломераций и поспособствовав расселению жителей на пустующие территории. Кое-где придумали вообще закачивать воду под землю, подпитывая истощённые водоносные горизонты.

Только вот нахождение ниже уровня моря не всегда означает катастрофу. Например, китайский город Турфан, расположен во впадине на глубине 154 метра под уровнем моря, однако климат там жаркий и засушливый. Вопросы затопления также частично можно решить строительством защитных ограждений, возведением новых зданий и дорог на свайных фундаментах.

## **Управляемые водно-болотные угодья – потенциальный метод снижения риска наводнений<sup>15</sup>**

**Риши Гупта, Винай Чемболу**

Наводнения наносят огромный ущерб по всему миру и приводят к гибели людей. Уже давно известно, что водно-болотные угодья могут снизить риск наводнений, задерживая стоки во время ливней, уменьшая пиковые потоки и постепенно сбрасывая излишки воды. В последнее время предпринимаются попытки «управлять» водно-болотные угодья, выпуская часть воды, которую они удерживают перед экстремальными дождями. Это увеличивает их способность накапливать воду и снижает последствия наводнений. Риши Гупта и Винай Чемболу рассказывают о процессе контроля водно-болотных угодий и показывают, что управляемые водно-болотные угодья на уровне водосборного бассейна могут быть эффективны для снижения уровня наводнений в регионе Брахмапутра, Индия.

### **Наводнения как наиболее частые бедствия**

Наводнения являются одними из самых распространенных и разрушительных стихийных бедствий, от которых ежегодно страдают более 21 млн человек по всему миру. Ожидается, что к 2030 г. это число вырастет до примерно 54 млн. В Азии наводнения затронули более 185 млн человек. В 2022 г. наводнения унесли жизни 30 000 человек, а экономический ущерб составил более \$223 млрд. В частности, в Индии наводнения того года привели к 2000 жертвам и экономическому ущербу в \$4,2 млрд.

Бассейн реки Брахмапутра в Индии является регионом, подверженным частым и продолжительным наводнениям (от 6 до 9 вспышек наводнений за год, продолжительностью 15-20 дней). Благодаря среднегодовому стоку около 20 000 м<sup>3</sup>/с и широкому речному коридору реку часто называют «движущимся океаном». Прогнозируется, что повышение глобальной температуры на 1°C в результате изменения климата приведет к увеличе-

---

<sup>15</sup> Источник: Rishi Gupta, Vinay Chembolu. Controlled Wetlands – A Potential Method for Reducing Flood Risk / <https://www.globalwaterforum.org/2025/01/23/controlled-wetlands-a-potential-method-for-reducing-flood-risk/> Опубликовано 23.01.2025

нию осадков во время индийского муссона на 5%, что усилит интенсивность наводнений и их последствия.

### **Водно-болотные угодья как потенциальное решение проблемы наводнений**

Традиционные меры борьбы с наводнениями, такие как строительство крупных инфраструктурных объектов, например плотин, часто оказываются недостаточными, поскольку они реализуются на региональном уровне и ограничивают свою эффективность определёнными территориями. Концепция водно-болотных угодий как природных решений (NbS) не нова и обладает значительным потенциалом для снижения интенсивности катастрофических наводнений.

Водно-болотные угодья играют ключевую роль в борьбе с наводнениями, поскольку они накапливают и удерживают паводковую воду, а также пополняют водоносные горизонты, способствуя повышению уровня подземных вод. Они действуют как буферы, задерживая стоки во время выпадения дождя, уменьшая пиковые потоки и постепенно освобождая избыточную воду. Однако существует две основные проблемы, связанные с использованием водно-болотных угодий для борьбы с наводнениями. Во-первых, их емкость значительно уменьшилась. Например, в бассейне реки Брахмапутра когда-то было более 1 000 кв. км водно-болотных угодий, но к 2020 г. большая часть этой территории была преобразована в другие виды землепользования. Во-вторых, водно-болотные угодья заполняются водой во время ранних муссонных дождей, оставляя недостаточно места для приема дальнейших потоков воды в разгар муссона.

### **Управление водно-болотными угодьями на основе экогидрологических требований**

В сезон муссонов, особенно при выпадении умеренных и сильных осадков, хранилища на болотах становятся недостаточными, поскольку после их заполнения теряют свою эффективность. Это подчеркивает необходимость управления водно-болотными угодьями для снижения риска наводнений. Бокхове и соавторы (2019) предложили стратегию природоориентированного решения (NbS), которая включает спуск воды из озер, водно-болотных угодий и водохранилищ перед экстремальными дождями. Такой подход направлен на увеличение доступной ёмкости для хранения воды с целью контроля наводнений.

Большинство водно-болотных угодий зависят от наличия стоячей воды в экосистемах, что критически важно для водной биоты, и полное осушение этих территорий недопустимо. Водно-болотные угодья испытывают различные потребности в воде, включая эвапотранспирацию, просачивание и антропогенные потери. Поэтому мы рассматривали эвапотранспирацию и накопление воды в окружающей среде как ключевые потребности для оптимизации каждого водно-болотного угодья в регионе, что обеспечивает устойчивое управление экосистемой. Кроме того, были оценены различные сценарии омоложения водно-болотных угодий для повышения их общей емкости с помощью имитационной гидрологической модели (Gupta et al., 2024).

В мире существует множество методов спуска воды из водоемов. Водно-болотные угодья можно соединить с близлежащими ручьями, использовать сифоны, наклонные плотины, дистанционно управляемые затворы или просто откачивать воду, как это делается для удаления воды после наводнений в других районах Гувахати, штат Ассам.

### **Воздействие управляемых водно-болотных угодий на паводки**

Результаты показывают, что управляемые водно-болотные угодья в масштабе водосборного бассейна могут быть эффективны для снижения уровня наводнений в регионе Брахмапутры. Колебания стока главной реки у города Гувахати составляют от 7 500 до 38 000 м<sup>3</sup>/с в сезон муссонов. Без восстановления водно-болотных угодий и применения механизмов управляемых водно-болотных угодий, пиковый расход может быть снижен примерно на 500 м<sup>3</sup>/с в г. Гувахати. Однако, если площадь водно-болотных угодий будет увеличена на 30 % и средняя глубина составит болот 3 м, расход может быть снижен до 3 500 м<sup>3</sup>/с. Например, когда управляемые водно-болотные угодья функционировали в течение 20 дней, было зафиксировано снижение потока воды более чем на 1 000 м<sup>3</sup>/с в течение примерно 7 дней при восстановленных условиях. Напротив, без восстановления водно-болотных угодий, снижение составило менее 400 м<sup>3</sup>/с на протяжении более 15 дней из 20.

### **Роль пространственного размещения управляемых водно-болотных угодий**

Из-за пространственной изменчивости распределения водно-болотных угодий различные малые водосборные бассейны по-разному отреагировали на данный подход. Южные суббассейны ниже Тезпура пока-

зали снижение пикового стока почти на 20%, в то время как северные, более гористые суббассейны, продемонстрировали лишь минимальное снижение (<5%), что указывает на большую эффективность водно-болотных угодий в равнинных районах.

Кроме того, было отмечено, что в высокогорных суббассейнах рек (Дибанг, Лохит), расположенных выше по течению от Дибругарха отсутствуют значительные водно-болотные угодья, что делает применение данного подхода в этих районах невозможным. Однако наш анализ показывает, что другие суббассейны, расположенные выше по течению, такие как Дихинг и Сианг, получают значительное количество осадков и вносят существенный вклад в речной сток. Управление водно-болотными угодьями в этих бассейнах может сыграть ключевую роль в снижении риска наводнений в городах, расположенных ниже по течению.

В случае, когда водно-болотные угодья в среднем (напр., Субансири, Каменг, Дхансири) и нижнем течении (напр., Манас, Копли, Баранади) реки приходят в негодность из-за таких факторов, как заиливание или обводнение, восстановленные водно-болотные угодья в верхнем течении (с увеличением площади на 30%) могут обеспечить более значительное снижение риска наводнений, чем совокупное воздействие водно-болотных угодий в среднем и нижнем течении.

### **Снижение уровня угрозы с помощью управляемых водно-болотных угодий**

Эффективность решения была оценена через анализ уровней угрозы (предупреждение, опасность и высокий уровень наводнения) в крупных городах, таких как Дибругарх, Джорхат, Тезпур, Гувахати и Дхубри. Полученные результаты показали, что в предмуссонный период наблюдается более значительное снижение высоты водной поверхности (т.е. глубины реки). В городах верхнего течения, таких как Дибругарх и Джорхат, было зафиксировано сокращение количества дней, когда сток превышал предупредительный уровень, на 50%. В городах среднего течения, таких как Гувахати и Тезпур, количество дней с превышением опасного уровня уменьшилось на 60%. Более того, было показано, что управляемые водно-болотные угодья могут потенциально полностью устранить все высокие паводки в водосборном бассейне.

Риск наводнений также был оценен в те дни, когда вода спускалась с заболоченных территорий, и было отмечено лишь несколько случаев (~ 4-5 в год), когда риск наводнений повышался (с безопасного до предупредительного уровня) в разных городах.

Этот анализ может помочь заинтересованным сторонам, планировщикам и органам управления водно-болотными угодьями более эффективно регулировать водно-болотные угодья для минимизации риска наводнений в этой критической зоне, подверженной сильным и периодическим наводнениям.

## Америка

### **Уникальная дренажная и оросительная система: начало «неолитической революции» в Амазонии<sup>16</sup>**

Доколумбовые общества в Амазонии разработали сложную систему сельскохозяйственной инженерии, которая позволяла им выращивать кукурузу круглый год. Это стало возможным благодаря недавнему открытию группы исследователей из Института наук об окружающей среде и технологий (ИСТА-УАВ) и Департамента доисторического периода Университета Автономии Барселоны (Испания), а также ученых из университетов Эксетера, Ноттингема, Оксфорда, Рединга и Саутгемптона (Великобритания), Университета Сан-Паулу (Бразилия) и их боливийских коллег. Это открытие опровергает ранее существовавшие теории, которые исключали возможность интенсивного монокультурного сельского хозяйства в данном регионе.

Исследование, опубликованное в журнале *Nature*, описывает, как доиспанское общество Касарабе Льянос-де-Моксос в Боливии разработало и внедрило инновационную систему ландшафтной инженерии, включая строительство обширных дренажных каналов и фермерских прудов. Это достижение позволило превратить затопленные тропические саванны в высокопродуктивные сельскохозяйственные поля, стимулируя развитие «неолитической революции» в Амазонии, которая понимается как процесс перехода к экономике, основанной на производстве зерновых.

Этот регион, населенный народом касарабе с 500 по 1400 гг. н. э., представляет собой тропическую низменную саванну, характеризующуюся интенсивными сезонами дождей и наводнений, а также долгими засушливыми периодами. Открытие, проведенное под руководством Умберто Ломбардо, археолога-эколога из Университета Автономии Барселоны (УАВ), выявило уникальную сельскохозяйственную инфраструктуру, ранее не задокументированную нигде в мире. Эта система позволяла отво-

---

<sup>16</sup> Источник: Unique drainage and irrigation system gave way to the 'Neolithic Revolution' in the Amazon / <https://smartwatermagazine.com/news/universitat-autonoma-de-barcelona/unique-drainage-and-irrigation-system-gave-way-neolithic> Опубликовано 30.01.2025

дить излишки воды с затопленных полей в сезон дождей, что способствовало повышению сельскохозяйственной продуктивности. Помимо дренажных каналов, народ касарабе строил кластеры фермерских прудов, которые использовались как водохранилища. Эти пруды обеспечивали орошение с помощью глиняных горшков, наполненных водой, позволяя выращивать кукурузу в течение всего засушливого сезона.

Эта двойная система управления водными ресурсами позволяла собирать как минимум два урожая кукурузы в год, обеспечивая стабильное снабжение продовольствием круглый год, что было необходимо для поддержания относительно большого населения. «Эта интенсивная сельскохозяйственная стратегия свидетельствует о том, что кукуруза не только выращивалась, но и, вероятно, была основной культурой культуры Касарабе», — объясняет Ломбардо.

Эта сельскохозяйственная модель не опиралась на традиционные методы подсечно-огневого земледелия, используемые для создания плодородных полей. Вместо этого люди Касарабе сохраняли близлежащие леса для других нужд, таких как получение дров и лекарственных растений, при этом внедряли методы, которые максимально эффективно использовали воду и почву в сезонно затапливаемых саваннах.

Эти выводы стали возможны благодаря скрупулезной полевой работе, в которой использовались такие методы, как микроботанический анализ, дистанционное зондирование и археология окружающей среды. Анализ 178 фитолитов (растительных микрокаменелостей) и образцов пыли из фермерского пруда подтвердил присутствие кукурузы на полях и подчеркнул решающую роль монокультуры кукурузы в рационе этого доколумбового общества. «Данные свидетельствуют об отсутствии других видов культур», — добавляет Ломбардо.

«Мы можем документально подтвердить, что это первая аграрная экономика, основанная на зерновых культурах, в Амазонии, где до сих пор считалось, что сельское хозяйство базировалось на агролесоводстве и поликультуре, а не на крупномасштабных монокультурах. Теперь мы знаем, что в Льянос-де-Моксос всё было иначе», — говорит Ломбардо, утверждая, что это инновационное инженерное решение позволило преобразовать сложную среду в продуктивную систему, которая обеспечивала продовольственную стабильность и поддерживала развитие растущего населения.

Исследование не только проливает свет на технологические достижения доколумбовых цивилизаций, но и предлагает ценные уроки для современной сельскохозяйственной устойчивости. Это открытие является свидетельством изобретательности и адаптивности народа Касарабе, кото-

рый процветал благодаря своей способности разрабатывать долгосрочные устойчивые сельскохозяйственные решения в неблагоприятных условиях.

## **И океан станет питьевым — ученые разработали новый способ перевода морской воды в питьевую<sup>17</sup>**

Группа исследователей из Мичиганского университета и Университета Райса разработала инновационную технологию очистки воды, способную существенно оптимизировать процесс опреснения.

Новый метод, описанный в журнале *Nature Water*, предполагает использование специальных электродов из углеродной ткани вместо дорогостоящих химических веществ.

Основная проблема традиционного опреснения заключается в присутствии бора, который в морской воде находится в концентрации, превышающей нормы ВОЗ для питьевой воды в два раза, а для сельскохозяйственных культур — в 5-12 раз. Обычные мембраны обратного осмоса не способны эффективно удалять этот элемент, что требует дополнительной химической обработки воды.

Инновационные электроды содержат поры со специальными кислородсодержащими структурами, которые избирательно связывают бор. Процесс очистки происходит за счёт расщепления воды между электродами, что создает необходимый отрицательный заряд для захвата бора без использования щелочей.

Экономический эффект от внедрения новой технологии может быть значительным: снижение затрат на очистку составляет около 20 центов за кубический метр воды. При текущих объёмах мирового производства опреснённой воды (95 миллионов кубометров в день) годовая экономия может достигать 6,9 миллиарда долларов.

Разработка приобретает особую актуальность в свете прогнозируемого водного кризиса. Согласно данным Глобальной комиссии по эконо-

---

<sup>17</sup> Источник: <https://www.pravda.ru/news/science/2167492-uchenye-razrabotali-novyi-sposob-perevoda-morskoj-vody-v/> Опубликовано 26.01.2025

мике водных ресурсов, к 2030 году существующие запасы пресной воды смогут удовлетворить лишь 40% потребностей.

Технология обладает потенциалом для дальнейшего развития. Исследователи отмечают возможность адаптации метода для удаления других загрязнителей, таких как мышьяк, путём модификации функциональных групп на электродах. Проект получил поддержку ряда крупных научных фондов США и прошёл испытания в Мичиганском центре изучения характеристик материалов.

Перевод: Усманова О., Юлдашева Г.

Верстка и дизайн: Беглов И., Дегтярева А.

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)**