



Federal Ministry
for the Environment, Climate Action,
Nature Conservation and Nuclear Safety



INTERNATIONAL
CLIMATE
INITIATIVE



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

ВОДА: тревожные сигналы планеты



НИЦ МКВК

Научно-информационный центр
Межгосударственной координационной
водохозяйственной комиссии
Центральной Азии

Ташкент 2026

Научно-информационный центр
Межгосударственной координационной водохозяйственной комиссии
Центральной Азии

Вода: тревожные сигналы планеты

Ташкент 2026

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, борьбы с изменением климата, охраны природы и ядерной безопасности (BMUKN) в рамках Международной климатической инициативы (IKI)

Содержание

Глобальные вопросы	5
К 2050 году доступ к еде, воде и энергии может резко различаться в зависимости от дохода	5
Земля теряет пресную воду: мировой речной сток упал до минимума за 35 лет	6
В поисках ответов для более глубокого понимания энергетического баланса Земли и водных ресурсов.....	8
Водный кризис уже виден из космоса: что обнаружили спутники	17
Водное сотрудничество строится на доверии	19
Исследование прогнозирует значительные различия в доступе к продовольствию, воде и энергии к 2050 году	27
Азия	32
Как обрушение ледника превращается в смертоносный поток грязи и воды? Эксперт объясняет, что произошло в Непале.....	32
Центральная Азия должна подготовиться к грядущему климату.....	36
После приостановления: бассейн Инда и новая водная политика.....	45
Америка.....	55
Что показывают данные за 40 лет о реках и подземных водах США.....	55
Учёные составили карту скрытого ледника с помощью гравиметрических измерений	63
Африка.....	68
Великая Эфиопская плотина Возрождения: Эфиопия настаивает на своей позиции, а Египет обозначает «красную линию» в вопросе строительства плотин на Ниле	68
Европа.....	73
В ЕС создали экспертную платформу для реализации водной стратегии.....	73

Технологии.....	74
Оман внедряет технологию сбора воды из горного тумана	74
В Китае испытали установку для получения водорода и пресной воды из морской.....	75
Установка получила 13,2 литра воды из воздуха с 1 м ² за восемь часов	76
Ультрачёрная шерсть позволяет получать пресную воду из солёной без электричества	81

Глобальные вопросы

К 2050 году доступ к еде, воде и энергии может резко различаться в зависимости от дохода¹

К 2050 году доступ людей к продовольствию, воде и энергии может существенно различаться не только между регионами, но и внутри них — в зависимости от уровня дохода.

К такому выводу пришли исследователи из Массачусетского технологического института и других научных организаций, смоделировав 3735 возможных сценариев развития мировой экономики и природных ресурсов.

Для анализа ученые использовали модель Global Change Analysis Model (GCAM), которая учитывает взаимосвязь энергетики, сельского хозяйства, землепользования, водных ресурсов, экономики и климата. Мир в модели разделен на 32 региона, а население каждого региона — на 10 групп по уровню дохода.

Наиболее заметные различия прогнозируются в доступности продовольствия. В Южной Африке беднейшие 10% населения к 2050 году в среднем по рассмотренным сценариям могут тратить на продукты 49,6% дохода, тогда как для самых обеспеченных 10% этот показатель составит 5,5%. В Западной Африке продовольственная нагрузка для беднейшей группы оценивается в 48,4%, в Восточной Африке — в 42,5%.

При этом речь идет не о прогнозе одного конкретного будущего. Исследователи специально рассмотрели широкий диапазон возможных условий — от изменений доходов и численности населения до развития сельского хозяйства, торговли, энергетики, водопотребления и землепользования. Например, для беднейших жителей Западной Африки возможная доля дохода, уходящая на продукты, находится в диапазоне 18,5–77,5% в зависимости от сценария.

Для сравнения ученые использовали данные модели за 2015 год. Тогда в Западной Африке беднейшая группа тратила на продовольствие около 25% дохода, а в Южной Африке — около 20%. Таким образом, в небла-

¹ Источник: <https://ecosphere.press/2026/09/16/k-2050-godu-dostup-k-ede-vode-i-energii-mozhet-rezko-razlichatsya-v-zavisimosti-ot-dohoda/> Опубликовано 16.09.2026

гоприятных сценариях продовольственная нагрузка может вырасти в несколько раз.

Различия обнаружились и в расходах на энергию. Например, на Ближнем Востоке к 2050 году доля дохода, которую самые бедные группы могут тратить на бытовую энергию, оценивается в 18,9%, тогда как для самых обеспеченных — всего в 1,7%. В Восточной Европе энергетическая нагрузка для беднейшей группы может достигать 11,3% дохода, тогда как для наиболее обеспеченной остается ниже 5%.

С водой ситуация особенно сложной может стать в Южной Азии, на Ближнем Востоке и в Северной Африке. Исследователи связывают возможные проблемы с ростом населения и экономики, а также с интенсивным использованием подземных вод.

На результаты влияют не только климатические изменения. В некоторых сценариях дополнительное давление на продовольственные системы создают меры по декарбонизации — например, использование земель для выращивания биотоплива и лесовосстановления. Это может уменьшать площадь земель, доступных для производства продуктов питания, и повышать их стоимость.

Авторы подчеркивают, что средние показатели по регионам могут скрывать наиболее уязвимые группы населения. Поэтому для оценки будущей ресурсной безопасности недостаточно знать, сколько в среднем страна или регион тратит на еду, воду или энергию: необходимо учитывать различия в доходах.

Земля теряет пресную воду: мировой речной сток упал до минимума за 35 лет²

Всемирная метеорологическая организация (ВМО) сообщила, что в 2025 году мировой речной сток упал до одного из самых низких показателей за последние 35 лет. Четвертый год подряд массу теряют абсолютно все ледниковые регионы мира, а в ряде горных систем, включая Кавказ и Центральную Европу, может быть пройден пик таяния, после которого объемы поступающей в реки воды начнут неизбежно сокращаться. На фоне нестабильности гидрологического цикла Азия и Африка приняли на себя основной удар экстремальных засух и наводнений.

² Источник: <https://hightech.plus/2026/09/18/zemlya-teryaet-presnuyu-vodu-mirovoi-rechnoi-stok-upal-do-minimuma-za-35-let> Опубликовано 18.09.2026

В 2025 году уровень речного стока был ниже нормы более чем на 36% площади мировых речных бассейнов. Седьмой год подряд бассейны с нормальным уровнем воды составляли меньшинство: их доля находилась в диапазоне от 34 до 38% при среднем показателе 46% за 1991–2020 годы. На протяжении пяти лет повторяющийся дефицит стока наблюдался, в частности, в бассейнах Амазонки и Ла-Платы, в Северной Америке, Центральной и Восточной Африке, Центральной Азии и на Ближнем Востоке.

Одновременно продолжалось сокращение запасов наземных вод — воды, хранящейся в почве, реках, озерах, водохранилищах, грунтовых водах, снеге, льду и растительности. ВМО фиксирует устойчивую тенденцию к их снижению с 2014–2016 годов. В 2025 году дефицит запасов воды сохранялся в некоторых районах Северной и Южной Америки, Европы, Ближнего Востока, Индии, Центральной Азии и Австралии. При этом в отдельных регионах, включая Африку к югу от Сахары и Тибетское плато, запасы наземных вод, напротив, были выше нормы.

Ледники продолжили быстро терять массу. В гидрологическом 2025 году они лишились в общей сложности 408 ± 132 гигатонн льда — это эквивалентно повышению среднего уровня моря на $1,1 \pm 0,4$ мм. В Центральной Азии, Западной Южной Азии, российской Арктике, Исландии, Западной Канаде и США показатели потери массы вошли в тройку самых высоких за всю историю наблюдений в этих регионах.

В некоторых районах с небольшими ледниками, включая Кавказ, Западную Канаду, США и Центральную Европу, мог быть достигнут пик водоотдачи: после него дальнейшее сокращение ледников будет приводить к уменьшению объема талой воды, поступающей в реки.

На фоне общего сокращения водных запасов в разных частях мира происходили экстремальные явления. В 2021–2025 годах продолжительные засухи наблюдались, в частности, в бассейнах Ла-Платы и Амазонки, на Ближнем Востоке и в районе Большого Африканского Рога, тогда как Западная и Центральная Африка и Юго-Восточная Азия неоднократно сталкивались с сильными наводнениями. На Азию и Африку пришлось не менее половины зарегистрированных экстремальных явлений, связанных с водой, и более 80% связанных с ними смертей за последние пять лет.

В 2025 году сильные наводнения в Южной и Юго-Восточной Азии были связаны с сочетанием тропических циклонов и интенсивных муссонных дождей. В Шри-Ланке, Пакистане, Вьетнаме, Индонезии, Таиланде, Малайзии и на Филиппинах эти события привели в общей сложности к гибели до 3600 человек. Одновременно засуха охватила Восточную Европу, Средиземноморье и Ближний Восток, а также вновь усилилась в районе Большого Африканского Рога.

Последствия таких изменений выходят за пределы отдельных засух или наводнений. Сокращение запасов воды и ледников может создавать долгосрочные риски для водоснабжения, сельского хозяйства и экономики. При этом качество глобальных данных о водных ресурсах постепенно улучшается, однако Африка и Азия по-прежнему недостаточно представлены в гидрологических наблюдениях.

В поисках ответов для более глубокого понимания энергетического баланса Земли и водных ресурсов³

**Уильям П. Кустас, Джеффри Вуд, Джейсон Келли,
Николас Бамбах и Хосе Д. Фуэнтес**

Учет общего энергетического баланса экосистем Земли имеет практическое значение для управления водными ресурсами, разработки политики землепользования и мониторинга состояния сельскохозяйственных культур.

Поверхность Земли и атмосфера постоянно обмениваются энергией и газами, включая водяной пар и углекислый газ, посредством эвапотранспирации (ЭТ), фотосинтеза и дыхания. Измерение этих обменных процессов, регулирующих фундаментальные процессы земной системы и влияющих на погоду и климат, а также на круговорот углерода и других важнейших компонентов экосистем, на протяжении веков оставалось сложной задачей для ученых.

Например, до 1980-х гг. технологии измерения эвапотранспирации (ЭТ) — термина, который иногда используется как синоним «испарения», поскольку некоторые ученые не различают транспирацию растений и другие источники испарения, — уступали по уровню развития методам измерения других метеорологических параметров. В своем выступлении в качестве президента Королевского метеорологического общества в 1979 г. Джон Монтейт вспоминал, что британский метеоролог XIX в. Г. Дж. Саймонс называл испарение «самой отчаянной отраслью этой отчаянной

³ Источник: William P. Kustas, Jeffrey Wood, Jason Kelley, Nicolas Bambach and Jose D. Fuentes. Seeking Closure to Better Understand Earth's Energy Balance and Water Resources [/https://eos.org/science-updates/seeking-closure-to-better-understand-earths-energy-balance-and-water-resources](https://eos.org/science-updates/seeking-closure-to-better-understand-earths-energy-balance-and-water-resources) Опубликовано 11.09.2026

науки» — метеорологии. Монтейт отмечал, что одной из основных причин такого положения было отсутствие методов измерения испарения с естественных поверхностей.

Для решения неотложных социально-экологических проблем, включая рост численности населения, увеличение спроса на продовольствие, изменение моделей землепользования и доступности водных ресурсов, необходимы надежные прямые измерения и устойчивые модели, характеризующие обменные процессы между поверхностью Земли и атмосферой. Сегодня такие методы измерения и моделирования все чаще применяются для оценки потребления воды в сельском хозяйстве, определения влияния методов управления земельными ресурсами на запасы углерода, мониторинга и прогнозирования засух и лесных пожаров, а также количественной оценки воздействия этих явлений на здоровье человека и состояние экосистем.

С 1980-х гг. системы вихревой ковариации (ВК), включающие расположенные в одной точке датчики ветра и газов, установленные на метеорологических башнях, стали предпочтительным методом измерения эвапотранспирации (ЭТ) в масштабах поля, а также потоков следовых газов и тепла. Однако, несмотря на теоретические и технические достижения последних десятилетий, исследователи по-прежнему сталкиваются с проблемой замыкания энергетического баланса (ЗЭБ) [Hicks and Baldocchi, 2020; Mauder et al., 2020, 2024]. Ключевая проблема заключается в том, что сумма потоков между поверхностью и атмосферой, измеряемых методом ВК, часто не соответствует количеству энергии, доступной и аккумулируемой в экосистеме, что нарушает фундаментальный принцип сохранения энергии.

В настоящее время специалисты, использующие метод вихревой ковариации (ВК), не координируют исследовательские усилия и практическое применение метода для изучения проблемы замыкания энергетического баланса (ЗЭБ). Отсутствие такой координации ограничивает развитие методов, позволяющих учитывать неопределенность при измерении потоков, что может порождать сомнения у неспециализированной аудитории и потенциально влиять на управленческие и политические решения в таких областях, как сельскохозяйственное и энергетическое производство, распределение водных ресурсов, экосистемные услуги и стратегии адаптации к погодным условиям.

Расширение применения методов вихревой ковариации (ВК) в научных исследованиях и для решения регуляторных задач побуждает ученых совместно искать решения проблемы замыкания энергетического баланса (ЗЭБ). В рамках этих усилий представители сообщества специалистов по вихревой ковариации собрались в 2025 г. на конференции Чепмена Амери-

канского геофизического союза (AGU). Результаты этой встречи легли в основу настоящей статьи. Участники обсудили давно существующие вопросы, связанные с ЗЭБ, и инициировали разработку четких и согласованных передовых практик сбора, корректировки, анализа и практического применения измерений и наборов данных, полученных с использованием метода ВК.

Баланс не сходится

Метод вихревой ковариации (ВК) позволяет измерять потоки явного и скрытого тепла в энергетическом балансе поверхности (рис. 1) [например, Lee et al., 2005; Aubinet et al., 2012; Foken, 2017; Burba, 2022; Lalic et al., 2026]. Эти потоки соответственно связаны с изменениями температуры и испарением воды.

Датчики вихревой ковариации измеряют вертикальную скорость ветра (восходящие и нисходящие потоки), температуру воздуха и концентрацию водяного пара с частотой дискретизации 10–20 Гц (10–20 измерений в секунду). Потоки явного и скрытого тепла рассчитываются на основе ковариаций вертикальной скорости ветра с температурой воздуха и концентрацией водяного пара соответственно. Иными словами, метод позволяет количественно оценить, в какой степени колебания температуры и концентрации водяного пара способствуют вертикальному переносу явного и скрытого тепла. Эти ковариации обычно рассчитываются за 30-минутные или 1-часовые интервалы усреднения.

В принципе, сумма потоков явного и скрытого тепла должна соответствовать доступной энергии в приповерхностном слое. Доступная энергия обычно аппроксимируется суммарной радиацией, которая определяется как разность между входящим и исходящим (отраженным и излучаемым) коротковолновым (т. е. солнечным) и длинноволновым излучением, за вычетом потока тепла в почве. При этом другие составляющие накопления энергии часто не учитываются (рис. 1).

Однако на практике измеренный суммарный поток редко соответствует доступной энергии, что ставит под сомнение точность и достоверность измерений потоков. Несоответствия между этими измерениями и модельными расчетами становятся более заметными при применении к крупным пространственным масштабам, неоднородным ландшафтам и коротким временным интервалам.

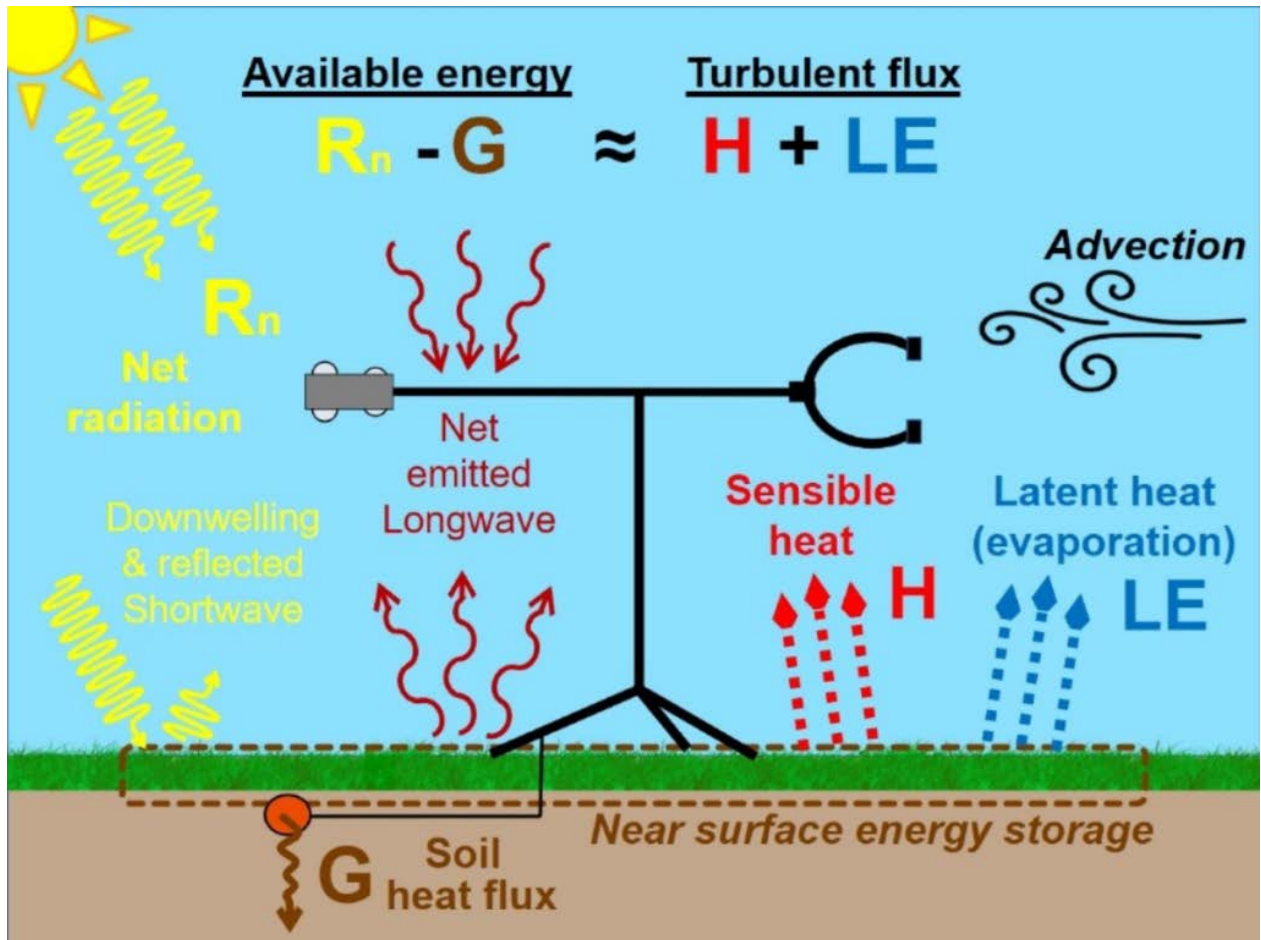


Рис. 1. Показаны основные компоненты системы вихревой ковариации (ВК), используемой для измерения энергетического баланса поверхности. В принципе, сумма потоков явного (H) и скрытого (LE) тепла (т. е. «турбулентный поток») должна соответствовать доступной энергии в приповерхностном слое (т. е. разности между суммарной радиацией (R_n) и потоком тепла в почве (G)). Часто не учитываются запасы тепла (энергии) в воздухе и растительном покрове ниже системы ВК, как и адвекция (горизонтальный перенос) энергии из окружающего ландшафта.

Воспринимаемые неточности влияют на то, как широкий круг пользователей данных, включая специалистов по управлению водными ресурсами, фермеров, животноводов и разработчиков моделей, интерпретирует результаты измерений методом вихревой ковариации (ВК), и поднимают ряд нерешенных вопросов о применении этих данных. Насколько точным является наше теоретическое понимание метода ВК? Следует ли корректировать измеренные потоки явного и скрытого тепла, чтобы привести замыкание энергетического баланса (ЗЭБ) в соответствие с предположениями модели, и, если да, возможны ли такие корректировки на основе теории и имеют ли они четкое обоснование? Или же измеренные потоки ВК точны,

тогда как наши знания о полной микрометеорологической системе, влияющей на энергетический баланс поверхности, остаются недостаточными?

Загадка реки Колорадо

Неопределенность в нашем понимании замыкания энергетического баланса (ЗЭБ) и точности измерений методом вихревой ковариации (ВК) имеет значение для многих областей применения, прежде всего для учета водопотребления в сельском хозяйстве. В глобальном масштабе на орошаемое земледелие приходится почти 70% забора пресной воды и производится около 40% мирового продовольствия. В США орошение обеспечивает приблизительно 45% забора пресной воды, а поддерживаемое им сельское хозяйство обеспечивает более 50% стоимости урожая в стране. В условиях ограниченности водных ресурсов эффективное управление водными ресурсами имеет решающее значение для продовольственной безопасности и экономической стабильности.



Приборы вихревой ковариации (ВК) установлены на вышке над полузасушливым луговым ландшафтом вблизи гор Санта-Рита на юге Аризоны. Изображенные на фотографии приборы представлены исключительно в иллюстративных целях и не означают официальной поддержки или одобрения Министерством сельского хозяйства США или Службой сельскохозяйственных исследований продукции или услуг данного производителя в ущерб другим производителям, продукция которых также может быть пригодна для использования.

Измерения методом вихревой ковариации сокращают информационный пробел, имеющий решающее значение для управления водными ресурсами в сельском хозяйстве, помогая оценивать модели эвапотранспирации. Неопределенность в моделях и измерениях эвапотранспирации подрывает доверие к мониторингу безвозвратного водопотребления и усугубляет глобальные опасения по поводу доступности водных ресурсов.

Речная система Колорадо, характеризующаяся хорошо документированной нехваткой воды, представляет собой жизненно важный пример ситуации, в которой необходимы высококачественные и прошедшие валидацию модели эвапотранспирации. Столетие назад, в 1922 г., Соглашение о реке Колорадо установило руководящие принципы управления и распределения водных ресурсов реки между Аризоной, Калифорнией, Колорадо, Невадой, Нью-Мексико, Ютой и Вайомингом. Сегодня семь штатов бассейна реки Колорадо ведут переговоры о пересмотре этого распределения, стремясь учесть последствия продолжительной засухи, увеличения испарения, повышения температуры и сокращения снежного покрова.

Для этой работы необходим надежный метод, подтвержденный наземными наблюдениями, для количественной оценки использования речной воды и справедливого распределения доступных водных ресурсов. Наблюдения методом вихревой ковариации обеспечивают такую валидацию моделей эвапотранспирации, полученных на основе данных дистанционного зондирования, которые, в свою очередь, позволяют единообразно и справедливо осуществлять мониторинг эвапотранспирации и водопотребления на обширных географических территориях.

Одним из примеров использования этого подхода является проект OpenET, который ежедневно предоставляет наборы данных об эвапотранспирации по всей территории континентальной части США. OpenET сопоставляет результаты моделирования с данными измерений методом вихревой ковариации, для которых энергетический баланс обычно замыкается, и установил, что ансамблевые методы, объединяющие результаты нескольких моделей, обеспечивают наиболее надежное соответствие данным ВК.

Сравнительные оценки для сельскохозяйственных угодий показывают среднемесячную абсолютную ошибку примерно в 15% между оценками эвапотранспирации, полученными с помощью моделей OpenET, и оценками на основе данных вихревой ковариации [Volk et al., 2024]. Однако при сравнении ежедневных результатов моделирования с данными ВК ошибка составляет около 25%, а оценки для других типов земного покрова, как правило, демонстрируют еще большие расхождения. При проведении таких сравнительных оценок возникают, в частности, вопросы о том, как оценивать замыкание энергетического баланса и учитывать его при представлении неопределенности, а также следует ли корректировать измерен-

ные значения эвапотранспирации для обеспечения замыкания теоретического энергетического баланса.

Замыкание энергетического баланса (ЗЭБ) также имеет существенное практическое значение для оценки доступности водных ресурсов и водных балансов. Проект FLUXNET 2015 представил первый в мире стандартизированный, прошедший контроль качества и количественно оцененный с учетом неопределенности набор данных об обмене углекислого газа и потоках скрытого и явного тепла в экосистемах [*Pastorello et al.*, 2020]. Анализ данных FLUXNET 2015 показывает, что измеренные потоки явного и скрытого тепла в природных экосистемах в среднем составляют около 80% доступной энергии [*Mauder et al.*, 2024]. При масштабировании этого дисбаланса на основные биомы недостающая остаточная энергия приводит к значительным различиям в оценках водопотребления в масштабах речных бассейнов, регионов и континентов. В таких масштабах относительная неопределенность, связанная с неполным замыканием энергетического баланса (ЗЭБ), составляет примерно от 10% до 25%, причем для наборов данных по Европе сообщается о еще большей неопределенности (рис. 2).

Стандартизация методов для предпочтительной методики измерения потоков

Несмотря на сложности, связанные с замыканием энергетического баланса (ЗЭБ), многие ученые считают метод вихревой ковариации (ВК) предпочтительным подходом к измерению потоков тепла и газов у земной поверхности. Это наиболее прямой метод измерения турбулентных потоков; теория, лежащая в основе оценок потоков методом ВК, является надежной, а необходимое оборудование значительно усовершенствовалось за последние полвека.

В результате измерения методом вихревой ковариации (ВК) проводились на тысячах участков по всему миру, охватывающих разнообразные ландшафты и климатические условия. Во многих исследованиях метод ВК сравнивался с другими методами измерений, и было установлено, что он является наиболее надежным методом измерения потоков у земной поверхности в масштабе гектара и позволяет получать ответы на важные вопросы, связанные с потоками воды и углерода [например, *Pastorello et al.*, 2020].

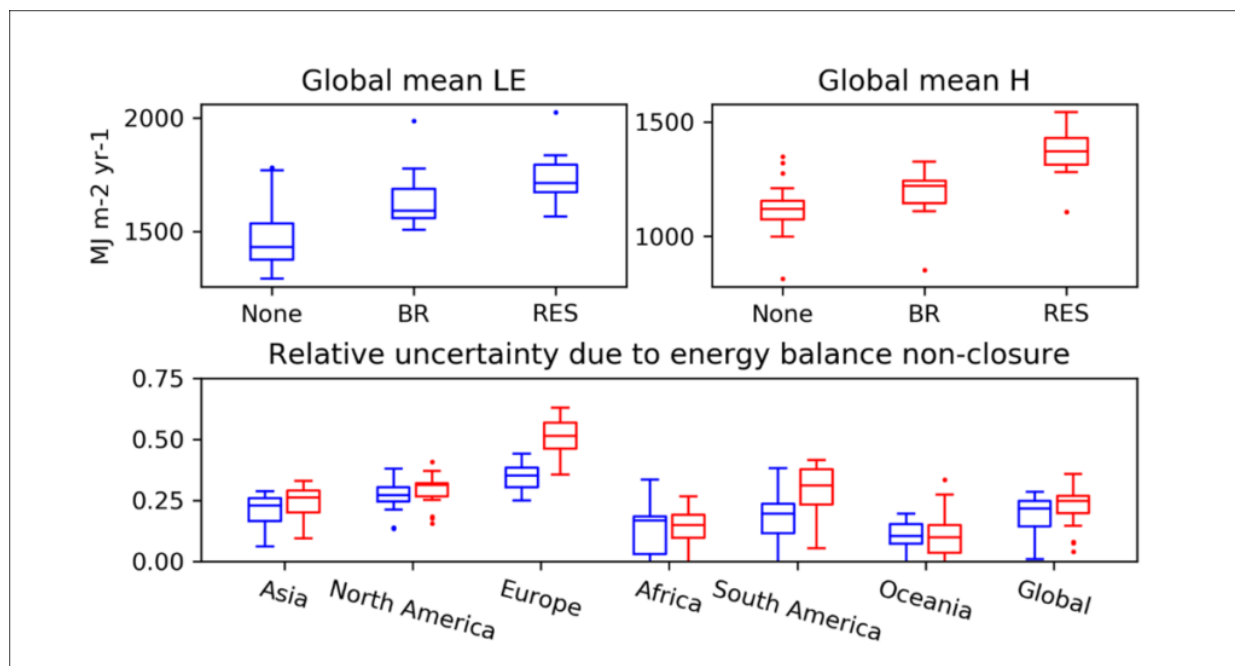


Рис. 2. Принудительное замыкание энергетического баланса (ЗЭБ) оказывает значительное влияние на среднегодовые глобальные оценки потоков скрытого (LE) и явного (H) тепла в наземных экосистемах (вверху), выраженные в $\text{МДж}/\text{м}^2/\text{год}$. Способы принудительного замыкания являются значительным источником неопределенности, которая неодинакова на разных континентах (внизу). Замыкание либо не применялось (*None*), либо применялось с сохранением коэффициента Боуэна ($BR = H/LE$), либо предполагалось, что вся недостающая или избыточная энергия должна быть добавлена к LE или H (*RES*). Подробности о получении этих значений см. в работе Jung et al., 2019. Значения на нижней панели рассчитаны на основе оценок LE (синий) и H (красный), полученных при различных сценариях замыкания, как отношение $(RES - None)/None$.

Парадоксально, но научное сообщество до сих пор не разработало и не согласовало стандарты применения метода вихревой ковариации. Несколько сетей наблюдений, объединяющих национальные и международные проекты, такие как AmeriFlux, Интегрированная система наблюдений за углеродом (ICOS), Национальная сеть экологических обсерваторий (NEON) и другие, внесли вклад в формирование таких стандартов, предоставляя рекомендации по размещению приборов, протоколы обработки данных и стандартизированные наборы данных.

Однако даже большинству ученых, имеющих опыт в области микрометеорологии, сложно придерживаться конкретных стандартов при развертывании приборов для измерений методом вихревой ковариации. В то же время растущий спрос на данные, получаемые практически в режиме

реального времени, побуждает ученых быстро разворачивать системы ВК, уделяя меньше внимания методологическим нюансам и неопределенности, связанной с измерениями датчиков. Хотя научное сообщество признает необходимость более точных измерений потоков у земной поверхности для решения социальных проблем, методологические разработки пока не способны в полной мере удовлетворить эти потребности.

Эта дилемма послужила стимулом для новых усилий сообщества по установлению общепринятых стандартов применения метода вихревой ковариации (ВК) и продвижению к решению проблемы замыкания энергетического баланса (ЗЭБ). Цели этих усилий включают улучшение понимания ошибок в компонентах энергетического баланса поверхности, уменьшение систематических смещений при измерениях методом ВК, способствующих возникновению расхождений при замыкании энергетического баланса, систематизацию влияния типа экосистемы и земного покрова на замыкание энергетического баланса и неопределенность измерений, а также описание теоретически обоснованных поправок, способных компенсировать систематические погрешности измерений.

Эти цели определяют задачи предстоящего специального сборника исследований, подготовленного по итогам прошлогодней конференции Чепмена. В сборнике будут рассмотрены вопросы проектирования сетей наблюдений методом вихревой ковариации (ВК), а также влияние неоднородности земной поверхности и обработки данных на оценки потоков и замыкание энергетического баланса (ЗЭБ) (рис. 3). В сборнике также будет рассмотрено, как определять качество данных ВК с учетом применения передовых практик измерений и метрик ЗЭБ для практического использования в управлении и принятии социально-экономических решений, а также какие последствия имеет ЗЭБ для валидации моделей.

В конечном итоге эти совместные усилия сообщества позволят определить важнейшие приоритетные направления исследований и восполнить пробелы в знаниях, накопившиеся за почти полвека исследований в области вихревой ковариации. Они также направлены на дальнейшее развитие метода с учетом практических потребностей — от количественной оценки водопотребления и доступности водных ресурсов до углубления понимания того, как изменения ландшафта влияют на погоду, здоровье человека и состояние экосистем.

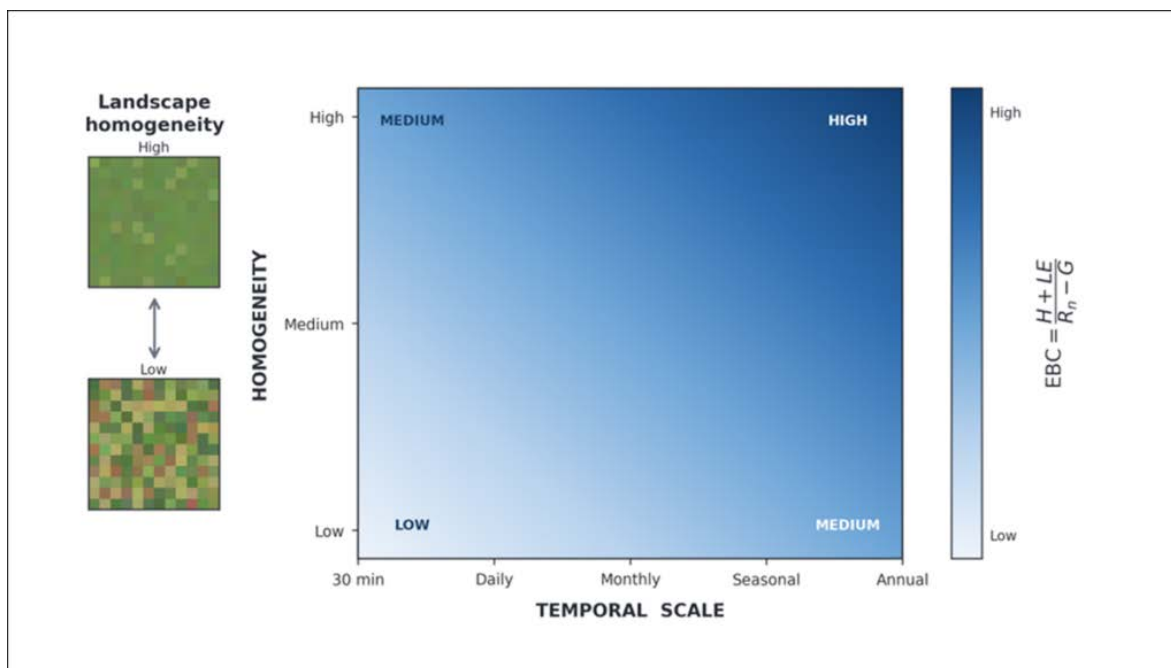


Рис. 3. Эта схема предлагает качественную интерпретацию величины замыкания энергетического баланса (ЗЭБ) как функции временного масштаба измерений и однородности ландшафта, основанную на многочисленных наблюдениях методом вихревой ковариации (ВК) и обсуждениях на конференции Чепмена Американского геофизического союза (AGU) 2025 г. Термины, используемые в определении ЗЭБ и расположенные рядом с цветовой шкалой, определены на рис. 1. Более высокие значения замыкания, указывающие на лучшее соответствие между суммарными потоками тепла, измеренными методом ВК, и доступной энергией, обычно наблюдаются при рассмотрении более длительных временных масштабов и более однородном ландшафтном покрове.

Водный кризис уже виден из космоса: что обнаружили спутники⁴

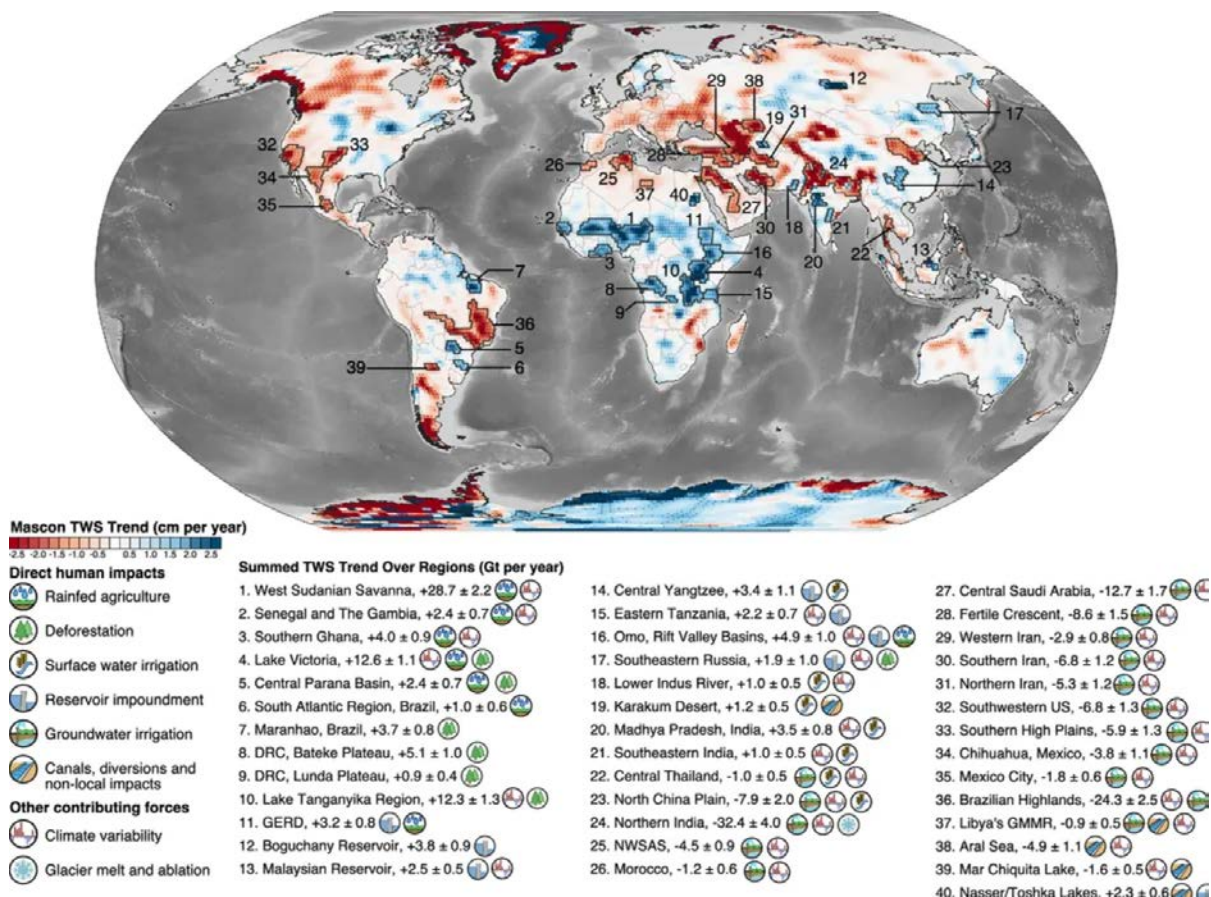
Спутниковые наблюдения за 2002-2025 годы выявили масштабное сокращение запасов воды на континентах. Особенно быстро истощаются подземные горизонты, от которых зависят сельское хозяйство и миллионы людей.

⁴ Источник: <https://science.mail.ru/news/57490-vodnyj-krizis/> Опубликовано 27.09.2026

Ученые из Мэрилендского университета и Центра космических полетов Годдарда NASA составили детальную карту запасов пресной воды и доказали, что откачка водоносных слоев идет на 45% интенсивнее прежних оценок. Статья опубликована в журнале *Proceedings of the National Academy of Sciences*.

Специалисты проанализировали массив измерений спутниковых систем GRACE и GRACE-FO с 2002 по 2025 год с применением новых методов пространственного разрешения. Полученная картина позволила зафиксировать региональные колебания запасов влаги, оказавшиеся в среднем на 33% более выраженными по сравнению с прошлыми отчетами.

Всего на карте выявили 94 аномальные зоны, при этом в 40 из них ключевым драйвером изменений выступила деятельность человека, а не природные циклы осадков. В целом объемы безвозвратно потерянной пресной воды на континентах существенно превысили показатели ее естественного накопления.



Ведущий автор исследования Мэри Майкл Форрестер О'Нил сообщила, что геостатистический анализ позволил четко разделить воздействие человека от климатических капризов. По ее словам, специалистам по вод-

ному хозяйству теперь точно известно, какие именно водохранилища и водоносные горизонты истощаются быстрее всего.

В 22 районах запасы влаги увеличились благодаря сооружению плотин, искусственному заполнению водохранилищ (включая российское Богучанское водохранилище в Красноярском крае) и вырубке лесов, снизившей потребление влаги деревьями. Однако в оставшихся 18 точках зафиксировано угрожающее падение горизонтов из-за насосного орошения полей.

Особенно тревожная обстановка сложилась в главных сельскохозяйственных житницах планеты: на севере Индии, юге Ирана, Северо-Китайской равнине и на Великих равнинах в США. Эксперт Эвергринского института устойчивости Хришикеш Чанданпуркар подчеркнул, что осушение суши достигло угрожающих масштабов, а общество до сих пор недооценивает ценность водных ресурсов.

Спутники фиксируют лишь изменение совокупной массы воды, поэтому точно предсказать дату полного опустошения резервуаров невозможно. Тем не менее гидрологи предупреждают, что падение водного зеркала даже на несколько метров приведет к пересыханию сельских колодцев и непомерно взвинтит стоимость бурения новых глубоких скважин.

Водное сотрудничество строится на доверии⁵

Основные выводы консультативной сессии «Вода для сотрудничества: интерактивный диалог» в рамках Всемирной недели воды, 26 августа 2026 г.

Введение

Сотрудничество в области водных ресурсов невозможно обеспечить исключительно посредством формальных решений — оно основывается на доверии, постоянном диалоге и общих целях. В рамках Всемирной недели воды 2026 г. в Стокгольме сопредседатели интерактивного диалога D «Вода для сотрудничества», Финляндия и Замбия, провели региональную консультацию, направленную на сбор практических рекомендаций для Кон-

⁵ Источник: Water Cooperation Runs on Trust / <https://www.waterdiplomat.org/story/2026/09/water-cooperation-runs-trust?b=water-diplomat&r=newsletter/water-diplomat/2026-09-07> Опубликовано 4.09.2026

ференции ООН по водным ресурсам 2026 г. В консультации приняли участие эксперты и представители различных регионов и сфер деятельности, которые поделились опытом и практическими знаниями по вопросам инклюзивности, учета конфликтных условий, научного сотрудничества, а также взаимодействия науки и политики.

Основной целью консультации стало изучение возможностей для укрепления практического сотрудничества в области водных ресурсов, особенно с учетом многообразия интересов и политического контекста, связанных с совместным использованием водных ресурсов. Во вступительном слове специальный посланник Финляндии по водным ресурсам Антти Раутаваара обозначил три взаимосвязанных приоритета интерактивного диалога: трансграничное сотрудничество в области водных ресурсов, научное сотрудничество и инклюзивное управление водными ресурсами.

Перед началом групповых дискуссий участники заслушали два выступления, посвященных ключевым аспектам водного сотрудничества. Профессор Сюзанна Шмайер из Делфтского технологического университета и Утрехтского университета подчеркнула важность инклюзивного сотрудничества в сфере управления подземными водами с учетом конфликтных условий. В свою очередь, Якоб Даймонд, представляющий ЮНЕСКО, остановился на вопросах научного сотрудничества и укрепления взаимодействия между научным сообществом и органами, принимающими политические решения.

Основная сессия проходила в формате четырех дискуссионных групп, сформированных вокруг обозначенных тематических направлений: инклюзивности, учета конфликтных условий, научного сотрудничества и взаимодействия науки и политики. Участники, присутствовавшие в зале, вносили свой вклад посредством письменных материалов и дискуссий, тогда как участники онлайн-сессии делились своими мнениями и предложениями через цифровую платформу. Каждая группа определила передовые практики, факторы, способствующие их успешному применению, а также круг заинтересованных сторон, которых необходимо привлекать к соответствующим процессам.

Основное внимание было сосредоточено на выявлении конкретных уроков и практических подходов, позволяющих использовать сотрудничество в области водных ресурсов для укрепления диалога и взаимодействия и создания основ для устойчивого мира. Участники представили примеры из трансграничных бассейнов, региональных соглашений и других процессов сотрудничества.

В следующих разделах обобщены основные выводы, сформулированные по итогам групповых дискуссий и онлайн-мероприятий.

Обеспечение инклюзивности для укрепления сотрудничества в области водных ресурсов: все заинтересованные стороны должны участвовать в процессе принятия решений

Участники подчеркнули, что инклюзивность предполагает нечто большее, чем простое представительство различных групп. Она требует их значимого участия, особенно тех, на чью жизнь, средства к существованию и права влияют решения в области водных ресурсов. Общины, коренные народы, молодежь, женщины, местные органы власти, научное сообщество и водопользователи должны с самого начала иметь реальные возможности влиять на формирование знаний и определение приоритетов, а также на принимаемые решения и их результаты.

На практике такие подходы, как гражданская наука, общественные комитеты по водным ресурсам, форумы по управлению водосборными бассейнами с участием общественности, открытая наука, человекоориентированное проектирование и общественный мониторинг, могут способствовать вовлечению различных носителей знаний и учету их опыта, доказательств и точек зрения. Для того чтобы такие механизмы участия были эффективными, необходимо обеспечить доступность данных, использовать понятный язык и создавать действенные механизмы обратной связи, позволяющие продемонстрировать, каким образом используются местные данные и собранная информация.

Участие молодежи было отмечено как один из конкретных примеров. В международных процессах, связанных с водными ресурсами, уже принимают участие молодые люди, обладающие лидерским опытом и возможностями влиять на формирование политики. Вместе с тем участники призвали уделять больше внимания так называемой «обычной молодежи», в том числе молодым людям из сельских районов, а также имеющим техническое или научное образование. Расширение и диверсификация участия молодежи могут способствовать включению в процессы управления водными ресурсами различных видов знаний, жизненного опыта и новых возможностей.

Ключевой вывод заключался в том, что инклюзивные процессы должны учитывать не только тех, кто участвует в них, но и тех, кто остается за их пределами, а также причины, препятствующие их участию. Такие факторы, как время, доступность ресурсов, язык, физическая и цифровая доступность, а также уровень доверия, во многом определяют возможности различных групп вносить свой вклад. Гибридный формат участия продемонстрировал как преимущества, так и определенные ограничения: с одной стороны, он расширяет возможности для онлайн-участия, а с другой — поднимает вопрос о том, каким образом обмен знаниями может выхо-

доть за рамки конференционных площадок. Инклюзивность становится основой легитимности, инноваций и доверия лишь в том случае, если она последовательно поддерживается и интегрируется в структуру сотрудничества.

Эти дискуссии создают основу для дальнейшего развития практик полноценной и содержательной инклюзии. Принцип ООН «Никого не оставлять позади» предлагает исходить из ключевых вопросов: кто остается за пределами процесса, почему это происходит и какие барьеры препятствуют участию? В будущих дискуссиях целесообразно более подробно рассматривать вопросы участия людей с инвалидностью, доступности, разумного приспособления и использования доступных языковых форматов с учетом гендерного аспекта. Такой подход позволит превратить инклюзивность из общего принципа в практический инструмент выявления барьеров, адаптации форматов участия и обеспечения подотчетности. В качестве дополнительного направления было предложено развивать межпоколенческий диалог между молодежью и специалистами, завершившими профессиональную деятельность. Такой обмен мог бы способствовать появлению новых перспектив, передаче институциональной памяти и практического опыта, а также укреплению преемственности в сфере управления водными ресурсами.

Поддержание сотрудничества с учетом конфликтных условий

Там, где водные ресурсы являются общими для нескольких сторон, сотрудничество и эффективное управление ими приобретают особое значение. Однако ситуация становится значительно более сложной в условиях конкурирующих интересов, нерешенных споров и политической напряженности — именно в тех обстоятельствах, когда особенно важен подход, учитывающий конфликтные условия.

Участники подчеркнули, что сотрудничество с учетом конфликтных условий не предполагает устранения всех разногласий. Его задача заключается в том, чтобы сохранять действующие механизмы сотрудничества и обеспечивать их функционирование, несмотря на существующие противоречия. Особое значение при этом имеет прозрачность: возникающие недопонимания следует выявлять и устранять на ранних этапах, данные и используемые методы должны быть доступны для обмена, а процессы принятия решений — понятными и предсказуемыми. Общие для всех сторон факты и надежные научные данные могут служить нейтральной основой для диалога, особенно в ситуациях, когда уровень доверия остается низким или доверие между сторонами является хрупким.

Важное значение имеет и институциональная структура. Регулярная смена руководства, принятие решений на основе консенсуса, проведение

регулярных технических совещаний и наличие долгосрочных механизмов управления могут способствовать сбалансированному учету интересов, сохранению представительства различных сторон и поддержанию сотрудничества в условиях политических и институциональных изменений. Участники также подчеркнули необходимость учитывать политико-экономические аспекты решений в области водных ресурсов, в том числе то, кто получает выгоды, кто может утратить влияние и каким образом происходит обмен информацией. Взаимодействие с местными сообществами должно учитывать эту реальность, а также тот факт, что люди не могут полноценно участвовать в процессах сотрудничества, если их базовые потребности, включая доступ к воде, санитарии и гигиене, остаются неудовлетворенными.

Ключевой вывод заключался в том, что институты могут выполнять функцию «инфраструктуры доверия». Доверие укрепляется, когда институты являются инклюзивными, прозрачными и эффективными и способны обеспечивать ощутимые результаты и преимущества для заинтересованных сторон. Особое внимание было уделено распределению выгод, которое участники признали потенциально более действенным стимулом для сотрудничества, чем подходы, ориентированные исключительно на распределение водных ресурсов или снижение рисков.

Подходы с учетом конфликтной чувствительности могут быть усовершенствованы путем анализа того, каким образом сотрудничество взаимодействует с динамикой конфликта. Conflict Sensitivity Hub рассматривает конфликтную чувствительность как понимание того, каким образом собственные действия могут влиять на существующие противоречия или способствовать возникновению новых. На практике процессы сотрудничества, механизмы обмена данными и форматы участия следует регулярно анализировать, чтобы убедиться в том, что они не усиливают неравенство, изоляцию или недоверие. Напротив, они должны способствовать снижению потенциального вреда, укреплению отношений и созданию стимулов и возможностей, необходимых для поддержания сотрудничества.

Совместные научные исследования могут превращать общие интересы в основу сотрудничества

Научное сотрудничество рассматривалось как важный инструмент укрепления доверия в сфере управления трансграничными водными ресурсами. Совместный мониторинг, обмен данными, согласованные методики и проведение исследований на общей основе могут способствовать укреплению доверия между сторонами, имеющими ограниченные возможности для непосредственного взаимодействия. Примеры из бассейна Нила, района Великих озер, бассейна озера Виктория, бассейна Меконга, бассейна

реки Дрин и трансграничных водоносных горизонтов показали, что совместная научная деятельность может укреплять отношения между сторонами и расширять доказательную базу для принятия решений.

Ключевой вывод заключался в том, что научное сотрудничество наиболее эффективно тогда, когда партнеры выявляют общие интересы и последовательно развивают взаимодействие на их основе. В качестве важных факторов успеха были отмечены доверие, взаимное уважение, совместная ответственность и общее видение. Не менее значимыми оказались и практические аспекты сотрудничества, включая совместимые системы данных, согласованные протоколы мониторинга и регулярные площадки для совместного анализа и интерпретации полученных данных.

В ходе дискуссии также прозвучал призыв к более широкому пониманию науки и научного знания. Местные сообщества, носители традиционных знаний коренных народов и участники инициатив в области гражданской науки были признаны важными участниками процесса формирования доказательной базы. Формулировка «мы все ученые» отражала этот более широкий подход, предполагающий, что местные наблюдения и жизненный опыт могут дополнять результаты формальных научных исследований. Особую ценность гражданская наука может представлять для районов, затронутых нестабильностью, где проведение традиционного мониторинга зачастую затруднено.

Участники обозначили ряд сохраняющихся проблем, включая необходимость устойчивого финансирования, обеспечения местной ответственности за поддержание инфраструктуры мониторинга, укрепления связей между академическим сообществом и практиками, а также улучшения координации между международными инициативами. Вместе с тем основной вывод был сформулирован достаточно четко: эффективное управление водными ресурсами зависит от совместного производства знаний, а сам процесс формирования знаний на основе сотрудничества может, в свою очередь, способствовать укреплению сотрудничества в сфере водных ресурсов.

Устоявшиеся рекомендации показывают, что научное сотрудничество наиболее эффективно, когда техническое взаимодействие подкрепляется четкими правилами, надежными институтами и инклюзивными исследовательскими практиками. Конвенция ЕЭК ООН по охране и использованию трансграничных водотоков и международных озер и соответствующие руководящие документы подчеркивают важность совместного мониторинга, применения согласованных стандартов, обмена данными и институционализированного взаимодействия. В свою очередь, Рекомендация ЮНЕСКО об открытой науке акцентирует внимание на открытых, доступных и пригодных для повторного использования знаниях, признании

разнообразия систем знаний и расширении участия. В связи с этим исследователям и учреждениям рекомендуется применять расширяющие возможности и основанные на участии подходы, включая методы, ориентированные на сообщества и учитывающие гендерные аспекты. Важно также разрабатывать такие исследовательские процессы, которые позволяют определить, чьи знания имеют значение, кто участвует в формулировании исследовательских вопросов, каким образом обеспечивается защита данных и кто получает пользу от результатов исследований. Без таких основ данные могут быть собраны, но не вызывать доверия; получены, но не использоваться на практике; или опубликованы в открытом доступе, но оставаться недоступными для тех, кто больше всего в них нуждается. Научное сотрудничество также помогает участникам формировать общее понимание проблем, рисков и возможных решений, создавая более прочную основу для доверия, диалога и совместных действий.

Превращение доказательств в действия посредством диалога между наукой и политикой

Четвертая тематическая область была посвящена тому, каким образом научные данные и знания могут более эффективно использоваться в управлении водными ресурсами. Участники согласились с тем, что научные знания оказывают наибольшее влияние тогда, когда они преобразуются в формы, понятные и применимые для политиков, органов власти, местных сообществ и других заинтересованных сторон. Для этого необходимо постоянное взаимодействие между научным сообществом и лицами, принимающими решения, а не только передача результатов уже завершенных исследований.

«Живые лаборатории», демонстрационные площадки по экогидрологии, платформы наблюдения за Землей, инструменты поддержки принятия решений на основе искусственного интеллекта и трансграничные оценки могут способствовать взаимодействию ученых и лиц, принимающих решения. Такие форматы позволяют совместно тестировать возможные решения, интерпретировать данные и применять полученные знания в реальных условиях.

Одним из повторяющихся выводов стало то, что взаимодействие науки и политики следует выстраивать, исходя из практических задач управления, и развивать его на основе совместных процессов. Когда научные данные отвечают потребностям политики, интерпретируются совместно и адаптируются к различным аудиториям, повышается вероятность того, что они будут правильно поняты, вызовут доверие и найдут практическое применение. Это также предполагает адаптацию информационных продуктов к потребностям различных целевых аудиторий и обеспечение

того, чтобы представляемые данные были ясными, своевременными и актуальными.

Совместный мониторинг, взаимная интерпретация данных, регулярный обмен информацией и совместное обучение могут способствовать укреплению легитимности и доверия к полученным данным и научным выводам. В этом смысле наука выступает не только источником информации, но и платформой для диалога и сотрудничества. Ключевой вывод заключался в том, что соответствующие управленческие и институциональные механизмы могут способствовать превращению научных данных в практические действия. Финансирование, законодательные меры, международные рамки сотрудничества и четкие правила обмена данными способны содействовать масштабированию эффективных решений и связывать научные данные с социально инклюзивными процессами трансграничного принятия решений. Глобальные соглашения и международные платформы, включая Конвенцию ООН о водных ресурсах, были отмечены как важные механизмы взаимодействия между научным сообществом и лицами, принимающими решения.

В диалоге между наукой и политикой необходимо также сохранять пространство для независимых и критически настроенных научных исследований. Доказательства должны быть ясными, своевременными и доступными, однако их ценность не должна определяться исключительно их непосредственной полезностью для формирования политики. Рекомендации ОЭСР акцентируют внимание на прозрачности, инклюзивности, научной добросовестности, подотчетности и своевременности, тогда как Рекомендация ЮНЕСКО об открытой науке подчеркивает значение открытых, доступных и инклюзивных знаний, учитывающих разнообразие систем знаний. Европейские рекомендации по использованию научных знаний в процессе формирования политики также указывают на необходимость развития навыков, сетей и институтов, которые позволяют исследователям и представителям органов власти работать совместно, сохраняя при этом прозрачность в отношении неопределенности, компромиссов и ограничений. На практике это предполагает использование ясного языка, визуальных инструментов и форматов, основанных на диалоге, при одновременном сохранении независимости науки и возможности для научного сообщества конструктивно ставить под вопрос существующие предположения и предлагаемые решения.

Главный вывод: сотрудничество укрепляет доверие

В ходе дискуссий неоднократно звучал простой, но важный вывод: доверие формируется прежде всего на практике. Оно укрепляется, когда люди, которых непосредственно затрагивают решения в области водных

ресурсов, имеют реальную возможность участвовать в процессах принятия решений; когда механизмы сотрудничества сохраняют свою работоспособность в условиях напряженности; когда данные и научные доказательства собираются и интерпретируются совместно; а также когда наука и политика взаимодействуют для выработки практических решений.

В совокупности четыре тематических направления показывают, какие условия необходимы для эффективного сотрудничества в области водных ресурсов: инклюзивность обеспечивает легитимность, конфликтная чувствительность способствует устойчивости сотрудничества при расхождении интересов, научное сотрудничество создает основу для обмена знаниями и укрепления доверия, а диалог между наукой и политикой помогает преобразовывать знания в практические решения. Взаимодействие этих элементов может способствовать формированию более устойчивых механизмов сотрудничества, основанных на доверии и ориентированных на достижение взаимной выгоды.

Для Конференции ООН по водным ресурсам 2026 г. основной вывод заключается в том, что укрепление сотрудничества в области водных ресурсов требует не только соглашений, институтов и технических решений, но и создания таких процессов, которые способствуют формированию устойчивых отношений, снижению недоверия и совместным действиям. Консультации, проведенные в Стокгольме, позволили представить практические примеры и сформулировать выводы, которые могут способствовать дальнейшему развитию интерактивного диалога D «Вода для сотрудничества».

Исследование прогнозирует значительные различия в доступе к продовольствию, воде и энергии к 2050 году⁶

Как изменится глобальный доступ к продовольствию, воде и энергии в ближайшие десятилетия? Новое исследование, проведенное совместно исследователями Массачусетского технологического института (MIT), показывает, что ситуация может существенно различаться в зависимости от региона, доступности ресурсов и уровня доходов населения.

⁶ Источник: Study predicts large disparities in access to food, water, and energy in 2050 / <https://www.preventionweb.net/news/study-predicts-large-disparities-access-food-water-and-energy-2050> Опубликовано 8.09.2026

На основе масштабного моделирования различных сценариев использования ресурсов исследователи установили, что в некоторых регионах к 2050 г. люди с низким уровнем дохода могут тратить на продукты питания около 50% своих доходов. Для групп населения с более высоким уровнем дохода в тех же регионах этот показатель может составлять лишь около 5%.

По словам Дженнифер Моррис, ведущего научного сотрудника Центра устойчивого развития и стратегии Массачусетского технологического института и Инициативы MIT в области энергетики, а также соавтора нового исследования, в ряде случаев группы населения с низким уровнем дохода могут столкнуться с гораздо более серьёзными потенциальными рисками для своей ресурсной безопасности. Она отметила, что полученные результаты могут быть использованы политиками в различных регионах мира для оценки долгосрочных и масштабных рисков, связанных с доступностью ресурсов для разных групп населения.

Моррис также подчеркнула, что расходы, составляющие половину дохода, потенциально способны дестабилизировать жизнь человека, поскольку оставляют крайне ограниченные средства для удовлетворения других жизненно важных и базовых потребностей.

В исследовании основное внимание уделяется прогнозированию будущей доступности продовольствия, воды и энергии с учётом долгосрочных изменений примерно по десяти основным факторам, влияющим на доступность этих ресурсов. К ним относятся экономические условия и сельскохозяйственное производство, торговые условия, климат, землепользование и ряд других факторов. По словам Ги Джун Кима, научного сотрудника Тулейнского университета и соавтора статьи, результаты исследования показывают, что будущий дефицит продовольствия, энергии и воды не будет обусловлен какой-либо одной причиной. Помимо уровня доходов, на связанные с ресурсами риски влияют региональные условия, характер землепользования, энергетические системы, доступность воды и поведение потребителей. Поэтому, как отмечает Ким, политикам необходимо учитывать конкретное сочетание факторов, формирующих уязвимость в каждом регионе.

Помимо Моррис и Кима, авторами статьи являются Брайан О'Нил, специалист по наукам о Земле из Тихоокеанской северо-западной национальной лаборатории; Маршалл Уайз, системный инженер из Тихоокеанской северо-западной национальной лаборатории; Джон Вейант, профессор управления наукой и инженерией Стэнфордского университета; и Джонатан Ламонтань, доцент кафедры гражданского и экологического строительства Университета Тафтса.

Заполнение пробела

Настоящее исследование направлено на восполнение пробела в моделировании долгосрочной ресурсной безопасности. Учитывая сложность долгосрочного анализа, во многих исследованиях использовались так называемые «общие социально-экономические сценарии» — ограниченный набор сценариев, отражающих широкие глобальные представления о возможных вариантах будущего. При этом конкретные результаты, например то, как долгосрочная доступность ресурсов может взаимосвязанно меняться в зависимости от уровня доходов в разных регионах мира, оставались менее изученными. Два года назад та же группа авторов опубликовала статью, в которой призвала к более детальному анализу социально-экономических сценариев с акцентом на результаты, имеющие непосредственное значение для благополучия людей. Настоящее исследование представляет собой попытку разработать подобный подход к моделированию.

По словам Моррис, в исследованиях такого рода, ориентированных на показатели благополучия людей, уровень доходов имеет особое значение.

Для проведения исследования учёные использовали существующую в этой области модель глобального анализа изменений (GCAM) версии 7.1. Модель описывает взаимосвязи между энергетикой, экономикой, водными ресурсами, землепользованием и климатом, разделяя мир на 32 региона, 235 водных бассейнов и 384 региона землепользования. Кроме того, в модель были внесены корректировки с учётом таких факторов, как прогнозируемая динамика цен на сырьевые товары.

Исследовательская группа использовала 12 основных переменных, связанных с доступностью ресурсов. В их число вошли численность населения, ВВП, распределение доходов, углеродоёмкость, землепользование, торговля сельскохозяйственной продукцией, различные сценарии потребления энергии, прогнозы водопотребления и ряд других факторов. Исследователи провели моделирование 3735 различных сценариев, учитывающих сочетание этих факторов, чтобы оценить диапазон возможных изменений в доступности ресурсов к 2050 г.

В целом результаты моделирования выявили существенные региональные различия. К 2050 г. риски для продовольственной безопасности могут быть наиболее выраженными в некоторых регионах Африки к югу от Сахары, тогда как риски для энергетической безопасности могут оказаться наиболее серьёзными для малообеспеченных групп населения в отдельных районах Азии, Восточной Европы и Ближнего Востока.

При этом даже в пределах одного региона обеспеченность ресурсами может существенно различаться между группами населения. В Южной

Африке, согласно результатам моделирования, беднейшие 10% населения могут тратить на продукты питания 49,6% своих доходов, тогда как для 10% населения с наиболее высокими доходами этот показатель может составлять лишь 5,5%. В Западной и Восточной Африке прогнозируемая доля населения с самым низким уровнем доходов, сталкивающегося с нехваткой продовольствия, составляет 48,4% и 42,5% соответственно.

Чтобы оценить возможные изменения с течением времени, исследователи сравнили полученные результаты с данными за 2015 г., представленными в модели GCAM. Для наиболее малообеспеченной группы населения в Западной Африке в 2015 г. средняя доля дохода, расходуемая на питание, составляла около 25%, тогда как прогнозы на 2050 г. варьируются от 20 до 75%. В Южной Африке наиболее малообеспеченная группа населения в 2015 г. тратила на питание около 20% своего дохода, однако, согласно результатам моделирования, к 2050 г. этот показатель может составить от 25 до 65%. Столь широкий диапазон прогнозируемых значений отражает разнообразие возможных сценариев будущего.

Аналогичные различия наблюдаются и в отношении расходов на энергию, которые также зависят от уровня доходов. Например, в некоторых регионах Ближнего Востока, согласно оценкам, к 2050 г. доля дохода, расходуемая на энергию, может составить всего 1,7% для наиболее обеспеченной группы населения и 18,9% для наименее обеспеченной. В Восточной Европе этот показатель может достигать 11,3% дохода для наименее обеспеченной группы, тогда как для наиболее обеспеченной группы он составляет менее 5%.

По словам Кима, региональные средние показатели могут создавать впечатление, что будущие риски для ресурсной безопасности являются более управляемыми, чем они могут оказаться на самом деле. Он отметил, что анализ, основанный исключительно на средних значениях, может не учитывать положение именно тех групп населения, которые наиболее уязвимы перед будущими изменениями.

Понимание динамики

Учёные подчёркивают, что прогнозы, касающиеся будущей доступности ресурсов, неизбежно сопряжены со значительной неопределённостью. Неопределённость является неотъемлемой частью моделирования глобальной экономики и ресурсных систем. Тем не менее, по их мнению, подобные прогнозы позволяют получить более детальное представление о возможных социальных и экономических условиях в 2050 г., чем это было возможно ранее.

По словам Моррис, такие исследования, как минимум, позволяют выявить потенциально проблемные области и показать, что характер и масштабы этих проблем могут существенно различаться в разных регионах мира. Она отметила, что одним из результатов подобных исследований становится возможность картировать выявленные проблемы и предоставить соответствующую информацию, которая может использоваться для определения направлений дальнейших исследований в конкретных регионах и проблемных областях.

Исследователи также считают, что полученные результаты могут стать новым ориентиром для политиков, занимающихся вопросами долгосрочной ресурсной обеспеченности населения. Помимо получения новых прогнозных оценок, разработанный подход позволяет аналитикам и политикам определить, какие факторы в наибольшей степени влияют на будущие результаты, связанные с доступностью ресурсов.

По словам Кима, разработанный исследователями метод предназначен не для прогнозирования наиболее вероятного варианта будущего, а для выявления условий, которые могут привести к различным результатам в сфере ресурсной безопасности.

Моррис отметила, что такой подход существенно отличается от традиционных методов анализа подобных проблем. По её словам, разработанная методология представляет интерес благодаря широкому спектру возможных применений.

Азия

Как обрушение ледника превращается в смертоносный поток грязи и воды? Эксперт объясняет, что произошло в Непале⁷

Обрушение ледника в Тибете вызвало мощный поток воды и обломков, который пронёсся по долине в Непале, унеся жизни сотен людей. Ещё несколько сотен человек до сих пор числятся пропавшими без вести.

Стюарт Даннинг — профессор прикладной геоморфологии, специализирующийся на снижении риска стихийных бедствий в высокогорных районах. Он подробно исследовал последствия катастрофы в Чамоли в 2021 г. — события, во многом схожего с нынешним бедствием. Даннинг входит в неформальную группу, объединяющую более 50 международных экспертов, которые обмениваются знаниями и проводят оперативный анализ подобных событий.

Издание «The Conversation» задало ему вопросы о научных аспектах произошедшего и о том, чего следует ожидать в будущем.

Что именно произошло — и как обрушение ледника могло вызвать столь мощное наводнение?

Точная последовательность событий, приведших к распространению вниз по течению огромного количества воды и обломков, до сих пор остаётся предметом исследования. Существует несколько возможных версий. Согласно одной из них, крупный обвал коренных пород увлёк за собой ледник. Другая предполагает, что обвал коренных пород дестабилизировал ледник, после чего тот вскоре обрушился. Согласно ещё одной версии, сначала обрушился ледник, а затем — расположенные над ним коренные породы.

По-моему, наиболее точное описание заключается в следующем: каменно-ледяная лавина началась на высоте около 4 800 метров и прошла более 1 200 метров. В начальной массе обвала содержалось достаточно льда — и, возможно, его количество увеличивалось по мере движения, —

⁷ Источник: How does a collapsing glacier turn into a lethal wall of mud and water? An expert explains what happened in Nepal / <https://theconversation.com/how-does-a-collapsing-glacier-turn-into-a-lethal-wall-of-mud-and-water-an-expert-explains-what-happened-in-nepal-290677> Опубликовано 27.08.2026

чтобы образовавшаяся вода превратила лавину в разрушительный селевой поток, способный распространяться на значительное расстояние. Такой поток может наносить гораздо больший ущерб, чем сухая каменная лавина.

Поток двигался вниз по руслу реки, пополняясь водой. По мере продвижения он, вероятно, размывал дно и склоны долины, захватывая дополнительный материал. Ниже по течению этот материал, вероятно, откладывался на поверхности.

Как назвать это явление? Это наводнение, вызванное прорывом ледникового озера, оползень, ледяная лавина — или что-то другое?

Я вхожу в группу из более чем 50 экспертов по стихийным бедствиям, которые обсуждают, как правильно классифицировать и называть это событие. Легко понять, почему в первых сообщениях предполагалось, что речь идёт о наводнении, вызванном прорывом ледникового озера (GLOF): это, пожалуй, наиболее известный источник подобных каскадных явлений. Однако в данном случае ледникового озера не было.

Пока я называю это событие «каскадом опасных процессов» или «цепочкой процессов». Оно началось с оползня, состоявшего из горных пород и льда, объём которого пока точно не установлен. Значительная часть льда растаяла в результате дробления и выделения тепла из-за трения. В других подобных случаях мы обнаруживали в отложениях округлые фрагменты льда, которые переносились вместе с оползнем, а затем таяли значительно позже.

Что спутниковые снимки могут рассказать о том, что произошло — как до, так и после события?

Спутниковые снимки играют неоценимую роль в формировании общей картины того, где началось наводнение — что на первых этапах часто остаётся неизвестным из-за удалённости и труднодоступности местности, — и куда оно распространилось. Поскольку спутниковые данные нередко обновляются ежедневно, они позволяют выявлять вторичные угрозы, такие как скопление воды за завалами, создающее риск новых внезапных наводнений, или обширные участки отложений, которые могут быть неустойчивыми.

Именно сочетание наземных данных — фотографий и видеозаписей — с сейсмическими данными позволяет определить скорость движения потока, его глубину и степень насыщенности водой. Затем эти данные сопоставляются со спутниковыми наблюдениями, охватывающими обширную территорию.

Как изменение климата влияет на угрозы, исходящие от гималайских ледников?

В целом ледники становятся всё тоньше и отступают. В результате по всему Гималайскому региону формируются ледниковые озёра — хотя к данному событию они отношения не имеют, — а склоны зачастую становятся нестабильными. К этому добавляется оттаивание вечной мерзлоты, которую иногда называют «клеем», скрепляющим горные породы.

Таким образом, изменение климата играет определённую роль — возможно, всё более значительную — наряду с другими факторами, повышающими вероятность таких событий. К ним относятся повреждение горных пород в результате землетрясений и быстрое поднятие гор, которые сила тяжести постоянно стремится обрушить. Кроме того, последствия подобных явлений становятся всё более серьёзными из-за того, что в этих регионах сейчас проживает больше людей, чем когда-либо прежде.

Существует ещё больше подобных зафиксированных каскадов опасных процессов. Однако экстремальные события по своей природе являются редкими, а наши знания о прошлом далеко не всегда достаточно полны. Поэтому мы не можем с абсолютной уверенностью утверждать, что уже пройден определённый порог и что в будущем нас ожидает больше бедствий такого рода или событий ещё большего масштаба.

Что сделало это событие столь разрушительным — и что могло бы сделать его менее смертоносным?

События превращаются в бедствия, когда их последствия выходят за пределы возможностей людей и инфраструктуры справиться с ними. Мало что могло устоять перед стеной грязи, камней и воды, двигавшейся с такой скоростью. Под угрозой оказалась вся жизнь на дне долины, а также на нижних участках склонов, где поток, огибая повороты, распространялся в стороны.

Над ледниками Аляски регулярно происходят каменные лавины. Некоторые из них проходят несколько километров. Однако они не превращаются в полностью водонасыщенные потоки, а в расположенных непосредственно ниже долинах практически нет населённых пунктов. В Гималаях ситуация иная: крутые, отступающие ледники находятся в непосредственной близости от населённых районов.

Что люди и власти сделали правильно, а что в следующий раз можно было бы сделать по-другому?

Снизить риск, связанный с цепной реакцией опасных процессов, вызванной оползнем, сложнее, чем, например, в случае наводнения, вызванного прорывом ледникового озера. При таком наводнении известно, где находится источник угрозы, и примерно понятен объём воды, который может высвободиться. Поэтому заранее можно смоделировать возможные пути распространения потока и нанести их на карту.

В этом регионе насчитываются тысячи потенциально опасных склонов, поэтому отслеживать их состояние и прогнозировать возможные обрушения крайне сложно. Пока мы не обнаружили каких-либо явных предвестников этого события.

Непальские специалисты сделали всё, что было в их силах. В регионе существовал гидрологический пост, который фиксировал сток из нескольких долин, однако невозможно отслеживать каждый ручей. Насколько я понимаю, когда было зафиксировано стремительное повышение уровня воды, были разосланы предупреждения.

При землетрясении существуют простые и понятные рекомендации по действиям во время толчков. А как действовать в случае таких событий? У одних людей на принятие решения будут считанные минуты, у других — несколько часов. Кому-то следует просто добраться до высокого бетонного здания, тогда как для других ближайшее здание может оказаться небезопасным — в этом случае необходимо подниматься выше по склону. Поэтому рекомендации для людей, находящихся ближе всего к источнику опасности, должны учитывать множество нюансов.

Одно из возможных решений — увеличить время, которым люди располагают для принятия мер. Сейсмический «шум» может охватывать обширные территории, поэтому в настоящее время ведётся работа над методами максимально быстрой интерпретации этих сигналов, позволяющими отличать землетрясения от оползней. При этом известно, что и само наводнение может генерировать сейсмические сигналы.

Я считаю, что именно в этой сфере можно добиться значительных успехов, сочетая такие технологии с целенаправленным мониторингом на местах и работой с уязвимыми группами населения в районах, испытывающих сильное антропогенное воздействие и активно используемых для жилищного строительства, сельского хозяйства, а зачастую и для строительства гидроэлектростанций. Мы также должны признать, что некоторые территории просто слишком опасны для проживания.

Центральная Азия должна подготовиться к грядущему климату⁸

Тарик Саиди и Эльвира Кадырова

Новое исследование Организации Объединённых Наций преподнесло неприятный вывод: достижение главной климатической цели мира уже невозможно предотвратить — остаётся лишь управлять последствиями.

2 сентября 2026 г. Программа ООН по окружающей среде (ЮНЕП) опубликовала доклад «Ограничение превышения» (Limiting Overshoot), в котором прямо утверждается: в ближайшие несколько лет глобальное потепление преодолеет порог в 1,5 °C относительно доиндустриального уровня. Это отличается от прежних оценок ООН, в которых всё ещё говорилось о сужающемся, но пока открытом окне возможностей для полного предотвращения этого нарушения.

Даже при самом оптимистичном из смоделированных сценариев — требующем немедленного и небывалого ускорения сокращения выбросов — температура всё равно достигнет пика примерно на отметке 1,8 °C, прежде чем во второй половине этого века начнётся её снижение обратно к 1,5 °C. При текущей же политике связанный с этим Доклад ЮНЕП о разрыве в уровнях выбросов за 2025 год прогнозирует вероятное потепление в этом столетии до 2,8 °C.

Главный посыл доклада заключается не в том, что цель в 1,5 °C утратила смысл. Каждая десятая доля градуса дополнительного потепления имеет колоссальное значение. Однако теперь мир должен одновременно готовиться к последствиям, избежать которых становится всё труднее.

Для Центральной Азии это следует воспринимать как стратегическое предупреждение.

Регион не может позволить себе роскошь относиться к изменению климата как к отдалённой экологической проблеме. Центральная Азия — это засушливый регион, не имеющий выхода к морю, чья экономика, населённые пункты и продовольственные системы находятся в глубокой зависимости от ограниченных и всё более нестабильных запасов воды. На орошаемое сельское хозяйство приходится около 90 процентов забора пресной воды в бассейне Аральского моря, который делят между собой все пять государств Центральной Азии. Большая часть речного стока в регионе

⁸ Источник: <https://www.newscentralasia.net/2026/09/07/centralnaya-aziya-dolzha-podgotovitsya-k-gryadushchemu-klimatu/> Опубликовано 7.09.2026

берет начало в высоких горах Кыргызстана и Таджикистана, в то время как основная часть воды потребляется на орошаемых равнинах Узбекистана, Туркменистана и юга Казахстана.

Таким образом, изменение климата грозит выйти далеко за рамки глубоко экологической проблемы. На карту поставлены продовольственная и энергетическая безопасность, экономическая стабильность, миграционные процессы и, в конечном счёте, безопасность всего региона.

Первая угроза: водная система теряет предсказуемость

Горы Центральной Азии служат естественными водонапорными башнями региона. Снега и ледники аккумулируют воду и постепенно питают ею реки.

Однако этот механизм накопления дает сбой. И свежие научные данные позволяют описать эту опасность гораздо точнее, чем раньше.

Глациологическая оценка Тянь-Шаня, проведенная в 2026 году, фиксирует повсеместную и ускоряющуюся потерю массы ледников, стремительное расширение ледниковых озёр и контрасты в поведении стока от бассейна к бассейну. Отдельное исследование, опубликованное в журнале *Water Resources Research*, прогнозирует: к 2100 году ледники Тянь-Шаня потеряют от 69 до 93 процентов своего нынешнего объёма. Что критически важно, согласно этой модели, сток за счёт таяния продолжит расти до достижения так называемого «пика воды» (peak water) — в зависимости от бассейна, это произойдет между 2026 и 2042 годами. После этого талая ледниковая подпитка начнет необратимо сокращаться.

В плане стратегического планирования этот временной горизонт имеет принципиальное значение: вполне возможно, регион прямо сейчас переживает завершающую фазу относительного изобилия талых вод, а самые жесткие испытания ждут его впереди, а не остались позади.

Это означает, что Центральной Азии пора сменить вектор вопросов. Вместо вопроса: «Сколько воды у нас будет?» — всё чаще должен звучать другой: «Насколько предсказуемым окажется наше водоснабжение от года к году?»

И это различие имеет ключевое значение. Сельское хозяйство, гидроэнергетика, системы питьевого водоснабжения, промышленность и градостроительство зависят не просто от среднегодовых объёмов воды, но и от точных сроков её поступления. Река, которая в среднем даёт достаточно воды, но приносит её несвоевременно, всё равно способна спровоцировать экономический кризис.

Вторая угроза: глубинная взаимосвязь воды и энергетики

Климатический вызов для Центральной Азии невозможно строго разделить на «водный» и «энергетический» секторы.

Страны верховья — Таджикистан и Кыргызстан — обладают колоссальным гидроэнергетическим потенциалом. Экономика государств низовья напрямую зависит от орошения, а также эксплуатирует тепловые электростанции, требующие воды для охлаждения. Да и само ирригационное хозяйство поглощает огромные объёмы электроэнергии для работы насосных станций.

Всемирный банк в рамках Программы по водным и энергетическим ресурсам в Центральной Азии (CAWEP) — партнёрского проекта с Европейским союзом, Швейцарией и Великобританией, вступившего уже в четвёртую фазу, — характеризует управление водными и энергетическими ресурсами региона как единую, неразрывно связанную проблему. Эксперты отмечают: хотя каждое государство официально обладает суверенитетом над своими национальными водными ресурсами, практическая регулировка объёмов и режимов стока всё ещё опирается на размытые региональные соглашения советских времён. При этом механизмы компенсации экономических потерь от решений по управлению водохранилищами остаются незрелыми, пусть даже реформы последних лет — включая схемы обмена электроэнергии на воду в районе Токтогульского водохранилища — и принесли заметные улучшения.

Более нестабильный климат рискует оголить оставшиеся уязвимости.

Засушливый год способен обострить конкуренцию между ирригацией и гидроэнергетикой. Запредельно водный — поднять угрозу наводнений. А резкая смена режима работы водохранилищ может принести выгоду одной стране, переложив финансовые и ресурсные издержки на другую.

Опасность заключается вовсе не в том, что страны Центральной Азии стремятся к конфликтам из-за воды. Куда реальнее и страшнее другой риск: климатическая турбулентность может сделать существующие компромиссы попросту нежизнеспособными.

Третья угроза: экстремальные явления могут стать разрушительнее средних показателей

Дискуссии о климате часто вращаются вокруг роста средних температур. Однако для Центральной Азии куда более критичными могут оказаться именно аномалии и пиковые значения.

Высокие температуры усиливают испарение, подстёгивают потребности в орошении и усугубляют засуху. В то же время стремительное тая-

ние снегов и ледников, проливные дожди и нестабильность горных склонов взвинчивают риски паводков, селей и прорывов ледниковых озёр.

Всемирный банк назвал масштабы этой уязвимости. По его оценкам, ежегодно от штормов, наводнений, оползней и землетрясений в Центральной Азии страдают более трёх миллионов человек.

Согласно долгосрочным прогнозам Банка, ежегодная вероятность засух в Таджикистане к концу века может вырасти примерно в десять раз — превысив 30 процентов. В то же время число жителей Казахстана, подверженных риску сильных речных наводнений, в ближайшие два десятилетия подскочит на 72 процента.

Всё это указывает на то, что Центральной Азии предстоит готовиться к парадоксальному на первый взгляд будущему: избыток воды тогда, когда она меньше всего нужна, — и её острый дефицит в самый пик потребности.

Четвёртая угроза: сельское хозяйство под прицелом

Сельскохозяйственная модель Центральной Азии исторически строилась вокруг ирригации.

Именно орошение позволило превратить огромные массивы засушливых земель в продуктивные аграрные угодья. Но более тёплый и непредсказуемый климат меняет это уравнение.

Повышение температур увеличивает потребности сельскохозяйственных культур в воде. Засухи подрывают урожайность — по данным ПРООН, региональные засухи в пострадавших районах уже приводили к падению производства сельхозпродукции на 30–40 процентов. Ускоряется деградация почв: более трети орошаемых земель Центральной Азии в той или иной степени подвержены засолению. При этом экстремальная жара способна уничтожить урожай даже там, где поливной воды хватает с избытком.

Опасность заключается не просто в снижении объёмов производства. Главная угроза — растущая неопределённость. Фермеры теряют возможность эффективно планировать свою работу, когда грань между успешным сезоном и катастрофическим всё сильнее зависит от капризов погоды.

Это обстоятельство неизбежно подтолкнет правительства к пересмотру того, что выращивать, где выращивать и сколько воды допустимо расходовать на те или иные культуры. Эффективность использования каждого кубометра воды со временем станет куда важнее простого расширения посевных площадей.

Пятая угроза: климатический фактор как мультипликатор рисков безопасности

Центральная Азия уже сталкивалась с последствиями катастрофических экологических сдвигов. Трагедия Аральского моря наглядно показала: разрушение окружающей среды влечёт за собой последствия, выходящие далеко за рамки экологии, — отмирая, экосистемы подрывают привычный уклад жизни, подкашивают здоровье людей, провоцируют миграцию и тормозят развитие целых регионов.

Изменение климата способно воспроизвести эту цепочку, но уже в значительно бóльших масштабах. Дефицит воды бьёт по доходам аграриев. Падение уровня жизни в сельской местности подстёгивает отток населения в города. Стремительная урбанизация создаёт колоссальную нагрузку на жилой фонд, рынок труда, городское водоснабжение и социальную инфраструктуру. Параллельно с этим борьба за скудеющие ресурсы способна обострить уже существующие социальные и политические противоречия.

Именно поэтому изменение климата всё чаще стоит рассматривать не как изолированный вызов, а как мощный мультипликатор рисков безопасности (security multiplier).

ПРООН называет Ферганскую долину, где на стыке Кыргызстана, Таджикистана и Узбекистана проживает почти 30 процентов населения всей Центральной Азии, наиболее острой трансграничной «горячей точкой» климатической безопасности. На давние споры вокруг доступа к земле и воде здесь накладывается целая обойма экологических бедствий: засухи, аномальная жара, дефицит воды, деградация почв и пыльные бури. Программа развития ООН, Конвенция ООН по борьбе с опустыниванием и ЮНЕП в партнерстве с Евросоюзом уже запускают там пилотные программы раннего оповещения и повышения устойчивости местных сообществ, однако сами участники признают: эти инициативы пока находятся на ранних стадиях и носят лишь локальный характер.

Так что же делать Центральной Азии?

Пожалуй, главный сдвиг должен произойти в мышлении.

Правительствам стран Центральной Азии стоит переосмыслить подход к климатической политике и перестать строить её на оптимистичном допущении, будто мировому сообществу удастся удержать потепление в пределах 1,5 °C.

Безусловно, региону следует и дальше поддерживать глобальные усилия по снижению выбросов — каждая спасённая десятая доля градуса играет огромную роль, а моделирование ЮНЕП показывает: разница между пиковыми 1,8 °C и куда более катастрофическими сценариями всё ещё

зависит от того, насколько резко мир сократит выбросы в текущем десятилетии.

Однако адаптация к новым реалиям должна стать стратегическим приоритетом и восприниматься как элемент базовой инфраструктуры.

Здесь отчетливо выделяются пять ключевых приоритетов.

1. Создать Центральноазиатскую систему водной разведки

Региону необходима по-настоящему интегрированная система мониторинга ледников, снежного покрова, водохранилищ, подземных вод, речного стока и погоды с обменом данными в режиме, близком к реальному времени. Главная цель — перейти от запоздалого реагирования на водные кризисы к их прогнозированию на месяцы и годы вперёд.

Региональные проекты под эгидой ПРООН уже закладывают основу для гармонизированного мониторинга криосферы и трансграничного обмена данными, включая учебные пилотные тренинги по системам раннего оповещения в Ферганской долине. Однако с учётом того, что бассейны Тянь-Шаня стремительно приближаются к «пику воды» или уже проскочили его, эту работу нужно безотлагательно переводить из формата пилотов в статус постоянной региональной инфраструктуры.

2. Превратить эффективное водопользование в приоритет национальной безопасности

Самый дешевый источник новой воды — это та вода, которую удалось сэкономить.

Современная ирригация, реконструкция магистральных каналов, капельное орошение, грамотный подбор культур, тотальный учёт водопотребления, ликвидация утечек и рачительное управление подземными водами должны стать задачами стратегического уровня. Успех сельского хозяйства в регионе пора измерять не просто тоннами урожая с гектара, а добавленной стоимостью, полученной с каждого использованного кубометра воды.

3. Готовить инфраструктуру к экстремальным нагрузкам, а не к средним показателям

Дороги, мосты, плотины, электростанции, ирригационные сети, города и промышленные объекты необходимо подвергнуть стресс-тестам с учётом будущих климатических аномалий.

Инфраструктура, спроектированная в расчёте на нормы осадков, температур и речного стока XX века, может не выдержать реалий XXI столетия — и долгосрочные прогнозы Всемирного банка по рискам наводнений в Казахстане делают эту угрозу более чем предметной.

Особенно острая ситуация складывается в горных районах, где отступление ледников и смена характера осадков порождают коварные комбинации рисков: от паводков до оползней и селевых потоков.

4. Выстроить региональную сеть раннего оповещения о климатических бедствиях Паводок или прорыв ледникового озера не признают государственных границ. Не признает их и засуха.

Региону нужны единые механизмы раннего оповещения, способные мгновенно передавать данные через границы и доводить их напрямую до уязвимых общин. Пилотные программы в Ферганской долине уже доказали жизнеспособность этой модели; теперь задача состоит в том, чтобы масштабировать её на весь регион и обеспечить устойчивое, постоянное финансирование, уйдя от практики краткосрочных грантовых проектов.

5. Превратить водное сотрудничество в климатическую дипломатию

Возможно, самый ответственный шаг лежит в политической плоскости.

Застарелые споры о том, кому принадлежат те или иные водные ресурсы, становятся всё более бесперспективными. Главный вопрос отныне должен звучать иначе: «Как региону сообща управлять водной системой, чье поведение становится всё менее предсказуемым?»

Это потребует более совершенных механизмов обмена гидрологическими данными, координации работы водохранилищ, компенсации экономических издержек при размежевании интересов воды и энергетики, а также совместного планирования на случай засух и паводков. Программа SAWEP уже движется в этом направлении, и её четвертая фаза — при поддержке Швейцарии, ЕС и Великобритании — дает правительствам Центральной Азии готовую площадку для углубления диалога, избавив от необходимости изобретать велосипед. Однако масштаб вызова требует, чтобы подобное сотрудничество переросло рамки сугубо технических программ и вошло в самую сердцевину стратегического планирования стран Центральной Азии.

Три возможных сценария будущего

Возможно, Центральной Азии следует выстраивать стратегическое планирование исходя из трех основных сценариев.

Сценарий первый: Управляемая адаптация Регион осознаёт неизбежность потепления и заблаговременно инвестирует в эффективное водопользование, возобновляемую энергетику, устойчивую инфраструктуру, трансформацию агросектора, системы раннего оповещения и региональное сотрудничество. Изменение климата обходится дорого, но ситуация остаётся под контролем.

Сценарий второй: Фрагментарная адаптация Отдельные государства вкладываются в собственную водную инфраструктуру, сельское хозяйство и энергоснабжение без должной координации с соседями. Некоторые страны повышают свою устойчивость, однако трансграничная напряжённость возрастает, поскольку каждый игрок начинает защищать исключительно собственную водную и энергетическую безопасность.

Сценарий третий: Климатический стресс Повторяющиеся засухи, аномальная жара, наводнения и сокращение объема ледников накладываются на рост населения и бесхозяйственное расходование воды. Убытки в сельском хозяйстве растут, отток населения из сельской местности ускоряется, а соперничество за воду и энергию всё сильнее политизируется.

В таком сценарии изменению климата вовсе не обязательно становиться прямой причиной конфликта. Ему достаточно лишь сделать каждую из существующих проблем несоизмеримо более сложной для решения.

Стратегическое окно возможностей

Впрочем, на эту проблему можно взглянуть и с другой стороны.

Центральная Азия вовсе не бессильна. Та самая география, что делает регион уязвимым, одновременно открывает перед ним колоссальные возможности: внушительный потенциал солнечной и ветровой энергии, масштабные гидроресурсы, всё более важную роль связующего звена между ключевыми экономическими центрами, а также широкие перспективы для развития современного сельского хозяйства, генерации ВИЭ, региональной торговли электроэнергией и создания климатически устойчивой инфраструктуры.

Таким образом, климатический вызов способно превратиться в мощный катализатор экономической модернизации.

Рачительное водопользование в агросекторе поднимет производительность труда.

Возобновляемая энергетика снизит нагрузку на тепловые станции, требующие огромных объёмов воды для охлаждения. Развитие региональной торговли электроэнергией — с опорой на дискуссии министров энергетики стран Центральной Азии о реанимации элементов единой энергосистемы советских времён — позволит гидроэнергетике и солнечной генерации гармонично дополнять друг друга. Модернизированные города станут устойчивее к аномальной жаре. Цифровой мониторинг превратит управление водными ресурсами в высокотехнологичный процесс, основанный на точных данных. Наконец, совместная климатическая повестка способна стать одним из самых практичных

Главный урок предупреждения ООН

Суть новой оценки ЮНЕП заключается вовсе не в том, что человечество «проиграло» битву за климат. Эту упрощённую формулировку стоит отбросить.

Главный посыл доклада в другом: допущения и ориентиры, на которых строилось вчерашнее планирование, безнадежно устаревают.

Для Центральной Азии этот урок предельно очевиден. Региону не стоит дожидаться момента, когда ледники окончательно растают, водохранилища окажутся под небывалым давлением, урожаи сгорят, а люди начнут покидать родные места, чтобы наконец приступить к всерьёз продуманной адаптации.

Готовиться нужно прямо сейчас — пока ещё есть достаточный запас воды, финансовых ресурсов, инфраструктурной прочности и политического пространства для принятия взвешенных и последовательных решений.

Будущее, к которому предстоит готовиться Центральной Азии, — это не обязательно катастрофа.

Но это совершенно точно климат с куда большей амплитудой колебаний и турбулентностью. А управляемой эта турбулентность становится лишь тогда, когда её ждут и просчитывают заранее.

Поэтому перед странами Центральной Азии стоит четкий выбор: ждать, пока климат насильно принудит их к адаптации, — или начать адаптироваться уже сегодня, пока они всё ещё способны сами диктовать условия этого перехода.

После приостановления: бассейн Инда и новая водная политика⁹

Уттам Кумар Синха

Период после приостановления действия Договора о водах Инда вывел управление бассейном реки Инд на пересечение вопросов водохозяйственной инфраструктуры, правовых механизмов, дипломатии и безопасности. Ключевой вопрос заключается в том, сможет ли Договор о водах Инда (IWT) и далее оставаться жизнеспособной основой водных отношений между Индией и Пакистаном.

Введение

Договор о водах Инда вступил в новую фазу после заявления Индии в апреле 2025 г. о приостановлении его действия. На протяжении более шести десятилетий Договор о водах Инда оставался редкой константой на фоне нестабильной истории индийско-пакистанских отношений. Его долговечность основывалась на институциональной предпосылке о том, что сотрудничество в бассейне реки Инд может быть отделено от более широких политических разногласий и вопросов безопасности между двумя государствами. Теперь эта основополагающая предпосылка оказалась под вопросом.

Реакция Пакистана в целом соответствовала устоявшимся моделям, хотя и отличалась большей интенсивностью. Правительство ссылалось на нормы международного права, подчеркивало необходимость соблюдения договорных обязательств, стремилось привлечь международное внимание, продолжало использовать предусмотренные Договором механизмы урегулирования споров, мобилизовало общественное мнение и всё чаще рассматривало вопросы водных ресурсов в контексте национальной безопасности. В апреле 2025 г. Комитет национальной безопасности Пакистана предупредил, что любая попытка остановить или перенаправить воды, предназначенные для Пакистана, будет рассматриваться как «акт войны». К июлю 2026 г. военное руководство Пакистана публично подтвердило свою приверженность принятию «всех необходимых мер» для обеспечения страны установленного объёма водных ресурсов.

⁹ Источник: Uttam Kumar Sinha. After Abeyance: Indus Basin and the New Water Politics / <https://www.natstrat.org/articledetail/publications/after-abeyance-indus-basin-and-the-new-water-politics-287.html> Опубликовано 9.09.2026

Договор, рожденный в период раздела

Для всестороннего понимания нынешних мер реагирования Пакистана необходимо рассмотреть конкретные положения и механизмы, закреплённые в Договоре о водах Инда.

Распространено мнение, что Индия и Пакистан договорились о разделе вод шести рек, при этом на долю Индии приходилось менее 20% общего объёма водных ресурсов бассейна Инда. Однако индийские инженеры, участвовавшие в переговорах, интерпретировали достигнутые договорённости иначе. Столкнувшись с необходимостью выработать справедливую формулу распределения водных ресурсов, они избрали гидрологически обоснованный подход, основанный на разделении бассейна. Логика Договора заключалась в установлении предсказуемых сфер использования водных ресурсов, а не в ежегодном распределении водных потоков.

В результате бассейн реки Инд был разделён на две группы, включавшие по три реки: западные реки — Инд, Джелум и Ченаб — и восточные реки — Рави, Биас и Сатледж. Индия последовательно добивалась полных и исключительных прав на использование вод восточных рек. За Индией было закреплено «неограниченное использование» вод восточных рек, тогда как Пакистану «предоставлялось для неограниченного использования» вод западных рек.

Среднегодовой сток западных рек составлял приблизительно 167,3 млрд м³, тогда как средний сток восточных рек — всего около 40,2 млрд м³, то есть примерно четверть объёма стока западных рек. Таким образом, около четырёх пятых среднегодового стока бассейна было отнесено к Пакистану. Такое распределение вызвало недовольство в Индии. Во время дебатов в Лок Сабхе 30 ноября 1960 г. несколько парламентариев утверждали, что с учётом площади водосборного бассейна Инда, расположенной на территории Индии, Индия имеет право примерно на 40% водных ресурсов бассейна.

Некоторые наблюдатели охарактеризовали такое разделение как «второй раздел», проводя параллель с территориальной и политической травмой, связанной с разделом Индии в 1947 г.

Индийские переговорщики прекрасно понимали, какие объёмы воды находились на кону, однако в первую очередь стремились обеспечить абсолютный и исключительный контроль над водами восточных рек. По мере продвижения переговоров Индия согласилась выплатить 62,06 млн фунтов стерлингов (83 крора рупий), чтобы гарантировать, что ни одна часть этих вод не будет направляться в Пакистан. Это финансовое обязательство стало предметом политических споров. Во время парламентских дебатов в

ноябре премьер-министр Джавахарлал Неру подвергся критике со стороны парламентариев, которые сочли соглашение чрезмерно щедрым и обвинили его в «финансовой безответственности».

Исключительный доступ к водам рек Восточного Пенджаба считался крайне важным для достижения сельскохозяйственных и экономических целей Индии. В частности, Восточному Пенджабу требовалось орошение около 607 тыс. га сельскохозяйственных земель, в то время как Индия одновременно реализовывала крупные ирригационные и гидроэнергетические проекты, такие как проект Бхакра и Раджастханский канал. Поэтому экономические и стратегические преимущества получения исключительных прав на воды восточных рек рассматривались как более значимые, чем финансовые издержки, связанные с соглашением. Кроме того, выплата в размере 62,06 млн фунтов стерлингов была разбита на десять траншей, выплачиваемых в период с 1961 по 1970 гг., что снижало непосредственную финансовую нагрузку на Индию.

Договор был заключён в 1950-х гг. — в период, когда население бассейна было значительно меньше, инфраструктура оставалась относительно слабо развитой, а вопросы изменения климата и отступления ледников практически не учитывались в политической повестке. Его институциональная сила основывалась на предположении, что техническое сотрудничество может продолжаться, несмотря на напряжённые политические отношения между двумя странами. Постоянная комиссия по Инду была создана для обеспечения реализации этого принципа.

Долговечность Договора не зависела от непрерывного политического сотрудничества между Индией и Пакистаном. Напротив, он сохранялся благодаря тому, что обе стороны придавали значение предсказуемым правилам, установленным процедурам и институциональной преемственности даже в периоды острой политической напряжённости. В этом отношении Договор изначально был намеренно более узким по своему охвату, чем двусторонние отношения в целом: он был сосредоточен на управлении водными ресурсами, а не на урегулировании политических разногласий. Однако эта обособленность никогда не была абсолютной, и меняющиеся стратегические, экологические и демографические факторы со временем всё более отчётливо выявляли ограничения Договора.

Дипломатическая стратегия Пакистана

Обеспокоенность Пакистана действиями Индии в бассейне реки Инд имеет давнюю историю и является частью более широкой стратегии, направленной на представление Индии в качестве агрессора, а Пакистана — в качестве уязвимого государства, расположенного ниже по течению. В 1952 г. первый министр иностранных дел Пакистана Зафрулла Хан вынес

спор о водах каналов на рассмотрение Совета Безопасности ООН, характеризуя регулирование Индией водных ресурсов как гуманитарный ущерб, наносимый пакистанским фермерам, и представляя верхнее прибрежное государство как обладающее возможностью лишить нижележащее государство средств к существованию. Такой подход привлёк значительное международное внимание.

Пять лет спустя Зульфикар Али Бхутто развил эту аргументацию. Выступая в Организации Объединённых Наций, он охарактеризовал лишение нижележащего по течению государства его прав на речные воды как форму «экономической агрессии» и предупредил, что вмешательство в поставки воды для орошения может представлять угрозу. В более недавний период посол Пакистана при ООН Асим Ифтихар Ахмад представил этот вопрос как проверку международной системы и принципа соблюдения договоров. В январе 2026 г. Пакистан использовал заседание Совета Безопасности по формуле Арриа, чтобы утверждать, что действия Индии являются не просто двусторонним вопросом, а затрагивают более широкую проблему надёжности международных соглашений. Заседания по формуле Арриа представляют собой неформальный формат работы Совета Безопасности ООН, позволяющий членам Совета взаимодействовать с внешними субъектами, негосударственными организациями или экспертами в рамках, отличающихся от официальных процедур заседаний Совета.

На протяжении десятилетий Пакистан исходил из того, что его главное дипломатическое преимущество заключается не в способности превзойти Индию в технических вопросах строительства плотин или водохранилищ, а в возможности представить двусторонние инженерные споры как более широкие морально-правовые вопросы. Эта стратегия опирается на то обстоятельство, что, будучи государством, расположенным ниже по течению, Пакистан может представлять себя как уязвимую и зависимую от водных ресурсов сторону. В этом контексте Индии необходимо учитывать нарративное и стратегическое значение, которое вода приобретает в двусторонних отношениях.

Что изменится после апреля 2025 года?

Заявление Индии о приостановлении действия Договора после теракта в Пахалгаме коренным образом изменило политический и стратегический контекст его реализации. Приостановление действия Договора предоставляет Индии большую политическую гибкость в освоении и использовании водных ресурсов, которые ранее регулировались его положениями. Однако это решение нередко ошибочно интерпретируется как предоставление Индии возможности манипулировать речным стоком или существенно изменять его объёмы, особенно в западных реках.

Существующие проекты, включая Салал, Баглихар, Дулхасты, Кишенгангу и Ниму-Базго, а также более новые проекты — Пакал-Дул, Ратле, Киру и Квар, — формируют значительный комплекс гидротехнической инфраструктуры в верховьях рек. Их значение заключается в совокупном потенциале для расширения возможностей Индии по хранению, регулированию и использованию водных ресурсов, а также по развитию русловых гидроэлектростанций на западных реках.

Эти события усилили обеспокоенность Пакистана и помогают объяснить масштаб его реакции. В июне 2026 г. Министерство иностранных дел Пакистана заявило, что Индия не консультировалась с Пакистаном по поводу соответствующих проектов, охарактеризовав их как попытки «использовать воду в качестве оружия» и предупредив, что Пакистан сохраняет за собой все возможности для защиты своих водных прав. Основная обеспокоенность Пакистана выходит за рамки текущих объёмов водных ресурсов и касается потенциальной возможности Индии существенно расширить свои возможности по регулированию стока в верховьях рек и влиять на сроки и характер будущего стока.

Правовое противостояние

Приостановление действия Договора не прекратило функционирование предусмотренного им механизма урегулирования споров. Напротив, оно сместило акцент на вопросы толкования Договора, юрисдикции и легитимности процедур, применяемых для его толкования и разрешения возникающих разногласий. Этот спор возник ещё до объявления о приостановлении действия Договора. Индия и Пакистан уже расходились в позициях по вопросам, связанным с гидроэлектростанциями Кишенганга и Ратле. Пакистан добивался рассмотрения спора Арбитражным судом, тогда как Индия выступала за назначение нейтрального эксперта. В конечном итоге Всемирный банк разрешил продолжение обоих процессов, несмотря на опасения относительно практических трудностей, связанных с параллельным ведением двух разбирательств. Сам Договор предусматривает различные механизмы урегулирования для разных категорий вопросов: рассмотрение «разногласий» Постоянной комиссией по Инду, обращение к нейтральному эксперту по определённым вопросам и, при определённых обстоятельствах, рассмотрение «споров» Арбитражным судом. Значение этих различий возросло после апреля 2025 г. Арбитражный суд продолжил рассмотрение дела, несмотря на отказ Индии участвовать в разбирательстве. В августе 2025 г. было вынесено решение по вопросам толкования Договора, за которым последовало решение по запросу Пакистана о разъяснении этого решения. В мае 2026 г. было вынесено ещё одно решение,

касавшееся максимальных объёмов водохранилищ на индийских гидроэлектростанциях.

Индия отвергла легитимность этого процесса, утверждая, что Арбитражный суд был создан в нарушение положений Договора об урегулировании споров и что соответствующие вопросы должны быть сначала рассмотрены с использованием механизма нейтрального эксперта. Пакистан, напротив, настаивает на том, что арбитражное разбирательство сохраняет силу и что предусмотренные Договором процедуры урегулирования споров по-прежнему обязательны для Индии. Это привело к необычной институциональной ситуации. Индия исходит из того, что действие Договора приостановлено, тогда как Пакистан продолжает использовать предусмотренные им правовые механизмы. Обе стороны придерживаются принципиально разных интерпретаций текущего статуса Договора. Пакистан заинтересован в продолжении разбирательства, поскольку оно предоставляет ему возможность обосновывать свои правовые претензии и подтверждать позицию о том, что Договор сохраняет силу. Напротив, Индия заинтересована в оспаривании этого разбирательства, поскольку его продолжение без учёта индийских возражений может укрепить интерпретацию Договора, которую Нью-Дели больше не принимает.

Таким образом, маловероятно, что юридический спор утихнет исключительно вследствие приостановления формального договорного сотрудничества. Напротив, спор сместился от толкования отдельных положений, касающихся конкретных проектов, к более широким вопросам юрисдикции, процедур и сохранения правового статуса Договора.

От дипломатии к секьюритизации

Пожалуй, наиболее значимым изменением в реакции Пакистана стало представление водных ресурсов как вопроса национальной безопасности. Комитет национальной безопасности Пакистана чётко обозначил эту позицию в апреле 2025 г., назвав водные ресурсы «жизненно важными национальными интересами» и предупредив, что любая попытка остановить или изменить направление стока, предназначенного для Пакистана, будет рассматриваться как «акт войны». С тех пор такая трактовка вышла за рамки гражданского политического дискурса. В июле 2026 г. Конференция командующих корпусами под председательством фельдмаршала Аси-ма Мунира подтвердила приверженность военного руководства «принятию всех необходимых мер для защиты прав Пакистана на воду».

Этот сдвиг размывает границу между управлением водными ресурсами и национальной безопасностью. Зависимость Пакистана от бассейна реки Инд в таких сферах, как сельское хозяйство, ирригация, энергетика и продовольственная безопасность, на протяжении десятилетий делала вод-

ные ресурсы центральным элементом национальной устойчивости страны. Когда расположенная выше по течению инфраструктура рассматривается с точки зрения безопасности, технические вопросы, связанные с плотинами, водохранилищами и гидроэнергетикой, приобретают стратегическое и потенциально военное значение. Такая динамика создаёт классическую дилемму безопасности: Индия может воспринимать расширение инфраструктуры на западных реках как увеличение своих возможностей по использованию водных ресурсов, тогда как Пакистан может интерпретировать те же изменения как расширение возможностей для оказания давления. Риск заключается в том, что управление водными ресурсами, вместо того чтобы оставаться сферой урегулирования двусторонних разногласий, превращается в ещё одну арену более широкого стратегического соперничества.

Стратегия интернационализации

Пакистан, вероятно, будет активизировать усилия по интернационализации спора. Двусторонний формат противостояния может создавать преимущества для Индии как государства, расположенного выше по течению, тогда как вынесение вопроса на международный уровень позволяет Пакистану апеллировать к более широким принципам договорного права, интересам государств, расположенных ниже по течению, и вопросам международной безопасности. Цель заключается не обязательно в создании внешнего механизма, способного обязать Индию направлять воду в сторону Пакистана, а скорее в установлении более жёстких политических и репутационных ограничений на реализацию Индией своих прав и возможностей как государства, расположенного выше по течению. Такая динамика помогает объяснить продолжающееся взаимодействие Пакистана с Организацией Объединённых Наций, Всемирным банком, арбитражными механизмами и международными дипломатическими форумами.

Такой подход имеет исторические прецеденты. Как уже отмечалось, Пакистан неоднократно стремился рассматривать споры в бассейне Инда в более широком международном контексте, при этом риторика эволюционировала от обвинений в «бесчувственном» поведении в 1952 г. до обвинений в «экономической агрессии» в 1957 г. и, в более недавний период, до обеспокоенности соблюдением и устойчивостью международных соглашений. Поэтому Индии при выработке своей позиции необходимо учитывать международно-правовой аспект вопроса, а не рассматривать его исключительно как двусторонний политический спор.

Особенно важным аспектом позиции Индии является разграничение территориального суверенитета и основанных на Договоре прав на использование водных ресурсов. Статья IV (15) прямо предусматривает, что, за исключением случаев, прямо установленных Договором, его положения не

затрагивают существующие территориальные права на воды рек, их русла и берега, а также существующие права собственности, предусмотренные национальным законодательством. Договор регулирует использование водных ресурсов, но сам по себе не передаёт Пакистану территориальный суверенитет над реками.

Индия также должна последовательно подчёркивать, что трансграничный терроризм со стороны Пакистана, по её позиции, серьёзно подрывает условия, необходимые для достижения целей Договора, в частности закреплённый в преамбуле принцип сотрудничества, основанного на «доброй воле и дружбе». Чёткое разграничение этих аспектов позволило бы Индии формулировать свою позицию не как отказ от договорных обязательств или международного права, а как утверждение того, что основанные на Договоре права на использование вод действуют в рамках более широкой системы территориальных прав, государственных интересов и условий сотрудничества, предусмотренных самим Договором.

Проблема нехватки воды в Пакистане

Последствия приостановления действия Договора поднимают более фундаментальный вопрос о внутреннем управлении водными ресурсами в Пакистане. Договор о водах Инда обеспечил Пакистану относительно предсказуемый доступ к водам западных рек, однако предсказуемость водоснабжения не обязательно означает эффективное или устойчивое управление водными ресурсами. Пакистан сталкивается со структурными проблемами, включая рост населения, истощение запасов подземных вод, изменение климатических условий, старение ирригационной инфраструктуры, недостаточную эффективность водопользования и сохраняющуюся межпровинциальную конкуренцию за водные ресурсы. Всемирный банк также отмечает проблемы чрезмерной эксплуатации подземных вод, водозабора и необходимости повышения эффективности управления водными ресурсами. Показательным примером стал межпровинциальный диалог, созданный Министерством водных ресурсов Пакистана 17 февраля 2026 г. Представители федеральных и провинциальных органов власти обсудили краткосрочную и долгосрочную доступность воды в западных реках в связи с приостановлением действия Договора. Это показывает, что последствия ситуации рассматривались не только как внешняя угроза безопасности, но и с точки зрения внутреннего управления водными ресурсами.

Это подчёркивает важнейшее различие: обеспечение доступа к воде и гарантированное наличие достаточного объёма водных ресурсов — не одно и то же. Даже если Пакистан успешно отстоит свою позицию по Договору на международном уровне, более широкие проблемы водной безопасности сохранятся. Хотя Договор обеспечивает основу для распределе-

ния речных вод, он не способен сам по себе решить такие проблемы, как истощение запасов подземных вод, неэффективное орошение, недостаточные ёмкости водохранилищ, изменение структуры посевов или недостатки в управлении водными ресурсами.

Таким образом, Пакистан сталкивается с двумя взаимосвязанными, но различными проблемами: во-первых, с защитой доступа к водам западных рек и, во-вторых, с повышением эффективности и устойчивости управления водными ресурсами внутри страны. Первая проблема имеет высокую политическую значимость и может восприниматься как внешняя угроза, тогда как вторая требует проведения сложных реформ, затрагивающих методы орошения, использование подземных вод, ценообразование на воду, структуру сельскохозяйственных культур, накопление и хранение воды, межпровинциальное распределение водных ресурсов и институциональный потенциал. В долгосрочной перспективе более серьёзные риски для водной безопасности Пакистана могут быть связаны с внутренними факторами. Постоянный дефицит воды, недостатки в управлении и межпровинциальная конкуренция за водные ресурсы могут усиливать политическую и социальную напряжённость.

Что это значит для Индии?

Индия должна проявлять стратегическую сдержанность. Значение сложившейся ситуации заключается не в громких угрозах, а в том, что она предоставляет Индии время и политическое пространство для постепенного расширения возможностей по хранению, регулированию и использованию вод Инда в пределах прав, предусмотренных Договором. В этой связи Индии следует ускорить развитие необходимой инфраструктуры, укреплять гидроэнергетические и водохозяйственные мощности, а также совершенствовать сезонное регулирование стока, не принимая на себя обязательств, выходящих за рамки гидрологических возможностей. В этом контексте сложившаяся ситуация предоставляет Индии значительные временные возможности для наращивания инфраструктурного потенциала, которого ей исторически не хватало.

Более широкие последствия для Южной Азии также значительны. Будучи государством, расположенным выше по течению от Пакистана и Бангладеш и ниже по течению от Китая, Индия будет находиться под пристальным международным вниманием в связи с тем, как развиваются события в бассейне Инда и какой прецедент они могут создать. Устойчивая стратегия требует сочетания потенциала, доверия и сдержанности. Индии следует уделять приоритетное внимание наращиванию возможностей по использованию своих водных ресурсов, отстаивая свою позицию посредством чёткой правовой и дипломатической аргументации и избегая дей-

ствий, которые могут быть интерпретированы как использование водных ресурсов в качестве инструмента давления.

Заключение

Приостановление действия Договора о водах Инда означает нечто большее, чем просто приостановление шестидесятилетнего соглашения, регулирующего использование водных ресурсов. Водные ресурсы стали более явно интегрированы в стратегические отношения между Индией и Пакистаном, а сам Договор оказался в центре конкурирующих правовых, дипломатических и политических интерпретаций.

Главный вопрос заключается в том, какая институциональная структура сможет обеспечивать управление бассейном Инда в условиях, когда политические предпосылки, поддерживавшие действие Договора, коренным образом изменились. Хотя возвращение к прежнему равновесию представляется всё менее вероятным, это не означает полного отказа от правил или институциональных механизмов. Географические и гидрологические факторы будут по-прежнему связывать два государства бассейна независимо от политических разногласий. Задача заключается в выработке нового равновесия, которое позволит согласовать суверенные интересы и законные аспекты водной безопасности с меняющимися гидрологическими, экологическими и стратегическими реалиями бассейна Инда.

Америка

Что показывают данные за 40 лет о реках и подземных водах США¹⁰

Оливия Темпест

Исследование Геологической службы США показывает, что на большей части территории страны речной сток увеличивается, в то время как уровни подземных вод снижаются. При этом пространственное сопоставление данных позволяет выявить возможные причины такой разнонаправленной динамики.

На протяжении десятилетий гидрологи рассматривали подземные и поверхностные воды как взаимосвязанные компоненты единой водной системы. Вода, просачивающаяся в почву и горные породы, в конечном итоге может питать поверхностные водотоки, тогда как вода из рек и других поверхностных источников может поступать в расположенные ниже водоносные горизонты. По оценкам, подземный сток формирует примерно половину общего стока водотоков в Соединённых Штатах. Поэтому теоретически изменение уровня подземных вод должно отражаться и на динамике речного стока.

В новом исследовании, проведённом учёными Геологической службы США Закари К. Джонсоном из Вашингтонского центра водных наук, и Мишель А. Уолвурд из Управления водных ресурсов Геологической службы США, это предположение было проверено в масштабах всей страны. Результаты показали, что во многих регионах подземные и поверхностные воды развиваются в противоположных направлениях: увеличение речного стока может сопровождаться снижением уровня подземных вод.

Исследование, опубликованное в журнале *Environmental Research: Water* под названием «Как наверху, так и внизу? Тенденции изменения состояния подземных вод и речного стока в США в 1980–2020 гг.», стало первым исследованием, в котором была предпринята попытка провести систематический комплексный анализ долгосрочных тенденций в состоянии подземных вод и речном стоке на территории всей страны.

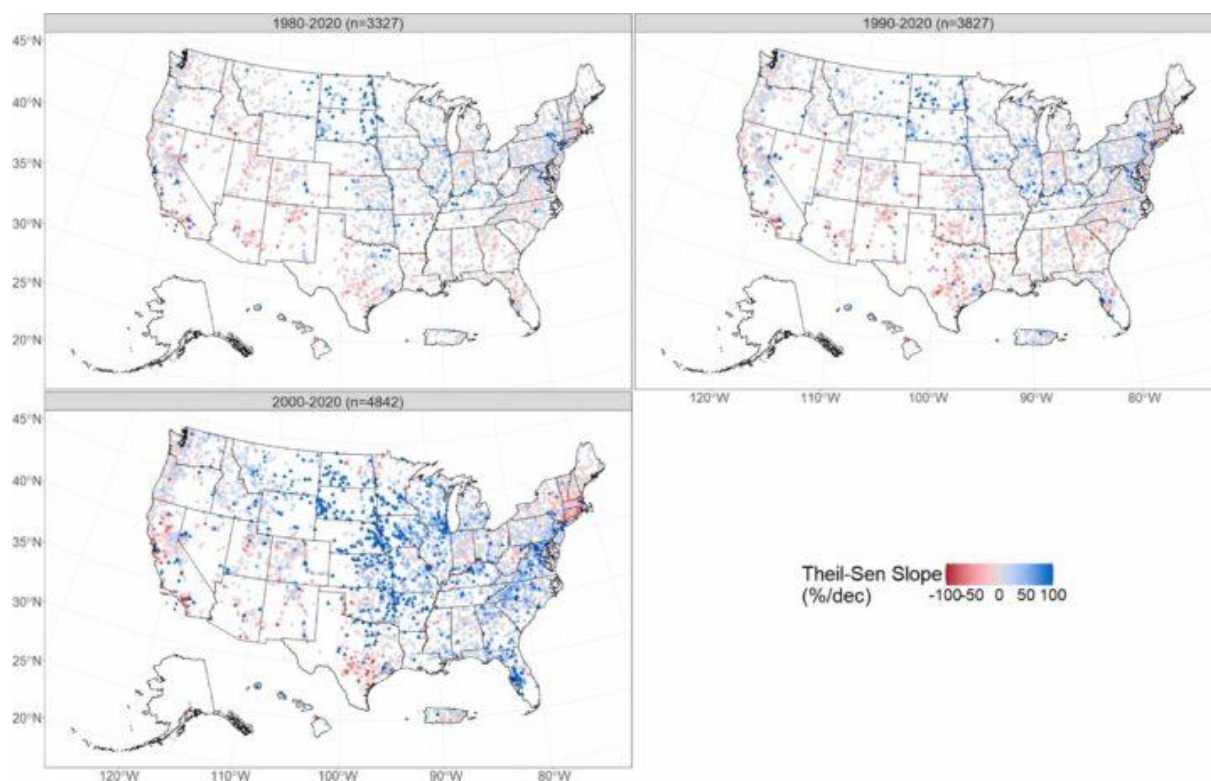
¹⁰ Источник: Olivia Tempest. What 40 years of data reveal about America's rivers and aquifers / <https://smartwatermagazine.com/news/newsroom/what-40-years-of-data-reveal-about-americas-rivers-and-aquifers> Опубликовано 25.08.2026

Набор данных, охватывающий четыре десятилетия

В основу анализа были положены два крупнейших массива гидрологических данных Геологической службы США: данные о динамике речного стока, полученные на 4992 участках мониторинга, и данные о состоянии подземных вод, собранные по 19304 скважинам, вскрывающим **безнапорные водоносные горизонты** — тип водоносных горизонтов, который наиболее непосредственно реагирует на изменения, происходящие на поверхности. Вместо анализа одного временного интервала авторы рассмотрели три перекрывающихся периода — 1980–2020, 1990–2020 и 2000–2020 гг. Это позволило определить, влияет ли продолжительность периода наблюдений на выявляемые тенденции и результаты анализа.

В отношении подземных вод ключевым показателем служила среднегодовая глубина залегания уровня подземных вод: увеличение этого показателя означает понижение уровня подземных вод. Для водотоков ключевым показателем служил годовой минимум среднего за 7 дней значения суточного среднего расхода воды — широко используемый показатель маловодности и косвенный показатель базового стока, то есть той части речного стока, которая поддерживается за счёт поступления подземных вод в засушливые периоды. Тенденции для каждого участка мониторинга оценивались с помощью теста Манна—Кендалла (Mann–Kendall test) — стандартного непараметрического статистического метода выявления монотонных долгосрочных изменений. Величина тенденции определялась с использованием оценки наклона Тейла—Сена (Theil–Sen slope).

Основная задача, которую поставили перед собой исследователи, заключалась в выборе подходящего способа пространственного сопоставления данных. Гидропосты и скважины для мониторинга подземных вод не всегда расположены таким образом, чтобы их можно было непосредственно сопоставить, а единого общепринятого подхода к их пространственной группировке не существует. Поэтому исследовательская группа протестировала пять различных схем региональной классификации, включая группировки, основанные на геологии водоносных горизонтов, границах водосборных бассейнов и характеристиках рельефа и поверхности территории. Целью было определить, какая из этих схем позволяет наиболее корректно сопоставить два набора данных — о подземных водах и речном стоке.



Величина тенденций изменения минимального стока — годового минимального значения среднего за 7 дней суточного среднего расхода воды — на отдельных участках мониторинга речного стока в континентальной части США (CONUS), а также на Аляске, Гавайях и в Пуэрто-Рико. Величина тенденции рассчитана с использованием оценки наклона Тейла–Сена (Theil–Sen slope) и выражена в % в год ($\% \text{ год}^{-1}$). Для удобства отображения Аляска, Гавайи и Пуэрто-Рико расположены слева направо под континентальной частью США; их положение на рисунке не соответствует реальным географическим координатам. На рисунке представлены три периода анализа тенденций: 1980–2020 гг. (верхняя левая панель), 1990–2020 гг. (верхняя правая панель) и 2000–2020 гг. (нижняя левая панель). Для участков, обозначенных треугольниками, значения величины тенденции были винзоризированы и ограничены диапазоном $\pm 100 \text{ } \% \text{ год}^{-1}$ из-за наличия экстремальных значений. Количество участков мониторинга различается для каждого периода анализа.

Растущий разрыв

На уровне отдельных участков мониторинга результаты продемонстрировали значительную пространственную неоднородность. В зависимости от исследуемого периода примерно 47–51 % скважин для мониторинга подземных вод демонстрировали тенденцию к снижению их уровня — от «в некоторой степени вероятной» до «очень вероятной». При этом лишь около 18–23 % участков характеризовались противоположной тенденцией

— повышением уровня подземных вод. Для речного стока картина была практически противоположной: только на 12–22 % участков наблюдалась тенденция к снижению минимального стока, тогда как на 25–38 % участков отмечалась тенденция к его увеличению.

Иными словами, как отмечают авторы исследования, на отдельных участках вероятность снижения уровня подземных вод была более чем в два раза выше, чем вероятность снижения речного стока, причём это наблюдалось в одни и те же периоды и нередко в одних и тех же регионах. Данная закономерность сохранялась на протяжении всех трёх периодов наблюдения, хотя в последнем, более коротком периоде — 2000–2020 гг. — она была выражена несколько слабее. В этот период тенденции речного стока в большей степени смещались в сторону увеличения, тогда как тенденция к снижению уровня подземных вод несколько ослабевала.

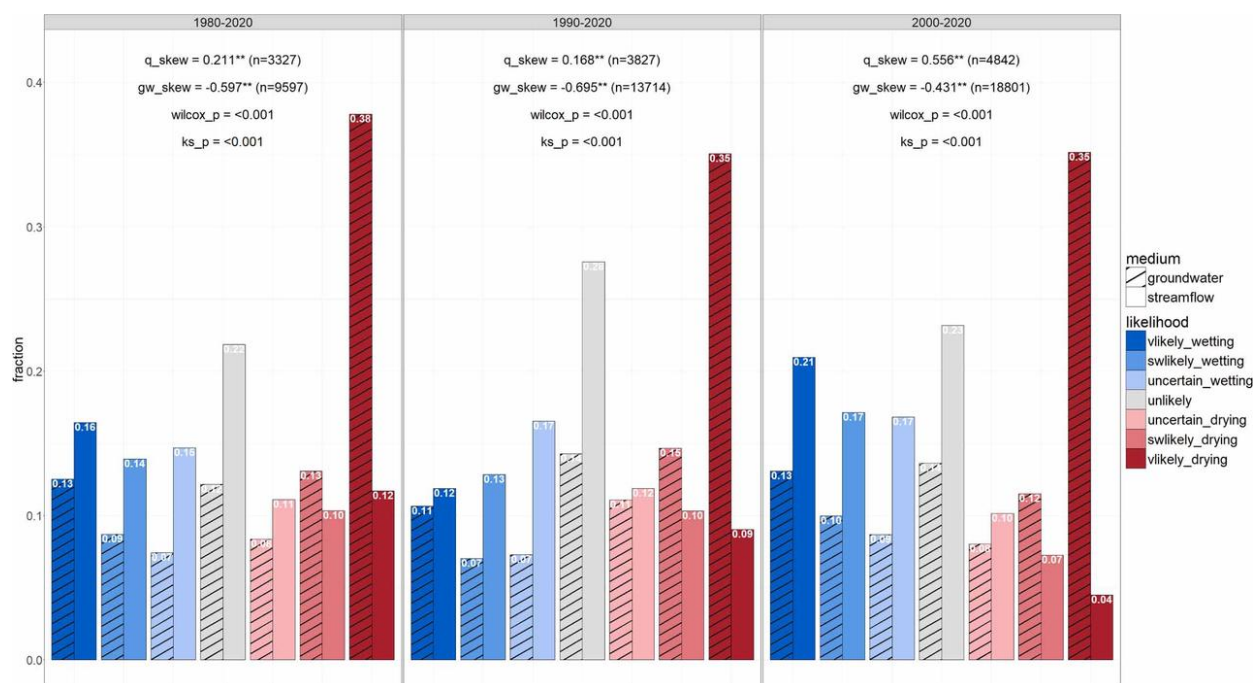
Выявленное расхождение ставит под сомнение распространённое предположение о том, что благоприятное состояние реки свидетельствует о благоприятном состоянии расположенного под ней водоносного горизонта, и наоборот. Результаты исследования, скорее, показывают, что динамика речного стока и уровня подземных вод может расходиться на протяжении многих лет или даже десятилетий, поэтому ни один из этих показателей не позволяет в полной мере судить о состоянии другого компонента водной системы.

В некоторых регионах показатели изменяются согласованно, в других — расходятся

Несоответствие между динамикой показателей наблюдалось не во всех регионах страны. Объединение отдельных участков мониторинга в более крупные регионы — подход, позволяющий сгладить локальные колебания и краткосрочную изменчивость, — показало более тесное соответствие между тенденциями изменения подземных вод и речного стока в масштабах страны. При этом такая согласованность была более выраженной для длительных 30- и 40-летних периодов, чем для самого короткого периода наблюдений.

На протяжении всех трёх периодов анализа и при использовании большинства схем классификации устойчиво прослеживались две закономерности. На территории Верхнего Среднего Запада и Северных Великих равнин наблюдалась общая тенденция к более влажным условиям («wetting»), характеризовавшаяся одновременным увеличением речного стока и повышением уровня подземных вод. На большей части Запада и Юго-Запада, напротив, отмечалась общая тенденция к более сухим условиям («drying»), характеризовавшаяся одновременным снижением обоих показателей.

В других регионах динамика этих двух показателей расходилась. Наиболее заметные долгосрочные расхождения между тенденциями изменения уровня подземных вод и речного стока наблюдались на Высоких равнинах и Аллювиальной равнине Миссисипи — в обоих случаях в регионах с интенсивным орошаемым земледелием. В более коротком и недавнем периоде наиболее выраженная разнонаправленная динамика, напротив, наблюдалась на Северо-Западе.



Доля отдельных участков мониторинга подземных вод (штриховая линия) и речного стока (сплошная линия) в США, демонстрирующих одну из семи категорий вероятности наличия тенденции за периоды 1980–2020 гг. (слева), 1990–2020 гг. (в центре) и 2000–2020 гг. (справа). Категории вероятности определялись по знаку оценки наклона Тейла—Сена (Theil–Sen slope) и p -значениям теста Манна—Кендалла (Mann–Kendall test): «vlikely» = $p \leq 0,1$; «swlikely» = $0,1 < p \leq 0,33$; «uncertain» = $0,33 < p < 0,67$; «unlikely» = $p > 0,67$. Категория «wetting» соответствует положительному наклону Тейла—Сена для речного стока и отрицательному — для подземных вод; категория «drying» — отрицательному наклону для речного стока и положительному — для подземных вод. Белые цифры обозначают долю участков мониторинга за соответствующий период в каждой из категорий средней вероятности (по три участка). Асимметрия распределения и общее количество участков мониторинга подземных вод («gw_skew» и «n») и речного стока («q_skew» и «n») указаны на каждой панели, соответствующей периоду анализа. Звёздочки обозначают статистическую значимость оценок асимметрии, полученных методом

*бутстрэп-перевыборки (** — уровень значимости 95 %; * — уровень значимости 90 %). Также приведены p -значения теста суммы рангов Уилкоксона («wilcox_r») и теста Колмогорова—Смирнова («ks_r») для сравнения распределений значений подземных вод и речного стока, скорректированных с учётом p -значения тенденции по тесту Манна—Кендалла (Ltrend; см. раздел «Методы»). Знак показателя асимметрии отражает преобладающее направление тенденций: отрицательный знак указывает на то, что большее количество участков демонстрирует тенденцию к более сухим условиям («drying»), положительный — тенденцию к более влажным условиям («wetting»).*

Из пяти протестированных схем региональной классификации одна выделилась особенно явно — гидрологические ландшафтные регионы (Hydrologic Landscape Regions, HLR). Эта система группирует территории с учётом сочетания климатических условий, рельефа, а также проницаемости почв и коренных пород. При агрегировании данных о динамике подземных вод и речного стока с использованием HLR степень совпадения между тенденциями этих показателей охватывала примерно 50–62 % территории страны в зависимости от периода анализа. Это был самый высокий показатель среди всех протестированных схем классификации. Напротив, схема, основанная исключительно на геологических характеристиках поверхности, обеспечивала наименьшую степень совпадения.

Авторы рассматривают эти результаты как свидетельство того, что ни один отдельный фактор — ни географическое положение, ни геологические характеристики сами по себе — не позволяет объяснить, где тенденции изменения подземных вод и речного стока изменяются согласованно. Значение имеет совокупность факторов, отражённых в системе HLR: объём поступающей воды, крутизна рельефа и способность почв и коренных пород пропускать воду.

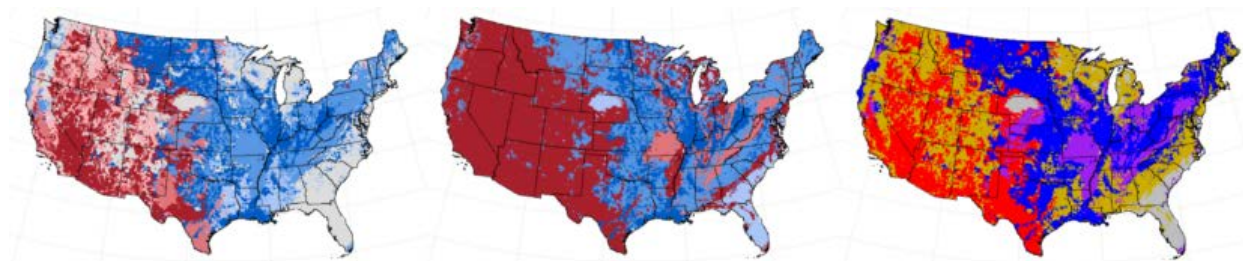
Что их разъединяет

В исследовании указано несколько факторов, способных нарушать связь между этими двумя системами. Один из них — откачка подземных вод. В таких регионах, как Высокие равнины и Аллювиальная равнина Миссисипи, где подземные воды интенсивно используются для орошения, уровень подземных вод может понижаться по причинам, практически не связанным с происходящими в близлежащих водотоках изменениями. Авторы отмечают, что в одном из ландшафтных регионов, охватывающем обширные участки этих водоносных горизонтов, наблюдалось устойчивое снижение уровня подземных вод на фоне стабильного или увеличивающе-

гося речного стока. Эту закономерность исследователи связывают с интенсивной откачкой подземных вод.

Напротив, в регионах с естественно низкой проницаемостью почв и коренных пород, где добыча подземных вод сопряжена с большими трудностями и менее рентабельна, наблюдалось одно из наиболее устойчивых совпадений между увеличением речного стока и повышением уровня подземных вод. Это позволяет предположить, что там, где откачка подземных вод менее целесообразна, эти две системы могут взаимодействовать более свободно и синхронно.

Зимние погодные условия также могут влиять на соотношение между этими показателями. В более холодных регионах, таких как Верхний Средний Запад, учащение эпизодов выпадения дождя на снежный покров, таяние снега в середине зимы и сокращение продолжительности сезонного промерзания почвы могут приводить к увеличению поступления воды в водооток в зимний период, когда речной сток обычно невысок. При этом пополнение запасов подземных вод не всегда происходит с той же скоростью. В результате показатели речного стока могут демонстрировать более выраженную тенденцию к увеличению, чем показатели подземных вод, независимо от изменений, происходящих в подземной системе.



Классификация тенденций изменения поверхностных вод (слева) и подземных вод (в центре) за период 1980–2020 гг. по гидрологическим ландшафтным регионам (HLR) для 48 штатов США. Более тёмные оттенки обозначают тенденции с более высокой вероятностью, более светлые — с более низкой вероятностью. Красный цвет соответствует тенденциям к более сухим условиям, синий — тенденциям к более влажным условиям. Справа показано пространственное соответствие тенденций изменения поверхностных и подземных вод. Тёмно-синий цвет обозначает совпадение вероятных тенденций к более влажным условиям за период 1980–2020 гг., тёмно-красный — совпадение вероятных тенденций к более сухим условиям. Серые области указывают на совпадение в том, что тенденция маловероятна. Оранжевым обозначены территории со значительными

расхождениями между показателями, фиолетовым — территории, где направления тенденций расходятся.

Исследователи воздерживаются от выделения какой-либо одной доминирующей причины. Как отмечают авторы, в разных регионах к такому расхождению могут приводить решения в области управления водными ресурсами, направленные на поддержание минимального речного стока, изменения сезонных сроков наступления периодов низкого стока, а также накопление воды в береговой зоне водотока, которое может быть недостаточно тесно связано с состоянием региональных водоносных горизонтов. При этом маловероятно, что какое-либо одно объяснение будет применимо ко всей территории страны.

На практике это означает, что не следует придавать чрезмерное значение какому-либо одному из этих показателей. Повышение уровня воды в реке не обязательно означает восстановление уровня подземных вод в расположенном под ней водоносном горизонте, а снижение уровня подземных вод не всегда отражается в данных о речном стоке. Это различие имеет практические последствия для того, **как** специалисты и органы управления водными ресурсами отслеживают дефицит воды и реагируют на него.

Авторы также обращают внимание на пробел в мониторинге, который может влиять на общую картину по стране: водозаборные скважины сосредоточены преимущественно в сельскохозяйственных регионах с интенсивным водозабором подземных вод, таких как Высокие равнины и Центральная долина Калифорнии, тогда как такие районы, как Северные Великие равнины, где, как правило, наблюдается повышение уровня подземных вод, охвачены мониторингом сравнительно недостаточно. По мнению авторов, этот дисбаланс свидетельствует в пользу расширения сетей мониторинга подземных вод, что позволит получить более полную картину состояния подземных вод на национальном уровне.

В исследовании не делается окончательных выводов о причинах выявленных закономерностей: авторы рассматривают его как концептуальную работу, а не как полноценный анализ причинно-следственных связей. Вместе с тем они отмечают, что предложенный подход, в частности классификация HLR, может быть применён не только для анализа количественных характеристик водных ресурсов, но и для выявления общенациональных тенденций в области качества воды. Однако такое расширение может быть затруднено из-за более ограниченного объёма долгосрочных данных о качестве воды, а также временной задержки между изменениями качества подземных и поверхностных вод.

На данный момент главный вывод исследования прост, но имеет серьёзные последствия: данные за 40 лет, собранные на тысячах участков мониторинга по всей стране, показывают, что реки и водоносные горизонты США зачастую дают разные представления о состоянии водных ресурсов страны.

Учёные составили карту скрытого ледника с помощью гравиметрических измерений¹¹

Каменистые ледники, такие как ледник Тимпаногос в штате Юта, представляют собой скопления льда и горных обломков. Новый метод позволит оценить объем воды, содержащейся в этих ледниках.

Большинство из десятков тысяч туристов, ежегодно совершающих восхождение на гору Тимпаногос в штате Юта, вероятно, не знают, что за каменистыми осыпями в нижней части склона скрывается крупное ледяное тело. По словам сейсмолога Университета Юты Майкла Торна, за пределами научного сообщества мало известно о существовании подобных образований, называемых каменистыми ледниками.

Каменистый ледник Тимпаногос представляет собой ледяное тело, скрытое под слоями горных обломков и каменного материала. Поскольку лед находится под поверхностью и практически не виден, его наличие остается незаметным для большинства посетителей этого района.

Несмотря на то, что ледник скрыт под слоем горных обломков, он содержит значительный объем льда — около 1 550 000 м³, что сопоставимо с объемом, необходимым для заполнения крупнейшей пирамиды Египта. Такие данные приводятся в новом исследовании, опубликованном в журнале *Journal of Geophysical Research: Earth Surface*. В исследовании представлена подробная трехмерная карта каменистого ледника, созданная с использованием нового метода. По оценке геолога Университета Западного Вашингтона Дуга Кларка, который не принимал участия в исследовании, но изучает каменистые ледники на западе США и в Новой Зеландии, полученные результаты являются важным шагом в изучении каменистых ледников в штате Юта и других регионах.

¹¹ Источник: Grace van Deelen. Scientists Mapped a Hidden Glacier Using Gravity / <https://eos.org/articles/scientists-mapped-a-hidden-glacier-using-gravity> Опубликовано 17.09.2026

По словам Кларка, в исследовании предложен эффективный подход к решению одной из наиболее сложных задач при изучении каменных ледников — определению объема льда, содержащегося внутри них.

Определение гравитации

Для исследования обычных ледников и оценки содержащихся в них запасов воды ученые обычно используют георадар (GPR), который хорошо проникает сквозь лед. Однако для каменных ледников этот метод менее эффективен. Георадар не всегда позволяет обнаружить коренную породу под ледником, поскольку его сигнал может не проникать через покрывающий ледник слой горных обломков. Поэтому с помощью георадара не всегда удастся точно определить толщину каменного ледника.

По словам Торна, одной из причин проведения исследования стал поиск методов визуализации внутренней структуры каменных ледников, которые не зависели бы исключительно от георадара. Идея использовать для этой цели гравиметр возникла у него во время проведения лабораторных занятий по геологии.

Поскольку поверхность Земли и ее внутреннее строение, а следовательно, и распределение массы, незначительно различаются в разных местах, величина гравитационного поля также варьируется. Например, над участком с плотной коренной породой сила тяжести будет несколько выше, чем над крупной подземной полостью. Гравиметр измеряет эти небольшие вариации гравитационного поля, что позволяет ученым выявлять различия в плотности подземных материалов, в частности между горными породами и льдом.

По словам Торна, по мере приближения к участкам с большей толщиной льда ускорение свободного падения постепенно уменьшается.

Гравиметры ранее использовались для исследования ледников, однако после разработки георадара этот метод стал применяться значительно реже. Современные гравиметры отличаются более высокой чувствительностью и точностью, чем их предшественники, что позволяет ученым фиксировать очень небольшие вариации гравитационного поля. По словам гляциолога Университета Юты Лейфа Андерссона, соавтора исследования, именно развитие технологий создало новые возможности для применения этого метода.



С тропы может показаться, что ледник Тимпаногос-Рок виден на поверхности, однако на самом деле это остатки снега, выпавшего прошлой зимой. Сам ледник скрыт под слоем рыхлых каменных обломков

Магистрант Университета Юты и ультрамарафонец Бронсон Цвиянович переносил гравиметр по высокогорной тропе протяженностью 8 км и выполнил 232 измерения во время шести многодневных походов к леднику Тимпаногос. Затем исследовательская группа проанализировала полученные данные с использованием статистического метода, известного как байесовская инверсия. Этот метод позволяет сопоставить тысячи модельных прогнозов распределения льда под поверхностью с фактическими результатами измерений и тем самым оценить, насколько различные модели согласуются с наблюдаемыми данными.

По словам Кларка, моделирование, использованное в исследовании, в сочетании с применением гравиметра представляет собой значительное усовершенствование по сравнению с предыдущими методами оценки объема льда в каменистых ледниках.

Используя этот метод и дополнительные данные, полученные в результате измерений других каменистых ледников, исследователи установили зависимость между площадью поверхности каменистого ледника и оценочным объемом содержащегося в нем льда. Согласно их расчетам, ледник Тимпаногос содержит объем льда, эквивалентный примерно 600 олимпийским бассейнам воды.

Андерссон отметил, что полученный объем льда оказался значительно больше, чем можно было предположить.

Расширив анализ, исследователи оценили общий объем льда, содержащегося в каменистых ледниках. По их расчетам, каменистые ледники штата Юта содержат около 1,08 км³ льда, каменистые ледники западной части США — до 13 км³, а все известные каменистые ледники Земли — около 52,38 км³. Для сравнения, объем льда Антарктического ледяного щита составляет около 30 млн км³.

Роль каменных ледников

По словам Торна, каменистые ледники представляют собой уникальный источник воды, поскольку отдают воду в течение всего года, в том числе в конце лета, когда другие источники водоснабжения испытывают наибольшую нагрузку. Покрывающий их слой горных пород выполняет теплоизоляционную функцию, снижая воздействие повышенных температур и повышая устойчивость ледяного массива к потеплению. Кроме того, каменистые ледники могут служить убежищем для растений и диких животных, в частности американской пищухи, поскольку создают относительно прохладную среду обитания. Определение объема льда и содержащейся в нем воды является первым шагом к пониманию особенностей таяния каменистых ледников в условиях будущего потепления.

Новое исследование также создает основу для изучения влияния каменистых ледников Юты на водные системы штата. В настоящее время эти ледники не учитываются в гидрологических моделях, поэтому их вклад в формирование стока талых вод остается недостаточно изученным. По оценке Кларка, каменистые ледники представляют собой неучтенные источники льда и воды, которые отличаются относительно высокой устойчивостью по сравнению с другими типами ледников, подвергающимися более быстрому таянию.

Андерссон отметил, что пока остается неизвестным, сохраняется ли этот объем льда в долгосрочной перспективе, продолжает ли ледяная масса увеличиваться и какая ее часть тает, поступая в расположенные ниже по течению водные системы. По его словам, также трудно определить, какая доля воды, стекающей с каменистого ледника, образуется в результате таяния льда, а какая связана с поступлением грунтовых вод. Получение таких данных помогло бы ответить на ряд нерешенных вопросов, касающихся динамики каменистых ледников в штате Юта.

Андерссон выразил надежду, что другие исследователи применят гравиметрические измерения и метод байесовского анализа в других регионах, чтобы определить объем льда, содержащегося в каменистых ледни-

ках по всему миру. По его мнению, такой подход может открыть новое направление исследований погребенного льда в глобальном масштабе.

Кларк также отметил важность дальнейших исследований и выразил надежду, что предложенный метод будет применен к другим каменистым ледникам и более широкому спектру подобных ледниковых образований. По его оценке, такие исследования позволят проверить надежность полученных результатов на более широком наборе данных.

Африка

Великая Эфиопская плотина Возрождения: Эфиопия настаивает на своей позиции, а Египет обозначает «красную линию» в вопросе строительства плотин на Ниле¹²

Спустя год после торжественного открытия премьер-министром Эфиопии Абий Ахмедом Великой плотины эфиопского возрождения (ГЭС «Хыда-се») в рамках международной церемонии эфиопское правительство заявляет о значительных результатах проекта. По его оценке, плотина приносит доход, стимулирует развитие майнинга биткойнов и помогает местным фермерам справляться с наводнениями, вызванными разливами Нила.

Соседний Египет придерживается иной оценки. Президент Египта Абдель Фаттах ас-Сиси заявил, что его правительство не намерено бездействовать в то время, как Эфиопия продолжает, по его словам, безответственные действия, связанные с проектом Великой плотины эфиопского возрождения.

Министр иностранных дел Египта Бадр Абдельатти призвал Аддис-Абебу отказаться от планов строительства ещё трёх плотин на Голубом Ниле. Стоимость строительства плотин в Карадобе, Мандая и Беко-Або оценивается примерно в \$10,5 млрд, а их суммарная установленная мощность может составить ещё 5 700 МВт.

Египетские власти заявляют, что не позволят Эфиопии строить новые плотины на Ниле, однако не уточняют, какие именно меры намерены предпринять. Региональные разногласия, связанные с войной в Судане и вопросом доступа к Красному морю, привели к дальнейшему обострению отношений между Аддис-Абебой и Каиром.

8 сентября бывший министр водных ресурсов Эфиопии Алемайеху Тегену заявил в интервью государственному информационному агентству, что Эфиопия выступает за справедливое и рациональное использование водных ресурсов и сотрудничество. По его словам, Эфиопия неоднократно призвала Египет придерживаться этого принципа и участвовать в обсуждении и урегулировании возникающих вопросов.

¹² Источник: GERD: Ethiopia Digs In As Egypt Draws Red Line On Nile Dams / <https://waterpolitics.com/gerd-ethiopia-digs-in-as-egypt-draws-red-line-on-nile-dams/> Опубликовано 14.09.2026

Тегену также заявил, что позиция Египта постоянно препятствует развитию Эфиопии. По его словам, ГЭС «Хыдасе» уже введена в эксплуатацию и не приводит к сокращению объёма воды, поступающей в Египет. Он отметил, что в настоящее время, несмотря на эксплуатацию плотины, Египет получает достаточный объём воды.

Цифры, свидетельствующие об экономической значимости Великой Эфиопской плотины Возрождения

Для Эфиопии более важными являются вопросы энергетической мощности плотины и её коммерческой жизнеспособности. Строительство ГЭС «Хыдасе» обошлось примерно в \$5 млрд и продолжалось 14 лет. По данным правительства, значительная часть средств была привлечена внутри страны — за счёт финансирования Центрального банка, выпуска государственных облигаций и публичной подписки среди представителей эфиопской диаспоры, которая позволила привлечь более 20 млрд бирр (около \$124 млн).

Основным источником внешнего финансирования стал кредит Экспортно-импортного банка Китая в размере \$1 млрд, предоставленный на закупку турбин и электрооборудования. По оценкам независимых экономистов, проект должен обеспечить доходность на уровне 10–12% в течение 7–12 лет. Ключевыми источниками дохода должны стать экспорт электроэнергии и тарифы на электроэнергию на внутреннем рынке. Вместе с тем, по данным отраслевых источников, прогнозы относительно прибыльности проекта остаются предметом дискуссий.

Правительство Эфиопии считает, что плотина станет мощным стимулом для экономического роста страны. По данным компании *Ethiopian Electric Power (EEP)*, общая установленная мощность электростанций страны составляет 9 730 МВт, при этом значительная её часть приходится на ГЭС «Хыдасе» и новые ветровые электростанции «Айша» и «Ассела». Генеральный директор *EEP* Ашебир Балча сообщил в этом месяце совету директоров компании, что по итогам 2025–2026 финансового года компания перешла от убытка в 168% к валовой прибыли в размере 39,5 млрд бирр (около \$245 млн). Он также отметил рост доходов от передачи электроэнергии, сбора платежей и её выработки.

За последний год только ГЭС «Хыдасе» выработала 18,3 ТВт/ч электроэнергии, что составляет 52% общего объёма выработки электроэнергии в Эфиопии. По данным проектного офиса ГЭС «Хыдасе», фактическая выработка электроэнергии превысила первоначальные прогнозы примерно на 17%. Доходы Эфиопии от экспорта электроэнергии выросли до \$475,7 млн, увеличившись на 27% по сравнению с предыдущим годом. При этом Ке-

ния заплатила за эфиопскую электроэнергию около \$86,96 млн, а Джибути — около \$30,95 млн.

Бум биткойн-майнинга на фоне новых правил

Часть избыточной электроэнергии так и не покидает страну. Майнинговые компании, привлечённые доступной гидроэнергией, в настоящее время потребляют около трети всей электроэнергии, вырабатываемой в Эфиопии. За последний год майнеры заплатили за электроэнергию более 50 млрд бирр (около \$335 млн), что примерно на 5 млрд бирр (около \$30,6 млн) больше, чем *EEP* получает от внутренних потребителей.

В 2022 г. Эфиопия разрешила майнинг биткойнов, хотя торговля криптовалютами по-прежнему запрещена. За последние четыре года правительство заключило соглашения на поставку электроэнергии с 25 лицензированными операторами майнинга, принадлежащими иностранным компаниям. Большинство из них связаны с китайскими компаниями, которые перенесли свою деятельность в Эфиопию после ужесточения Китаем ограничений на майнинг в 2021 г. К ним присоединилась как минимум одна компания из ОАЭ.

Некоторые китайские компании, закупающие электроэнергию у ГЭС «Хыдасе» также участвовали в её строительстве. *Bitmain*, один из крупнейших в мире производителей оборудования для майнинга, позиционирует Эфиопию как центр майнинга биткойнов, способный конкурировать с Техасом.

По словам некоторых инвесторов, *Ethiopian Investment Holdings* — суверенный инвестиционный фонд, подчиняющийся аппарату премьер-министра, — рассматривает возможность более активного участия в этом секторе. Другие источники сообщают, что чиновники намерены усилить контроль над отраслью и одновременно увеличить поступления в государственный бюджет.

Новые тарифы — базовая ставка около 4 центов за 1 кВт/ч с декабря 2025 г. с последующим повышением до 5 центов за 1 кВт/ч в 2026–2027 гг. — снижают рентабельность майнинга. По оценкам *QRB Labs*, одной из ведущих отраслевых компаний Эфиопии, к концу этого года некоторые майнинговые предприятия могут стать убыточными. Хотя платежи в долларах за электроэнергию, поставляемую ГЭС «Хыдасе», стали одним из ключевых источников валютных поступлений в федеральный бюджет, правительство пока не представило чётких планов по дальнейшему регулированию отрасли.

Речь о Ниле — это дипломатия, а не только вопрос власти

Однако, по словам официальных лиц, проект ГЭС «Хыдасе» имеет значение не только с точки зрения производства электроэнергии. Руководитель проекта Кифле Хоро отметил, что круглогодичное регулирование стока Голубого Нила благодаря плотине позволяет защитить фермеров в нижнем течении реки от наводнений и засух, которые ранее нарушали сельскохозяйственный цикл. По его словам, проект представляет собой не просто электростанцию, а фактор, способствующий региональной стабильности и совместному экономическому росту.

Египет придерживается иной позиции и ужесточает риторику. 4 августа министр водных ресурсов и ирригации Египта Хани Севилам заявил журналистам, что Каиру известно о планах Эфиопии по строительству новых плотин, однако египетское правительство не намерено допускать их реализации.

20 августа Абдельатти заявил телеканалу «Аль-Арабия», что Египет имеет законное право защищать свои интересы и водную безопасность, назвав планируемые плотины угрозой существованию страны.

В обоснование своей позиции профессор кафедры природных ресурсов Африки Каирского университета Аббас Мохамед Шараки отметил, что объём водохранилища-озера Нигат был увеличен с 11,1 млрд м³, предусмотренных первоначальным проектом, представленным Бюро мелиорации земель США в 1964 г., до 74 млрд м³.

Однако, по словам Шараки, не было проведено исследований, которые подтверждали бы безопасность плотины или гарантировали отсутствие ущерба для расположенных ниже по течению стран в период первоначального наполнения водохранилища. По его словам, ни в одном из проведённых исследований не оценивался потенциальный риск частичного или полного разрушения плотины.

Кто может и должен использовать воды Нила?

Шараки отмечает, что горный рельеф Эфиопии ограничивает возможности крупномасштабного орошения и использования воды из водохранилища для питьевого водоснабжения. По его словам, население проживает в удалённых районах, расположенных на высоте около 2 000 м над уровнем моря, тогда как максимальная отметка уровня воды в водохранилище плотины составляет лишь 640 м над уровнем моря.

Эксперт по гидрополитике Фекахмед Негаш Нуру считает, что строительство планируемых плотин не является провокацией, а обусловлено необходимостью и предусмотрено международным правом. Он ссылается на суверенное право Эфиопии использовать водные ресурсы в пределах

своей территории на справедливой и разумной основе в соответствии с Конвенцией ООН о праве несудоходных видов использования международных водотоков 1997 г., которую Эфиопия ратифицировала.

Шараки отмечает, что Египет не выступает категорически против строительства гидроэлектростанций в Африке. В качестве примера он приводит поддержку Каиром строительства плотины «Оуэн-Фоллс» в Уганде, завершённого в 1954 г., а также содействие строительству плотины имени Джулиуса Ньерере в Танзании. По его словам, жёсткая позиция Каира обусловлена тем, что Эфиопия «отказалась признать нынешнюю долю Египта в распределении водных ресурсов в объёме 55,5 млрд м³», закреплённую соглашением между Египтом и Суданом 1959 г.

Спустя год после начала эксплуатации «Великой эфиопской плотины возрождения» ни Аддис-Абеба, ни Каир не демонстрируют готовности идти на уступки. Кроме того, Эфиопия поддержала позицию ОАЭ в вопросе получения доступа к Красному морю, тогда как Египет укрепил связи с конкурирующим региональным блоком во главе с Саудовской Аравией и Турцией. На этом фоне достижение соглашения по Великой эфиопской плотины возрождения и будущим проектам на Ниле представляется более отдалённой перспективой, чем прежде.

Европа

В ЕС создали экспертную платформу для реализации водной стратегии¹³

В Евросоюзе начала работу платформа, которая будет выявлять препятствия для реализации стратегии водной устойчивости и предлагать практические решения. Первое заседание с участием более 50 экспертов водного сектора состоялось 21 сентября в Брюсселе, сообщила Еврокомиссия.

Инициативу совместно запустили Еврокомиссия, Европейский экономический и социальный комитет и Европейский комитет регионов. Все три института будут сопредседателями платформы. К её работе привлекают представителей бизнеса, водохозяйственных организаций, общественных объединений, национальных правительств и местных властей.

Среди приоритетов — повышение эффективности использования воды, внедрение цифровых технологий и расширение повторного использования очищенной воды. Экспертам предстоит определить, что мешает осуществлению этих мер, и подготовить предложения с учётом потребностей разных отраслей и территорий.

В Еврокомиссии связывают запуск платформы с последствиями жары и засух. Дефицит воды затрагивает сельское хозяйство и энергетику, а изменения водного цикла создают дополнительные риски для населения и экономики.

В тот же день начала работу Европейская водная академия. По информации Объединённого исследовательского центра Еврокомиссии, она объединит организации, которые разрабатывают технологии и обучают специалистов, с теми, кто применяет эти знания на практике: коммунальными предприятиями, промышленностью и органами власти.

Восемь первых организаций-партнёров обязались подготовить обучение на разных языках. Оно охватит очистку сточных вод, поиск утечек, монтаж трубопроводов и подготовку питьевой воды. Программы занятий и сроки их проведения партнёры должны объявить в ближайшие недели.

¹³ Источник: <https://nia.eco/2026/09/22/139970/> Опубликовано 22.09.2026

Технологии

Оман внедряет технологию сбора воды из горного тумана¹⁴

В оманской провинции Дофар тестируют новую технологию добычи воды из атмосферных осадков. Проект направлен на поиск альтернативных источников водоснабжения и изучение климатических особенностей региона.

В оманской провинции Дофар запустили пилотный проект по добыче воды из тумана в горах. Власти страны хотят выяснить, насколько эффективно можно использовать влагу, приносимую муссонами, для создания альтернативного источника питьевой воды.

Метод получения воды из тумана основан на фильтрации микроскопических капель влаги из воздуха с их последующим сбором. Эта технология энергоэффективна, поэтому она отлично подходит для регионов, где часто наблюдаются густые туманы.



¹⁴ Источник: <https://science.mail.ru/news/56112-oman-vnedryaet-tehnologii-sbora-vody-iz-tumana/>
Опубликовано 5.09.2026

На склонах гор уже разместили 12 специальных установок в девяти разных точках. Помимо сбора влаги, эти станции фиксируют погодные и ландшафтные показатели, что поможет специалистам понять, как именно природные условия влияют на объемы получаемой воды.

За оборудованием ведут непрерывный мониторинг в течение всего периода муссонов. Полученная информация станет фундаментом для анализа технической эффективности проекта и поможет определить лучшие места для установки новых систем сбора воды в будущем. С помощью статистических методов и пространственного моделирования эксперты создают прогнозную систему, способную выявить территории с самым высоким запасом атмосферной влаги. Такие расчеты помогут сделать проекты по добыче воды более результативными.

Ценность этого проекта заключается не только в объемах полученной воды, но и в глубоком изучении самого явления тумана, что позволит в дальнейшем опираться на точные полевые исследования при принятии стратегических решений.

В Китае испытали установку для получения водорода и пресной воды из морской¹⁵

Учёные Даляньского института химической физики Китайской академии наук разработали систему, которая объединяет производство водорода с опреснением морской воды. Тепло, выделяющееся при электролизе, используется для получения пресной воды — как для самой установки, так и для внешних потребителей. Результаты исследования опубликованы в журнале Nature Energy 15 сентября.

В основе технологии — сочетание щелочного электролиза с низкотемпературной вакуумной дистилляцией. Морская вода проходит опреснение, после чего часть полученной воды поступает в электролизёр. Такая схема позволяет использовать сбросное тепло оборудования и избежать непосредственного контакта электродов с морской водой, который может приводить к их повреждению. Принцип работы описан в сообщении Китайской академии наук, опубликованном TechXplore.

¹⁵ Источник: <https://nia.eco/2026/09/19/139535/> Опубликовано 19.09.2026

Пилотная установка мощностью 20 кВт стабильно работала в течение 100 дней. Её производительность составила 3,8 нормального кубометра водорода и 1,2 кг пресной воды в час. Объём газа в нормальных кубометрах приведён к стандартным условиям температуры и давления.

Затем исследователи увеличили мощность системы до 250 кВт. На этом оборудовании получили 48 нормальных кубометров водорода и 31,6 кг пресной воды в час. По данным авторов, электрическая эффективность объединённой системы оказалась на 14,4% выше, чем при обычном щелочном электролизе пресной воды. Этот показатель относится к эффективности системы в целом и не означает увеличения выхода водорода на те же 14,4%.

После опреснения остаётся концентрированный рассол. Разработчики рассматривают его как возможное сырьё для извлечения соли и других компонентов. Однако приведённые результаты испытаний относятся к совместному получению водорода и пресной воды.

Работа демонстрирует длительную эксплуатацию пилотной установки и увеличение её мощности. Подтверждённые 100 дней стабильной работы относятся к версии на 20 кВт; аналогичный срок испытаний системы на 250 кВт в аннотации статьи не указан.

Установка получила 13,2 литра воды из воздуха с 1 м² за восемь часов¹⁶

Ученые РГУ нефти и газа (НИУ) имени И.М. Губкина провели испытания автономной установки для обеспечения пресной водой удаленных нефтегазовых объектов. В ее основе — технология извлечения атмосферной влаги с использованием разработанного в университете композитного сорбционного материала. По расчетам исследователей, установка будет особенно эффективна на таких территориях с влажным климатом, как Каспийский шельф и Сахалин. В Восточной Сибири она может использоваться сезонно.

¹⁶ Источник: <https://naked-science.ru/article/column/ustanovka-poluchila-vodu> Опубликовано 23.09.2026



Установка по получению воды из атмосферной влаги

Испытания подтвердили, что в полевых условиях удельная производительность установки достигла 13,2 литра воды с одного квадратного метра активной площади за восьмичасовой цикл. Это приблизительно в два–три раза выше наиболее высоких опубликованных показателей близких по принципу действия пассивных систем и до 4,5 раз выше результатов сопоставимых установок, испытанных на открытом воздухе. Масштабированный модуль площадью один квадратный метр потенциально может обеспечивать до 40 литров воды в сутки при благоприятных климатических условиях. Результаты исследования опубликованы в журнале «Защита окружающей среды в нефтегазовом комплексе».

Сегодня доставка пресной воды на удаленные нефтедобывающие платформы на Каспийском шельфе, буровые площадки и вахтовые поселки на Сахалине и в Восточной Сибири требует регулярных рейсов судов или вертолетов и обходится значительно дороже, чем на материке. В результате на нефтяных платформах приходится использовать опреснители, сливающие в море концентрированный рассол, который вредит экосистемам.

«Новая технология позволяет получать пресную воду без отходов в виде рассолов, что делает ее экологически безопасной. Главный плюс — полная автономность установки: не нужны ни топливо, ни электрогенераторы, надо только солнце и воздух. Это особенно важно для удаленных районов, где нет энергосетей», — рассказал научный сотрудник кафедры физической и коллоидной химии Губкинского университета Дмитрий Репин.

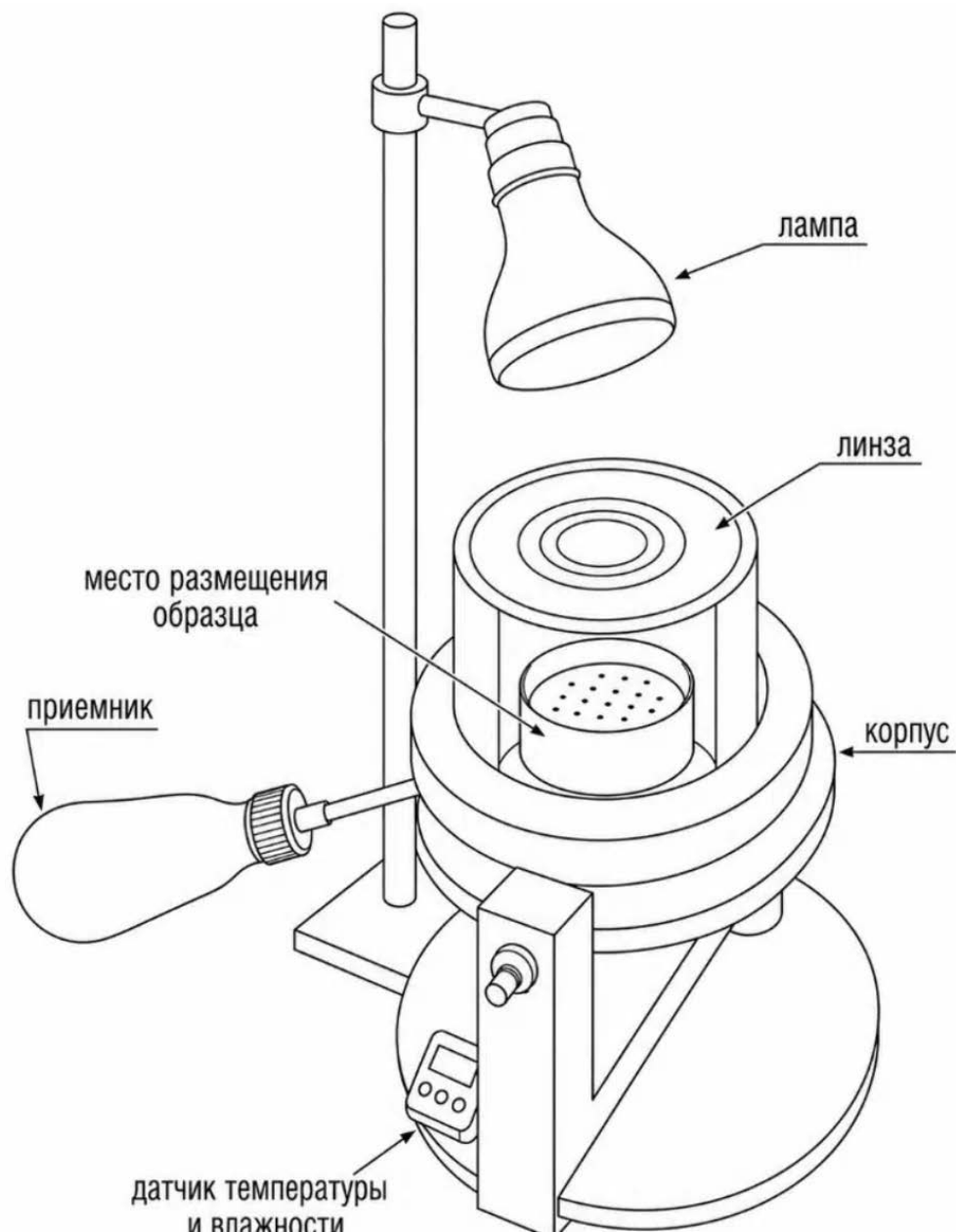
В основе установки — композит из микрофибриллированной целлюлозы, которую получают на целлюлозно-бумажных предприятиях. Ученые модифицировали его полистиролом и пропитали гигроскопичными солями — хлоридами лития или кальция, которые поглощают влагу из воздуха. Поровая структура матрицы композита надежно удерживает соли, не давая им попасть в конденсат.

Чтобы создать дополнительную защиту от попадания рассолов в воду, исследователи сконструировали конденсационно-дренажный узел установки так, чтобы конденсат не соприкасался с сорбирующим материалом. Это также снижает риск загрязнения деталей при многократном использовании.



Установка по получению воды из атмосферной влаги

Устройство работает по циклическому принципу: ночью композитный материал активно поглощает влагу из воздуха, а днем под воздействием солнечного света нагревается и отдает накопленную воду в виде пара. Пористая структура композита обеспечивает поглощение водяного пара, а фототермический слой способствует выделению накопленной влаги под действием солнечного излучения. Пар конденсируется на охлаждаемой поверхности, после чего самотеком собирается в емкость.



Принципиальная схема установки

«Высокая производительность достигается за счет разделения зон нагрева и конденсации. Линза концентрирует солнечное излучение на каскаде с сорбентом, нагревая ее до 85-120 градусов, за счет чего интенсивно выделяется пар. Он перемещается в холодную зону конденсатора, где превращается в воду и стекает в емкость», — пояснил ученый.

Устройство готово к опытно-промышленным испытаниям на нефтегазовых объектах. На разработку получен патент.

На предыдущем этапе научного проекта ученые разработали и испытали установку для получения воды из воздуха в жарких регионах, в частности, в Крыму. На следующем этапе запланировано создание оборудования повышенной мощности с дополнительным питанием от солнечных батарей и автоматической реакцией на перемещения солнца. Это поможет применить технологию в большем числе регионов.

Идея использования атмосферной влаги для водоснабжения не нова — ее пытались реализовать на протяжении тысячи лет. Согласно одной из гипотез, еще древние греки в засушливом Крыму могли собирать воду, конденсируя влагу воздуха на специальных каменных сооружениях.

Для проверки этой идеи инженер Ф.И. Зибольд в 1912 году построил на горе Тепе-Оба возле Феодосии экспериментальный росовый конденсатор — курган из крупных камней диаметром около восьми метров и высотой около шести метров. По свидетельствам современников, установка работала: благодаря ночному охлаждению внутри груды камней образовывался конденсат. Зибольду удавалось собирать несколько десятков литров воды в сутки. Этот опыт стал одним из первых задокументированных примеров получения воды из воздуха.

Позднее, в 1930-е годы выдающийся русский ученый К.Э. Циолковский искал решение для водоснабжения пустынь. В 1933 году он опубликовал статью «Вода в сухих и безоблачных пустынях», где описал проект оригинального устройства — своего рода снаряда или вышки для конденсации воды в жарком пустынном климате. После Второй мировой войны исследования продолжились: появились расчетные модели росовых конденсаторов, началось экспериментальное изучение туманоуловителей.

В последние десятилетия научные проекты в этой области наиболее активно ведутся в России, Китае, США и Великобритании. Проблема автономного водоснабжения актуальна для многих регионов в мире. Ведущие мировые исследовательские центры ищут технические решения, которые позволят повлиять на развитие этих территорий.

Ультрaчёрная шерсть позволяет получать пресную воду из солёной без электричества¹⁷

Исследователи из Корнеллского университета разработали материал на основе обычной мериносовой шерсти, который использует солнечный свет для получения пресной воды из солёной. Материал состоит только из природной шерсти и светопоглощающего полимера и может стать основой недорогих установок для автономного опреснения воды.

Для создания материала учёные взяли белую шерстяную ткань и обработали её полидофамином — полимером, способным эффективно поглощать свет. Затем поверхность волокон протравили, сформировав на них микроскопические структуры, которые дополнительно удерживают свет. Такой подход исследователи подсмотрели у пернатых райских птиц с почти чёрным оперением.

Получившийся материал поглощает практически весь падающий на него видимый свет: он отражает менее 0,5% света. Полидофамин также преобразует ближнее инфракрасное излучение в тепло. Благодаря этому шерсть нагревает тонкий слой воды непосредственно у своей поверхности. Вода испаряется, а растворённые соли остаются в исходной воде. Затем водяной пар можно собрать и сконденсировать в пресную воду. Такой процесс называется межфазным солнечным испарением.

Исследователи испытали три конструкции материала: горизонтальную, вертикальную с одной рабочей стороной и вертикальную с двумя. Наиболее эффективной оказалась последняя. При освещении, соответствующем стандартному уровню солнечного излучения, она обеспечивала испарение воды со скоростью 2,43 кг на квадратный метр в час. При этом материал сохранял стабильную работу в течение 10 часов без накопления соли на поверхности.

Важное преимущество разработки — состав. В отличие от многих современных солнечных испарителей, для которых используют синтетические наноматериалы или сложные трёхмерные конструкции, здесь основой служит обычная шерстяная ткань. По расчётам авторов, материалы для изготовления фрагмента размером 20 × 20 см стоят около 0,62 доллара. Масса материала составляет примерно 281 г на квадратный метр.

Исследователи также провели испытание на открытом воздухе в Итаке, штат Нью-Йорк. Материал работал с водой, солёность которой была примерно в три раза выше морской, в том числе в частично облачную

¹⁷ Источник: <https://ecosphere.press/2026/09/22/ultrachyornaya-sherst-pozvolyaet-poluchat-presnuyu-vodu-iz-solyonoy-bez-elektrichestva/> Опубликовано 22.09.2026

погоду. По словам авторов, полученная вода соответствовала требованиям к питьевой воде Всемирной организации здравоохранения и Агентства по охране окружающей среды США.

При этом разработку пока рано считать готовой заменой промышленным опреснительным установкам. Полученная производительность ниже, чем у некоторых более сложных солнечных систем, а расчётные показатели для солнечного климата ещё не означают, что такое количество воды удастся получать в любых реальных условиях.

Авторы рассматривают материал прежде всего как вариант децентрализованного опреснения — для мест, где нет стабильного доступа к электроэнергии и крупной водной инфраструктуре. По их модели, квадратный метр материала в солнечном климате вроде побережья Йемена потенциально может обеспечить около 4700 литров водяного пара в год. Следующим этапом станут испытания с солоноватой подземной водой и сточными водами.

Исследование опубликовано в журнале Advanced Science.

Перевод: 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