

Supported by:



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



INTERNATIONAL
CLIMATE
INITIATIVE



ВЗАИМОСВЯЗИ МЕЖДУ ВОДОЙ,
ЭНЕРГИЕЙ И ЗЕМЛЕПОЛЬЗОВАНИЕМ

Системные решения для
климатически устойчивой Центральной Азии



НИЦ МКВК

Научно-информационный центр
Межгосударственной координационной
водохозяйственной комиссии
Центральной Азии

based on a decision of
the German Bundestag

Современные технологии в водном хозяйстве

Ташкент 2025

Научно-информационный центр
Межгосударственной координационной водохозяйственной комиссии
Центральной Азии

Современные технологии в водном хозяйстве

Ташкент 2025

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

Подготовлено и издано при финансовой поддержке проекта «Региональные механизмы для низкоуглеродной и климатоустойчивой трансформации взаимосвязи энергии, воды и земли в Центральной Азии», реализуемого ОЭСР, НИЦ МКВК и ЕЭК ООН за счет средств Федерального министерства окружающей среды, охраны природы, ядерной безопасности и защиты потребителей Германии (BMUV) в рамках Международной климатической инициативы (IKI)

Содержание

Информационные технологии в водном хозяйстве.....	5
Новая глобальная модель демонстрирует, как к 2050 году снизить нагрузку на окружающую среду до уровня 2015 года.....	5
Изменение климата на пороге: онлайн-инструмент прогнозирует будущее региональных и глобальных водных ресурсов	8
Новая глобальная карта рек впервые включает разветвления рек и каналы.....	11
Оценка речного расхода с использованием изображений Google Earth	12
Отслеживание каждой капли: новая модель раскрывает влияние ирригации на экосистемы засушливых озер	14
ФАО отмечает 30-летие AQUASTAT — глобальной базы данных о водных ресурсах.....	16
Пять ключевых направлений, в которых ИИ изменит управление водными ресурсами в 2025 году.....	18
Цифровая жажда: как новые дата-центры усугубляют дефицит воды в уязвимых регионах	20
НАСА отслеживает процесс таяния снега для улучшения управления водными ресурсами.....	27
Оценка пополнения запасов подземных вод с использованием спутниковых данных о влажности почвы с высоким разрешением.....	29
Как спутники изменили наше представление о реках: новые методы картографирования и анализа речной подвижности	32
Технологии.....	36
Новый материал литрами добывает воду из воздуха благодаря своей структуре	36
Наука и исследования	38
Водные прогулки как метод общественных водных исследований	38

Информационные технологии в водном хозяйстве

Новая глобальная модель демонстрирует, как к 2050 году снизить нагрузку на окружающую среду до уровня 2015 года¹

Целенаправленные меры по сокращению выбросов, изменению рациона питания, снижению пищевых отходов и повышению эффективности использования воды и азота способны остановить дальнейшую экологическую деградацию.

Впервые проведённое исследование, опубликованное в журнале Nature, демонстрирует, что при наличии смелых и скоординированных политических решений в областях выбросов, питания, продовольственных отходов, а также управления водными и азотными ресурсами, человечество может к 2050 г. вернуть глобальное экологическое давление на уровень, зафиксированный в 2015 г. Такой прогресс приблизит нас к устойчивому будущему, в котором люди по всему миру смогут жить в рамках возможностей планеты. По словам ведущего автора исследования, профессора Детлефа ван Вуурена, научного сотрудника Утрехтского университета и Нидерландского агентства по оценке состояния окружающей среды (PBL), результаты исследования свидетельствуют о том, что возвращение к более безопасным экологическим границам возможно, но требует решительных и системных изменений.

Концепция планетарных границ, впервые предложенная международной группой учёных в 2009 г., определяет девять ключевых процессов, поддерживающих стабильные условия на Земле, которые обеспечивали процветание человеческого общества на протяжении последних 10 тысяч лет. Превышение этих границ увеличивает риск дестабилизации системы Земли, что может привести к гораздо менее благоприятным условиям жизни. По оценкам учёных, на сегодняшний день уже нарушены шесть из девяти планетарных границ — в сферах изменения климата, целостности

¹ Источник: New global model shows how to bring environmental pressures back to 2015 levels by 2050 / <https://www.sciencedaily.com/releases/2025/05/250514111054.htm> Опубликовано 14.05.2025

биосферы, доступности пресной воды, землепользования, загрязнения питательными веществами и появления новых антропогенных соединений.

Возвращение с края пропасти

В новом исследовании акцент впервые был смещён на будущее: авторы поставили перед собой задачу выяснить, может ли амбициозная, но технически осуществимая экологическая политика изменить текущую траекторию развития. Как пояснил Ван Вуурен, впервые была использована перспективная глобальная модель, с помощью которой исследователи попытались ответить на вопрос, как будут развиваться события в случае сохранения нынешнего курса: удастся ли избежать нарушения планетарных границ или вернуться к их соблюдению после уже произошедших нарушений. Также исследователей интересовало, что именно потребуется для достижения этих целей.

Для ответа на поставленные вопросы структура планетарных границ была объединена с комплексной Интегрированной моделью для оценки глобальной окружающей среды— моделью IMAGE (Integrated Model to Assess the Global Environment), которая описывает возможные сценарии будущего развития человечества и его воздействия на глобальную окружающую среду. С помощью модели были спрогнозированы результаты по восьми из девяти планетарных границ в различных сценариях будущего, включая те, которые предполагают активную экологическую политику.

Критически важные системы, такие как климат и биоразнообразие, по данным исследования, уже вышли за пределы безопасных значений. При этом большинство из них превысили пороги, соответствующие высокой степени риска, что свидетельствует о приближении много-кризисного сценария глобального развития. На основе прогнозов на 2030, 2050 и 2100 гг. исследование показывает, что при сохранении текущих тенденций к 2050 г., как ожидается, будут нарушены все планетарные границы, за исключением истощения озонового слоя. Ван Вуурен отмечает, что в случае, если человечество продолжит двигаться по пути, ориентированному преимущественно на национальные или локальные интересы, ситуация может ещё больше усугубиться. Это, по его словам, подчёркивает острую необходимость согласованных глобальных действий.

Пять ключевых мер по изменению траектории

Исследователи выделили пять основных мер, которые, по их мнению, в совокупности способны значительно сократить ущерб окружающей среде.

Смягчение последствий изменения климата — предполагается достижение цели Парижского соглашения по ограничению глобального потепления на уровне 1,5°C за счёт резкого сокращения выбросов парниковых газов.

Изменение пищевого потребления — речь идёт о глобальном переходе к рациону, который одновременно считается здоровым и экологически устойчивым. Такой рацион был определён Комиссией EAT-Lancet, и, согласно исследованию, к 2050 г. его должно придерживаться до 80 % населения мира.

Сокращение пищевых отходов — предлагается сократить мировой объём пищевых отходов вдвое путём уменьшения потерь в производственно-сбытовых цепочках и борьбы с избыточным потреблением.

Повышение эффективности водопользования — предполагается снижение водозабора для нужд энергетики, бытового потребления и промышленности на 20 %, а также сокращение использования воды для орошения на 30 %, чтобы обеспечить долгосрочную экологическую устойчивость.

Рациональное использование азота — эффективность применения питательных веществ в сельском хозяйстве, как ожидается, должна вырасти до 70–80 % к 2050 г. по сравнению с нынешними 50 %.

По мнению исследователей, совокупная реализация этих мер способна вернуть уровень давления на планету примерно к показателям 2015 г. Это, как подчёркивается в работе, стало бы значительным улучшением по сравнению с прогнозами, основанными на сценарии сохранения текущих тенденций, и стало бы важным шагом на пути к обеспечению долгосрочного благополучия человечества при соблюдении экологических ограничений Земли.

Необходимы решительные действия

В исследовании также отмечается, что при условии проведения решительной экологической политики к 2050 г. некоторые природные системы можно будет вернуть в «безопасную зону». В то же время подчёркивается, что для других систем даже наиболее амбициозных усилий может

оказаться недостаточно, и они всё равно будут выходить за пределы допустимых границ. Ван Вуурен указал, что для обеспечения пригодности планеты для жизни в долгосрочной перспективе потребуется ещё более активное вмешательство уже после 2050 г.

Авторы исследования подчёркивают, что предпосылки, положенные в основу предложенных сценариев, являются весьма амбициозными. По их словам, экологические и социальные системы изменяются медленно, а моделирование почти повсеместных трансформаций — например, масштабного перехода на экологически устойчивый рацион — может оказаться чрезмерно оптимистичным на фоне нынешних мировых тенденций.

Тем не менее, как отметил Ван Вуурен, основной вывод остаётся однозначным: у человечества всё ещё есть возможность изменить траекторию развития. Хотя полностью избежать превышения планетарных границ, вероятно, не удастся, можно значительно приблизиться к устойчивому образу жизни в пределах допустимых экологических пределов. Это, по его мнению, имеет принципиальное значение. Он также добавил, что, говоря образно, планета сейчас серьёзно больна, но пока ещё не смертельно.

Изменение климата на пороге: онлайн-инструмент прогнозирует будущее региональных и глобальных водных ресурсов²

Изменение климата влияет на доступность воды — по всему миру и буквально у нас на пороге. С помощью новой интерактивной карты пользователи теперь могут в режиме онлайн отслеживать, как возобновляемые водные ресурсы, пополнение подземных вод и эвапотранспирация могут изменяться в конкретных регионах при различных сценариях изменения климата в будущем.

Инструмент под названием «Исследователь воздействия изменения климата на водные ресурсы» (*Explorer for Climate Change Impacts on Water*

² Источник: Climate change on your doorstep: Online tool shows future of regional and global water resources / <https://smartwatermagazine.com/news/goethe-university/climate-change-your-doorstep-online-tool-shows-future-regional-and-global> Опубликовано 7.05.2025

Resources) был разработан рабочей группой по гидрологии *Университета Гётте* во Франкфурте совместно с французской компанией *AGEOCE*.

Научная основа для устойчивого управления водными ресурсами

По словам профессора Петры Дёлль, руководителя рабочей группы, вода является одним из ключевых ресурсов будущего, и с помощью *Explorer* общество получает инструмент, который позволит заранее и на основе научных данных подготовиться к грядущим изменениям. Инструмент визуализирует научно обоснованные прогнозы будущей доступности водных ресурсов под влиянием климатических изменений. Он демонстрирует результаты много-модельного ансамбля — то есть прогнозы, основанные на нескольких глобальных гидрологических моделях, использующих различные климатические сценарии.

Приложение охватывает все участки суши Земли и демонстрирует с пространственным разрешением около 50 км, как может измениться пополнение подземных вод в различных регионах, следует ли ожидать увеличения или снижения общего уровня водообеспеченности, а также насколько возрастет эвапотранспирация под воздействием изменения климата.

Пользователи могут выбрать конкретный регион на карте мира и получить наглядную диаграмму, отражающую прогнозируемые изменения по сравнению с базовым периодом 1985–2014 гг. и тремя будущими временными интервалами. Особенно полезной функцией *Explorer* является то, что он показывает не только средние значения, но и диапазон возможных сценариев — в зависимости от уровня выбросов парниковых газов и неопределённостей моделей. Это позволяет учитывать даже наименее благоприятные сценарии и тем самым более эффективно интегрировать их в местное планирование.

Кроме того, *Explorer* может показать, сколько моделей превышают заданные пороговые значения — например, фиксируют снижение пополнения подземных вод более чем на 20%. Это позволяет оценить надёжность прогнозов и определить, существует ли общее согласие между различными моделями.

Доктор Фабиан Кнайер отметил, что приложение основано на международном много-модельном ансамбле, который позволяет сопоставлять климатические воздействия на различных уровнях. Он подчеркнул, что в расчётах учитываются не только климатические, но и гидрологические не-

определённости, что стало возможным благодаря тесному междисциплинарному сотрудничеству между научным сообществом и практиками.

Практический инструмент для науки, политики и общества

Веб-приложение ориентировано на широкую аудиторию и предлагает разнообразные возможности применения. Эксперты в области управления водными ресурсами и экологического планирования могут на его основе проводить обоснованные оценки — напр., касающиеся будущего водоснабжения или необходимости адаптации существующей инфраструктуры. Политики и лица, принимающие решения, получают надёжную информационную базу для разработки региональных и межрегиональных стратегий адаптации к изменению климата. Политики и лица, принимающие решения, получают надёжную информационную базу для разработки региональных и межрегиональных стратегий адаптации к изменению климата. Исследователи и студенты получают доступ к результатам комплексного моделирования, которые можно использовать как для научного анализа, так и в образовательных целях.

Доктор Гийом Аттар, генеральный директор компании *AGEOCE*, отметил, что платформа позволяет сделать результаты сложных много-модельных симуляций понятными и доступными для исследований, политических решений и практического применения по всему миру.

Представители гражданского общества, общественных инициатив и образовательных учреждений также выигрывают от наглядного и доступного представления данных. С помощью инструмента они могут узнать о возможных последствиях изменения климата в своём регионе, повысить общественную осведомлённость по вопросам, связанным с водными ресурсами, или инициировать общественные обсуждения. Например, в регионе Рейн-Майн приложение может помочь оценить, насколько вероятно снижение пополнения подземных вод в ближайшие десятилетия — это особенно важно для таких городов, как Франкфурт, которые получают значительную часть питьевой воды из близлежащих источников.

Данный инструмент помогает лучше понять региональные изменения и содействует обсуждению необходимых мер адаптации на ранних стадиях.

Новая глобальная карта рек впервые включает разветвления рек и каналы³

Ребекка Оуэн

Авторы исследования утверждали, что система GRIT позволяет получить более детальное представление о процессах слияния и разделения рек, что, по их мнению, может способствовать улучшению гидрологического моделирования, прогнозированию наводнений и более эффективному управлению водными ресурсами.

Они отмечали, что в существующих глобальных базах данных о реках водотоки, как правило, отображаются как идущие по единому маршруту вниз по течению в соответствии с уклоном поверхности. Однако, как подчёркивали исследователи, такие базы данных часто не учитывают разветвлённые речные системы, характерные для пойм, каналов и дельт. При этом бифуркационные (разветвлённые) реки, по их словам, особенно распространены в густонаселённых регионах, что делает их масштабное картографирование крайне важным в условиях изменения климата, приводящего к увеличению числа и интенсивности наводнений.

Исследовательская группа под руководством Вортманна поставила перед собой задачу устранить пробелы в существующих картах глобальных речных систем. Для этого они разработали новую сеть — Global River Topology (GRIT), которую позиционировали как первую в мире глобальную речную сеть, учитывающую разветвления, многорукавные каналы, речные дистрикты и крупные инженерные каналы. Авторы отмечали, что GRIT основана на новой цифровой модели рельефа с улучшенным горизонтальным разрешением 30 метров — в три раза выше, чем у предыдущих наборов данных, — и включает в себя спутниковые снимки высокого разрешения.

Исследователи сообщали, что сеть GRIT охватывает водные пути с площадью водосборного бассейна более 50 км², а также бифуркации на реках шириной более 30 м. Они отмечали, что GRIT включает как векторные карты, основанные на вершинах и путях для отображения таких элементов, как участки рек и границы водосборов, так и растровые слои, состоящие из пикселей и отражающие динамически изменяющиеся параметры, например накопление стока и высоту относительно уровня реки.

³ Источник: Rebecca Owen. New Global River Map Is the First to Include River Bifurcations and Canals / <https://eos.org/research-spotlights/new-global-river-map-is-the-first-to-include-river-bifurcations-and-canals> Опубликовано 15.05.2025

По их данным, в общей сложности было нанесено на карту около 19,6 млн км водных путей, включая 818 тысяч слияний, 67 тысяч развилок и 31 тысячу выходов, из которых 6 500 впадают в закрытые бассейны. Уточнялось, что значительная часть зафиксированных бифуркаций относится к внутренним рекам: почти 30 тысяч из них расположены в Азии, более 12 тысяч — в Северной и Центральной Америке, почти 10 тысяч — в Южной Америке и около 4 тысяч — в Европе.

Авторы утверждали, что сеть GRIT обеспечивает более точное и полное представление о форме и связности речных систем по сравнению с предыдущими эталонными наборами данных. По их мнению, это способствует повышению качества моделирования гидрологических процессов и речной среды обитания, улучшает прогнозирование наводнений, а также способствует более эффективному управлению водными ресурсами на глобальном уровне.

Оценка речного расхода с использованием изображений Google Earth⁴

Гуйлин Ванг

Теория критического течения позволяет прогнозировать расход воды в реке на основе расстояния между стоячими волнами (сейшами), зафиксированными на спутниковых изображениях, например, в Google Earth.

Речной сток — ключевой параметр для множества водохозяйственных и экологических задач. Однако даже в таких развитых странах, как США, многие водотоки остаются слабо изученными или вовсе не охвачены мониторингом. Это связано со сложностями традиционных полевых методов, особенно в районах со сложным рельефом.

Современные технологии дистанционного зондирования частично решают эту проблему, но требуют калибровочных данных и подвержены ряду ограничений.

⁴ Источник: Guiling Wang. Inferring River Discharge from Google Earth Images / <https://eos.org/editor-highlights/inferring-river-discharge-from-google-earth-images> Опубликовано 20.05.2025

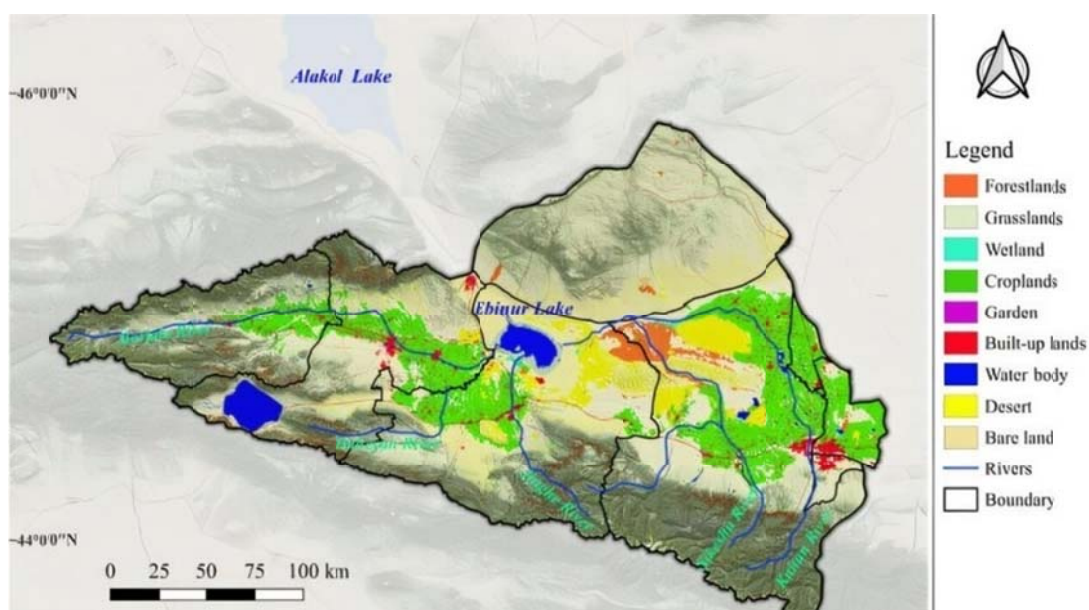
Леглейтер и др. [2025] предложили новый метод определения речного стока по спутниковым изображениям, основанный на теории критического течения. Согласно их подходу, геоморфологические особенности русла — такие как переходы от крутых к пологим уклонам или сужения русла — могут вызывать формирование критических условий течения. Эти условия проявляются в виде неравномерных гидравлических скачков, сопровождающихся характерными волновыми структурами, четко различимыми на спутниковых снимках. При критическом течении, когда число Фруда равно единице, длина волны, скорость потока и глубина воды находятся в однозначной взаимосвязи. Это позволяет рассчитывать расход воды на основе базовых измерений длины волны и ширины русла, полученных с изображений.

Предложенный метод был апробирован на 82 спутниковых изображениях из сервиса Google Earth, где были зафиксированы стоячие сейши. Расчёты речного расхода, выполненные на их основе, полностью совпали с данными, полученными с гидрометрических станций, что служит предварительным подтверждением надёжности метода. Несмотря на то, что метод применим только к участкам рек с формированием стоячих сейш — которые, как правило, возникают на крутых уклонах или в зонах сужения русла — такие условия широко распространены в горных районах. Именно в этих труднодоступных регионах наиболее ощущается нехватка традиционного мониторинга речного стока. Таким образом, представленное исследование формирует теоретическую и практическую основу для дальнейшей валидации и развития данного подхода как альтернативного средства оценки расхода воды в реках.

Отслеживание каждой капли: новая модель раскрывает влияние ирригации на экосистемы засушливых озер⁵

В недавнем исследовании была представлена новая модель, основанная на данных, которая позволяет различать антропогенное и естественное потребление воды на пахотных землях. Это дает ценные сведения об устойчивости экосистем засушливых озер.

Засушливые районы занимают около 42% поверхности Земли и обеспечивают жизнедеятельность примерно 38% населения планеты, что делает их ключевыми регионами в борьбе за ограниченные водные ресурсы. Расширение сельского хозяйства оказывает существенное давление на экосистемы, в результате чего многие конечные озера сокращаются или полностью исчезают из-за чрезмерного орошения.



Географическое положение бассейна озера Эбину

Для решения этой проблемы группа исследователей провела исследование в бассейне озера Эбинур в Китае — засушливом регионе, где рост сельского хозяйства все более усугубляет нагрузку на водные ресурсы. С

⁵ Источник: Tracking every drop: new model uncovers irrigation impact on dryland lake ecosystems / <https://smartwatermagazine.com/news/chinese-academy-sciences/tracking-every-drop-new-model-uncovers-irrigation-impact-dryland-lake> Опубликовано 26.05.2025

помощью дистанционного зондирования и технологий машинного обучения была разработана модель, которая позволяет различать естественное и антропогенное потребление воды на пахотных землях, что способствует более точному пониманию характера водопользования в регионе.

Исследователи из Научно-исследовательского института аэрокосмической информации Китайской академии наук совместно с международными коллегами разработали новую модель, которая позволяет различать антропогенное и естественное потребление воды на пахотных землях. Результаты их исследования были опубликованы в журнале *Journal of Remote Sensing*.

Ключевым достижением работы стал сложный метод разделения эвапотранспирации (ЕТ) пахотных земель на естественную (ЕТ_n) и антропогенную (ЕТ_h) составляющие. Модель продемонстрировала высокую точность: коэффициенты детерминации (R^2) варьировались от 0,88 до 0,96. Анализ показал, что к 2019 г. на долю антропогенной деятельности приходилось около 77 % потребления воды пахотными землями. Исследование было проведено в бассейне озера Эбинур. Примечательно, что для восстановления озера Эбинур до оптимальной площади в 800 км² потребуется дополнительно около 0,29 км³ воды в год. Это свидетельствует о том, что рост сельскохозяйственного производства наносит значительный ущерб региональным запасам воды и устойчивости экосистемы.

Разработанная модель, основанная на дистанционном зондировании и технологиях машинного обучения, предоставляет более точное представление о характере водопользования в подобных регионах и способствует развитию стратегий устойчивого управления водными ресурсами.

ФАО отмечает 30-летие AQUASTAT — глобальной базы данных о водных ресурсах⁶

Продовольственная и сельскохозяйственная организация Объединённых Наций (ФАО) отметила 30-летие AQUASTAT — ведущего источника глобальных данных о водных ресурсах и сельском хозяйстве. Праздничное мероприятие высокого уровня прошло в гибридном формате в штаб-квартире ФАО в Риме. В рамках события также состоялся совместный брифинг ФАО и инициативы «ООН — Водные ресурсы» по Общесистемной стратегии ООН в области водных ресурсов и санитарии, утверждённой в 2024 г. Координационным советом руководителей системы ООН.

В своём вступительном обращении Генеральный директор ФАО Цюй Дунъюй отметил неразрывную связь между водными ресурсами и агропродовольственными системами. Он подчеркнул, что обеспечение продовольственной безопасности невозможно без обеспечения водной безопасности. По его словам, Стратегические рамки ФАО на 2022–2031 гг. направлены на повышение эффективности, инклюзивности, устойчивости и стабильности агропродовольственных систем, а вода играет ключевую роль в этой трансформации. Он также подчеркнул необходимость принятия взвешенных решений и осуществления согласованных действий, основанных на надёжных, регулярных и сопоставимых данных и информации.

Мероприятие включало сегмент высокого уровня, в ходе которого выступили Альваро Ларио — президент Международного фонда сельскохозяйственного развития (МФСР) и председатель инициативы «ООН — Водные ресурсы», а также послы и постоянные представители Южной Африки, Марокко и Перу при учреждениях ООН в Риме. Участники поделились национальными взглядами на важность данных о водных ресурсах.

В своём выступлении Ларио отметил, что, несмотря на то что сельское хозяйство остаётся крупнейшим потребителем пресной воды в мире, оно всё чаще сталкивается с дефицитом водных ресурсов. В этой связи он подчеркнул важность точных и доступных информационных систем, таких как AQUASTAT, которые играют ключевую роль в принятии обоснованных решений и обеспечении устойчивого управления водными ресурсами.

Культурная часть мероприятия включала живое исполнение на арфе оригинальной композиции, специально написанной к Всемирному дню во-

⁶ Источник: 30 years of AQUASTAT: FAO celebrates global water data milestone / <https://www.fao.org/newsroom/detail/30-years-of-aquastat--fao-celebrates-global-water-data-milestone/en> Опубликовано 4.04.2025

ды в этом году. Это произведение было впервые представлено публике в рамках празднования. После этого состоялась серия ключевых презентаций от ФАО и партнерских организаций, в ходе которых было рассказано о техническом развитии системы AQUASTAT, её роли в мониторинге индикаторов Цели устойчивого развития 6.4, а также о вкладе в глобальные механизмы отчётности. Брифинг по Общесистемной стратегии ООН в области водных ресурсов и санитарии был организован инициативой «ООН — Водные ресурсы». В нём были представлены приоритетные направления работы по укреплению управления, координации деятельности на национальном уровне, а также развития систем сбора и анализа данных в рамках всей системы ООН.

Три десятилетия доступа к важнейшим данным

Глобальная информационная система AQUASTAT, разработанная Отделом земельных и водных ресурсов ФАО в 1990-х гг., была создана в ответ на растущий спрос на сопоставимую, актуальную и политически значимую информацию об использовании воды в сельском хозяйстве — крупнейшем водопотребляющем секторе в мире. Система предоставляет в открытом доступе данные по ключевым показателям, таким как водообеспеченность, орошение, инфраструктура, эффективность водопользования и уровень водного стресса. AQUASTAT стала важнейшим инструментом для принятия решений, содействуя стратегическому планированию, привлечению инвестиций и развитию международного сотрудничества. Кроме того, система играет ключевую роль в обеспечении аналитической поддержки ФАО в качестве учреждения-хранителя индикаторов Цели устойчивого развития 6.4.1 (эффективность водопользования) и 6.4.2 (уровень водного стресса).

Генеральный директор ФАО отметил, что сегодня 2,5 млрд человек проживают в странах, испытывающих дефицит воды, а около 10% населения планеты сталкиваются с высоким или критическим уровнем водного стресса. По его словам, благодаря отслеживанию этих данных система AQUASTAT позволяет правительствам и международным организациям своевременно предпринимать упреждающие меры.

Успех системы AQUASTAT на протяжении трёх десятилетий стал возможен благодаря тесному сотрудничеству с государствами-членами ФАО. Эти страны предоставляют национальные данные, участвуют в проверке оценок и способствуют укреплению потенциала на национальном уровне. Система также служит важным источником информации для крупных глобальных обзоров, включая Всемирный доклад ООН о состоянии водных ресурсов, начиная с 2003 года.

Празднование стало частью инициативы «365 дней действий», приуроченной к 80-летию ФАО, и проходит в русле двухгодичной темы, утверждённой государствами-членами на 2024–2025 гг.: «Управление водными ресурсами для достижения четырёх целей — лучшего производства, лучшего питания, лучшей окружающей среды и лучшей жизни».

Пять ключевых направлений, в которых ИИ изменит управление водными ресурсами в 2025 году⁷

Управление водными ресурсами является одной из самых актуальных экологических проблем, требующих решения в настоящее время. Всемирный экономический форум отмечает, что изменение климата, рост населения и недостатки в планировании и землепользовании являются основными факторами, способствующими ухудшению состояния 50% мировых запасов пресной воды.

Для форума инвестиции в устойчивость водных ресурсов стали критически важным инструментом для преодоления этой тенденции. Даже Европейская комиссия в отчете за 2025 г. подчеркнула срочность принятия мер по защите водных ресурсов и разработке стратегий по укреплению их устойчивости.

В этом контексте применение искусственного интеллекта становится всё более важным для улучшения управления водными ресурсами, повышения эффективности, снижения затрат и обеспечения устойчивости. Эта технология позволяет анализировать огромные массивы данных в реальном времени, улучшая управление инфраструктурой и способствуя более прочным отношениям с пользователями.

Роль ИИ в прогнозировании спроса на воду, оптимизации использования энергии и улучшении взаимодействия с пользователями трансформирует работу коммунальных служб, что приводит к более эффективным и устойчивым процессам. Эти достижения оптимизируют управление ресур-

⁷ Источник: Five key areas in which AI is set to transform water management in 2025 / <https://smartwatermagazine.com/news/xylem-vue/five-key-areas-which-ai-set-transform-water-management-2025> Опубликовано 17.03.2025

сами, решают экстренные ситуации и повышают устойчивость критической инфраструктуры. Мария Малхадас, директор по клиентским решениям в Европе компании Xylem, утверждает, что к 2025 г. искусственный интеллект станет движущей силой, преобразующей клиентский опыт и бизнес-операции, улучшая интеллектуальные рабочие процессы и максимизируя эффективность.

Платформа Xylem Vue, разработанная в результате партнерства компаний Idrisa и Xylem, выделила пять ключевых областей, в которых искусственный интеллект может трансформировать управление водными ресурсами по всему миру. Это подчеркивается в недавно опубликованном отчете компании Water Technology Trends 2025 — Revolutionizing Water Management.

Во-первых, речь идет о динамической оптимизации на очистных сооружениях. К 2025 г. ИИ продолжит революционизировать работу очистных сооружений с помощью систем, которые точно настраивают процессы, такие как дозирование реагентов и управление линией очистки в реальном времени. Цифровые двойники станут более сложными, моделируя различные сценарии и предсказывая проблемы до их возникновения. Это повысит эксплуатационную устойчивость в условиях экстремальных событий и дополнительно оптимизирует использование энергетических ресурсов.

Еще одна область, в которой искусственный интеллект играет решающую роль, — это прогнозирование спроса. Тенденции показывают, что передовые алгоритмы ИИ будут играть ключевую роль в более точном прогнозировании пиков потребления. К 2025 г. управление водными ресурсами станет полностью интегрированным, что позволит автоматически корректировать распределение и хранение воды. Это не только сократит отходы, но и обеспечит возможность коммунальным службам заблаговременно реагировать на изменения в поведении пользователей и погодные условия.

Аналогичным образом ИИ будет направлен на оптимизацию потребления энергии на насосных станциях и очистных сооружениях с использованием прогнозных моделей, которые адаптируют операции в зависимости от спроса. Эти решения, которые уже позволили сократить потребление энергии на 25%, станут еще более эффективными благодаря интеграции данных о климате и использованию их в реальном времени, что приведет к более экологичному управлению.

Еще одна область, в которой ИИ будет играть ведущую роль, — это предиктивное обнаружение проблем. По данным Xylem Vue, в 2025 г. системы ИИ станут более квалифицированными в раннем обнаружении утечек, мошенничества и эксплуатационных сбоев. Это повысит устойчивость

систем и снизит затраты на обслуживание, при этом обеспечив более персонализированный пользовательский опыт. Коммунальные службы смогут мгновенно уведомлять клиентов о конкретных проблемах, что будет способствовать более ответственному использованию воды.

Наконец, Xylem Vue подчеркивает важность улучшения процессов очистки сточных вод. В 2025 г. ИИ будет управлять полностью оптимизированной очисткой сточных вод, а предиктивные системы будут автоматически корректировать критические процессы, чтобы соответствовать более строгим экологическим нормам. Кроме того, цифровые двойники будут моделировать колебания качества воды, предсказывая проблемы и обеспечивая долгосрочную устойчивость.

По словам Хосе Санчеса, руководителя отдела по работе с клиентами компании Idrisa, искусственный интеллект «останется краеугольным камнем устойчивого управления водными ресурсами в 2025 г., позволяя компаниям оптимизировать операции и сокращать расходы за счет обработки огромных объемов данных и принятия решений на основе данных в реальном времени».

В общем, роль ИИ в управлении водными ресурсами в 2025 г. останется критической. Государственно-частное партнерство также будет играть ключевую роль в максимизации его потенциала.

Цифровая жажда: как новые дата-центры усугубляют дефицит воды в уязвимых регионах⁸

В The Guardian появился репортаж о том, как Amazon, Google и Microsoft строят центры обработки данных в районах с дефицитом воды на пяти континентах. Некоммерческая исследовательская организация SourceMaterial и The Guardian сообщили, что эти компании эксплуатируют центры обработки данных, которые потребляют огромное количество воды в некоторых из самых засушливых регионов мира и продолжают строить новые объекты.

⁸ Источник: Big Tech's New Data Centers Will Take Water From The World's Driest Areas / <https://waterpolitics.com/big-techs-new-datacentres-will-take-water-from-the-worlds-driest-areas/>
Опубликовано 11.04.2025

По информации из источников, ссылающихся на поддержку Дональда Трампа, три технологических гиганта планируют открыть сотни центров обработки данных как в США, так и за рубежом. Это, как отмечается в исследовании, может оказать значительное влияние на население, уже живущее в условиях дефицита воды.

Лорена Жауме-Паласи, основательница Ethical Tech Society, выразила мнение, что вопрос водообеспечения станет ключевым. Она подчеркнула, что для таких сообществ устойчивость в отношении природных ресурсов будет крайне сложной.

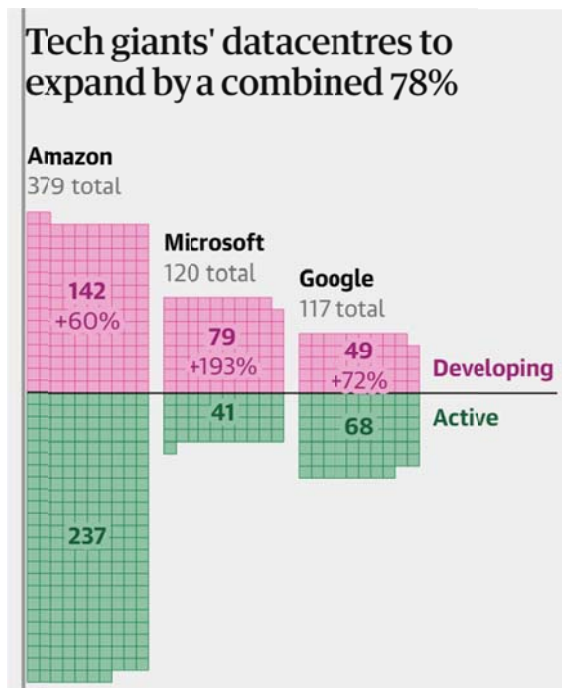
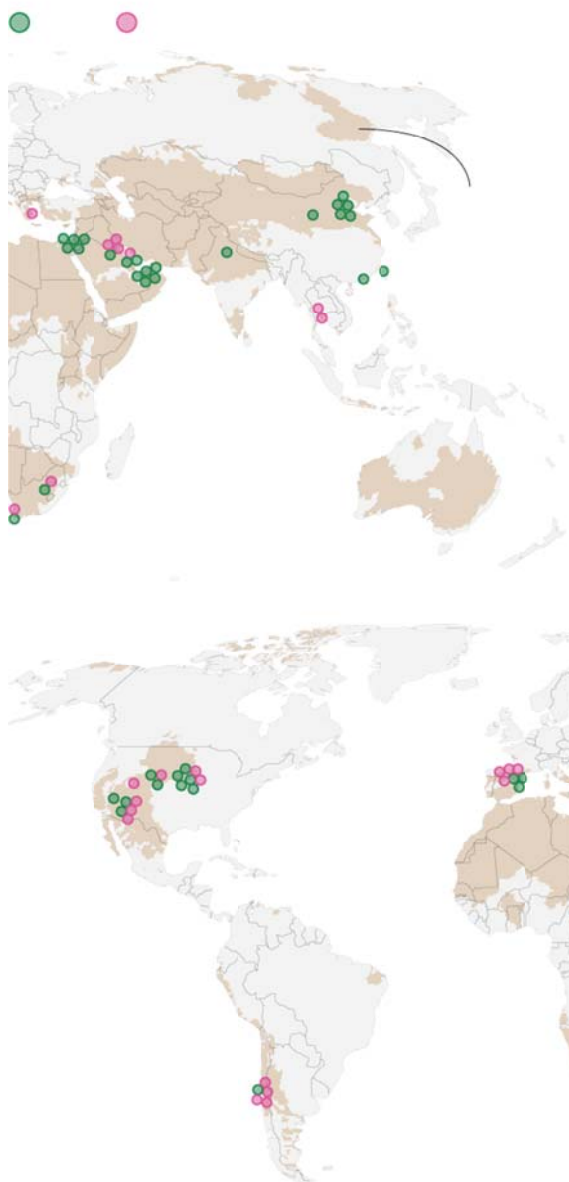
В ходе расследования SourceMaterial было установлено, что попытки Amazon, крупнейшего в мире интернет-ритейлера, сократить водопотребление встретили сопротивление внутри компании. Один из экспертов компании по вопросам устойчивого развития отметил, что планы Amazon в этой области «неэтичны».

В ответ на вопросы SourceMaterial и The Guardian представители Amazon и Google заявили, что всегда учитывают дефицит воды при разработке своих центров обработки данных. Microsoft, в свою очередь, отказалась предоставить комментарии.

Центры обработки данных, которые представляют собой огромные хранилища с сетевыми серверами, используемыми для удаленного хранения и обработки данных, а также для обучения моделей искусственного интеллекта, таких как ChatGPT, потребляют воду для охлаждения. Анализ SourceMaterial выявил 38 активных центров обработки данных, принадлежащих трем крупнейшим технологическим компаниям, в районах мира, уже сталкивающимся с дефицитом воды, а также 24 центров, находящихся на стадии разработки.

Местоположение дата-центров часто является отраслевой тайной. Однако, используя местные новостные репортажи и данные отраслевых источников Baxtel и Data Center Map, SourceMaterial составил карту из 632 дата-центров — как действующих, так и находящихся в стадии разработки — принадлежащих Amazon, Microsoft и Google.

В отчете сообщается, что планы этих компаний предполагают увеличение числа собственных центров обработки данных по всему миру на 78%, поскольку облачные вычисления и искусственный интеллект приводят к резкому росту мирового спроса на хранилища. Строительство новых объектов запланировано в Северной Америке, Южной Америке, Европе, Азии, Африке и Австралии.



В тех регионах мира, где водных ресурсов достаточно, высокий уровень водопотребления центрами обработки данных не представляет такой большой проблемы. Однако, как сообщили в Microsoft, в 2023 г. 42% их водоснабжения поступает из «районов с дефицитом воды». В свою очередь, Google заявила, что 15% их водопотребления приходится на районы с «острым дефицитом воды». Представители Amazon не раскрыли эту информацию.

Теперь эти компании планируют расширить свою деятельность в некоторых из самых засушливых регионов мира, как показал анализ SourceMaterial и The Guardian.

Лорена Жауме-Паласи отметила, что «это не совпадение, что они строят в засушливых районах». По ее словам, центры обработки данных часто возводят в таких странах, где низкая влажность снижает риск коррозии металла, а использование морской воды для охлаждения также может привести к коррозии.

«Твое облако иссушает мою реку»

Три новых центра обработки данных Amazon, которые планируется построить в регионе Арагон на севере Испании (каждый из которых будет расположен рядом с существующим центром обработки данных Amazon), получат лицензию на использование примерно 755 720 м³ воды в год. Этого количества достаточно для орошения 233 га (576 акров) кукурузы — одной из основных сельскохозяйственных культур региона.

По словам Аарона Вемхоффа, специалиста по энергоэффективности из Университета Вилланова в Пенсильвании, на практике уровень водопотребления будет еще выше, поскольку эта цифра не учитывает воду, используемую для выработки электроэнергии, которая будет питать новые установки.

Между тем, новые дата-центры Amazon в регионе Арагон, как ожидается, будут потреблять больше электроэнергии, чем весь регион потребляет в настоящее время. В декабре Amazon подала запрос в региональное правительство на разрешение увеличить уровень водопотребления в трех существующих дата-центрах на 48%.

Противники компании обвинили ее в недемократичности, отметив, что она пытается ускорить подачу заявки в период Рождества. В своей заявке Amazon заявила, что дополнительная вода необходима, поскольку «изменение климата приведет к повышению глобальной температуры и частоте экстремальных погодных явлений, включая волны тепла».

Аврора Гомес из группы активистов Tu Nube Seca Mi Río (по-испански «Твое облако сушит мою реку») заявила, что компании используют слишком много воды и энергии. Она призвала ввести мораторий на строительство новых центров обработки данных в Испании из-за дефицита воды.

В Испании, как сообщают источники, растет число смертей, связанных с жарой и экстремальными погодными явлениями, которые ученые связывают с климатическим кризисом. В прошлом месяце, как отметили власти, правительство Арагона обратилось за помощью к ЕС для борьбы с засухой.

Фермер Чечу Санчес выразил свою обеспокоенность тем, что центры обработки данных будут расходовать воду, необходимую для его урожая.

Чечу Санчес заявил, что эти дата-центры используют воду, поступающую из северного Арагона, где он находится. Он выразил свою обеспокоенность, подчеркнув, что «они потребляют воду — откуда они ее берут? Конечно, они берут ее у вас».

По словам Лорены Жауме-Паласи, учитывая, что 75% территории страны уже подвержены риску опустынивания, сочетание климатического кризиса и расширения центров обработки данных «ставит Испанию на грань экологического коллапса».

На вопрос о решении одобрить строительство большего числа центров обработки данных представитель правительства Арагона сообщил, что они не поставят под угрозу водные ресурсы региона, поскольку их воздействие «незаметно».

Компенсация воды

Amazon не предоставляет общих данных о воде, используемой ее центрами обработки данных по всему миру. Однако компания заявила, что к 2030 г. она станет «водопозитивной», компенсируя свое потребление за счет предоставления воды сообществам и экосистемам в районах с дефицитом воды в других местах.

По информации компании, в настоящее время Amazon компенсирует 41% своего водопользования в районах, которые она считает неустойчивыми. Однако этот подход уже вызвал споры внутри компании.

Натан Вангуси, бывший менеджер по устойчивому развитию водных ресурсов в Amazon, отметил, что он поднимал вопрос об этичности такого подхода во всех нужных инстанциях. Он заявил, что был «крайне несогласен с этим принципом, исходя из чистого опыта устойчивого развития».

Microsoft и Google также обязались стать «водопозитивными» т.е. активно способствовать устойчивому развитию и восстановлению водных ресурсов к 2030 г., компенсируя свои расходы на воду и разрабатывая более эффективные способы ее использования.

Вемхофф, специалист из Университета Вилланова, отметил, что компенсация воды не может работать так же, как компенсация выбросов углерода, когда тонна загрязняющих веществ, удаленных из атмосферы, может компенсировать тоннаж, выброшенный в другом месте. Он подчеркнул, что улучшение доступа к воде в одном районе не поможет сооб-

шеству, которое потеряло доступ к воде в другом месте, добавив, что «углерод — это глобальная проблема, вода же — более локализованная».

По словам Натана Вангуси, Amazon следует сосредоточиться на проектах, направленных на обеспечение доступности воды, «потому что это будет правильно», а не компенсировать свое водопотребление и заявлять о своей «водосберегающей» политике.

В марте Amazon объявила, что будет использовать искусственный интеллект для того, чтобы помочь фермерам Арагона более эффективно использовать воду. Однако, как заявил активист Гомес, это является «преднамеренной стратегией запутывания», которая отвлекает внимание от просьбы компании увеличить уровень водопотребления.

В Amazon отметили, что их подход нельзя назвать компенсационным, поскольку проекты реализуются в тех сообществах, где компания осуществляет свою деятельность. Гарри Стэйт, представитель Amazon, подчеркнул, что компания понимает ценность воды и стремится внести свой вклад в решение этой проблемы. Он добавил, что «важно помнить, что многим нашим объектам не требуется постоянное использование воды для охлаждения операций».

Чрезвычайная засуха

Amazon на сегодняшний день является крупнейшим владельцем центров обработки данных в мире благодаря своему облачному подразделению Amazon Web Services, однако, как показали данные SourceMaterial, Google и Microsoft быстро догоняют ее.

В США, где расположено наибольшее количество дата-центров в мире, Google, вероятно, будет строить в засушливых районах. В настоящее время у Google есть семь активных дата-центров в тех частях страны, где наблюдается дефицит воды, и компания строит еще шесть.

Дженн Дафф, член совета в Месе, штат Аризона, которая является быстрорастущим центром дата-центров, предупредила, что «мы должны быть очень, очень осторожны в связи с ростом числа крупных водопользователей». В январе Meta, владелец Facebook, WhatsApp и Instagram, открыла в городе дата-центр стоимостью \$1 млрд, а Google строит еще два.

По данным Национального управления океанических и атмосферных исследований, близлежащий округ Марикопы, где также находятся два активных центра обработки данных Microsoft, сталкивается с «экстремальной засухой». В июне 2023 г., как сообщили должностные лица штата

Аризона, были отозваны разрешения на строительство некоторых новых домов из-за дефицита подземных вод.

Тем не менее, засуха не помешала планам Google по созданию второго центра обработки данных в Месе. При этом первый центр компании получил разрешение на использование 5,5 млн м³ воды в год — примерно столько же потребляют 23 000 обычных жителей Аризоны.

Кэтрин Соренсен, профессор Университета штата Аризона и бывший директор департамента водоснабжения Месы, поставила вопрос, стоит ли увеличение налоговых поступлений и создание сравнительно небольшого числа рабочих мест того, чтобы расходовать столь ценную воду. Она добавила, что городские советы обязаны тщательно обдумать и изучить все возможные компромиссы.

Google заявила, что не будет использовать весь объем воды, указанный в разрешении на строительство электростанции в Месе, так как компания планирует использовать систему воздушного охлаждения. Крис Массетт, представитель Google, пояснил, что «системы охлаждения — это гиперлокальное решение, основанное на нашей стратегии, ориентированной на данные, которая называется „охлаждение с учетом климата“. Эта стратегия позволяет добиться баланса между доступностью безуглеродной энергии и ответственно полученной водой, минимизируя воздействие на климат как в настоящем, так и в будущем».

Звездные врата

В январе, как сообщили источники, в Белом доме Трамп анонсировал «Проект Звездные врата», который он назвал «крупнейшим проектом инфраструктуры ИИ в истории». Совместное предприятие стоимостью \$500 млрд, между компанией OpenAI, американским разработчиком программного обеспечения Oracle, японским SoftBank и инвестиционной фирмой MGX из Эмиратов, будет финансировать центры обработки данных по всей территории США.

За день до объявления о запуске проекта «Звездные врата», в день инаугурации Трампа, китайская компания DeepSeek представила свою модель искусственного интеллекта. Как заявили в компании, их модель использовала гораздо меньше вычислительных мощностей и, следовательно, потребляла меньше воды, чем ее западные конкуренты.

Совсем недавно, как сообщило Bloomberg, Microsoft отказалась от некоторых своих планов по строительству новых центров обработки данных по всему миру. Компания также опубликовала планы по созданию

центра обработки данных с «нулевым уровнем водопотребления», в то время как Google заявила, что будет использовать воздушное охлаждение для снижения водопотребления, хотя пока не ясно, как именно будут работать эти системы.

Лорена Жауме-Паласи выразила сомнение, заявив, что она поверит, когда увидит. Она отметила, что большинство центров обработки данных сейчас переходят с воздушного охлаждения на водяное, поскольку жидкость более эффективна при охлаждении стоек высокой плотности, которые в основном используются для ИИ.

Несмотря на обещания администрации Трампа ускорить реализацию новых энергетических проектов для обеспечения этих центров, пока не было сделано никаких заявлений относительно объема воды, которую они будут использовать.

Аврора Гомес подчеркнула, что «ни люди, ни данные не могут существовать без воды», добавив, что «человеческая жизнь необходима, а данные — нет».

НАСА отслеживает процесс таяния снега для улучшения управления водными ресурсами⁹

В рамках научной миссии по отслеживанию одного из самых ценных ресурсов Земли — воды, самолет C-20A НАСА провел серию из семи исследовательских полетов в марте. Эти полеты могут помочь исследователям отслеживать процесс таяния снега и его превращения в пресноводный ресурс. Беспилотный летательный аппарат с синтезированной апертурой (UAVSAR), установленный на самолете, собирал данные о сезонном снежном покрове и оценивал количество содержащейся в нем пресной воды.

Как сообщил Старр Джинн, менеджер проекта C-20A исследовательского центра в области авиации, управляемый НАСА (NASA Armstrong Flight Research Center) в Эдвардсе, Калифорния, сезонный снег является критически важным ресурсом для обеспечения питьевой воды, выработки

⁹ Источник: Integrated remote control and DSS platforms are crucial to digitally transforming irrigation / <https://smartwatermagazine.com/news/xylem-vue/integrated-remote-control-and-dss-platforms-are-crucial-digitally-transforming> Опубликовано 23.04.2025

электроэнергии, а также для поддержки сельскохозяйственных и рекреационных отраслей, которые составляют многомиллиардные сектора экономики. Он также отметил, что понимание распределения сезонного снега и последующего стока является важным для оптимального использования этого ресурса.

Миссия Dense UAVSAR Snow Time (DUST) была направлена на картирование накопления снега в горах Сьерра-Невада в Калифорнии и Скалистых горах в Айдахо. Ученые, участвующие в миссии, могут использовать полученные данные для оценки объема воды, содержащейся в снежном покрове.

Шади Овейсгаран, главный исследователь миссии DUST и ученый Лаборатории реактивного движения NASA в Южной Калифорнии, сообщил, что до недавнего времени определение наилучшего метода для точного измерения водного эквивалента снежного покрова (SWE), то есть того, сколько и когда пресной воды преобразуется из снега, оставалось сложной задачей. Он отметил, что UAVSAR зарекомендовал себя как эффективный инструмент для получения данных о водном эквиваленте снежного покрова.

Он также добавил, что недавние исследования показали изменения в свойствах снега, погодных условиях и сезонных факторах на американском Западе, которые произошли за последние десятилетия. Эти изменения существенно повлияли на предыдущие представления о мониторинге снежного покрова и прогнозах снежного стока. Миссия DUST была направлена на улучшение отслеживания этих изменений и на развитие более точных оценок преобразования снега в воду, а также на определение временных рамок этого процесса.

Овейсгаран отметил, что они стараются определить оптимальное время для сбора данных о снеге, поскольку такая оценка позволит точнее рассчитывать объёмы свежеснежавшего снега и эффективнее управлять водохранилищами.

Миссия DUST достигла нового уровня точности данных о снеге, чему частично способствовали специальные траектории полёта, по которым летал самолёт C-20A. Автопилот высокой точности (PPA), установленный на борту, позволяет команде выполнять полёты по строго заданным маршрутам с точными высотами, скоростями и углами, что обеспечивает более точное измерение изменений рельефа с помощью радара UAVSAR.

Инженер по эксплуатации воздушной научной программы НАСА Армстронг Джо Пиотровски-младший привёл образный пример, чтобы пояснить точность системы: он предложил представить ряды, оставленные газонокосилкой на траве. По его словам, система PPA позволяет самолёту

С-20А прокладывать такие же ровные маршруты, одновременно измеряя изменения рельефа с точностью до сантиметра в диаметре.

Оценка пополнения запасов подземных вод с использованием спутниковых данных о влажности почвы с высоким разрешением¹⁰

**Джакопо Дари, Паоло Филиппуччи, Лука Брокка,
Рафаэль Кваст, Мариетт Фрегденхил, Диего Дж. Мираллес,
Ренато Морбиделли, Карла Сальталиппи, Алессия Фламмини**

Подземные воды являются важнейшим компонентом пресной воды, доступной на глобальном уровне, часто служа основным источником воды для сельского хозяйства и коммунальных нужд. Этот ресурс остается устойчивым только при условии, что его не истощают, то есть если забор воды не превышает уровень ее естественного пополнения в сезонные периоды. Однако как мониторинг, так и моделирование пополнения подземных вод сталкиваются с рядом проблем, таких как неопределенность в характеристиках почвы, нехватка рабочей силы для проведения необходимых измерений и ограничения по пространственному охвату. В этой работе Якопо Дари и его коллеги предлагают новую методологию оценки пополнения подземных вод с использованием спутниковых данных о влажности почвы с высоким разрешением. Исследование было недавно опубликовано в журнале *Journal of Hydrology*.

Проблема оценки пополнения подземных вод

Подземные воды играют ключевую роль в круговороте воды, являясь основным источником водоснабжения для сельского хозяйства и бытовых

¹⁰ Источник: Jacopo Dari, Paolo Filippucci, Luca Brocca, Raphael Quast, Mariette Vreugdenhil, Diego G. Miralles, Renato Morbidelli, Carla Saltalippi, Alessia Flammini . High-resolution satellite soil moisture offers the possibility of estimating groundwater recharge / <https://www.globalwaterforum.org/2025/05/01/high-resolution-satellite-soil-moisture-offers-the-possibility-of-estimating-groundwater-recharge/> Опубликовано 1.05.2025

нужд в различных регионах мира. Глобальное потепление и рост населения усиливают проблему истощения подземных вод — тенденция, которую наблюдают в ряде научных исследований. Последствия этого истощения многообразны и могут охватывать такие явления, как повышение уровня океанов и изменение положения полюса вращения Земли, как показали наблюдения Seo et al. (2023).

Оценка пополнения запасов подземных вод обычно проводится с использованием аналитических методов моделирования, направленных на воспроизведение нисходящего потока воды через ненасыщенную зону. Для точного решения управляющего уравнения необходимо учитывать гидравлические свойства почвы, что делает обязательным проведение полевых наблюдений. В результате пространственная реализация таких методов часто сталкивается с трудностями.

Извлечения данных наблюдений за Землей обладают потенциалом для применения альтернативных подходов моделирования, основанных на инверсии баланса почвенных вод, при котором пополнение подземных вод оценивается как остаточный термин. Используя этот метод, можно исследовать сложные ландшафты, такие как средиземноморский регион, с использованием недавно доступных данных с высоким разрешением. Этот подход может открыть новую эру гидрологических приложений.

Новая гибридная структура

В исследовании (Dari et al., 2025) была предложена новая гибридная методология, которая объединяет преимущества аналитических подходов и методов, основанных на водном балансе, для оценки пополнения запасов подземных вод. Наш подход заключается в калибровке параметров почвы с использованием широко применяемой аналитической формулы нисходящего потока воды, а именно уравнения Ван Генухтена (van Genuchten, 1980), через инверсию водного баланса почвы и использование интенсивности осадков в качестве целевого наблюдения. Предложенная методология является крайне гибкой и может быть применена даже в случае, если свойства почвы неизвестны, поскольку она опирается на более доступную информацию о интенсивности осадков, а не на динамику подземных вод. Подход, основанный на водном балансе почвы, ранее использовался в исследованиях, направленных на оценку осадков и орошения.

Мы протестировали предложенный метод на примере региона Умбрия в центральной Италии. Умбрия была выбрана по двум причинам. Во-первых, этот регион оснащен плотной сетью станций, которые непрерывно контролируют уровень подземных вод и использовались для верификации

метода. Во-вторых, регион отличается сложной орографией, что способствует выявлению добавленной ценности использования данных с высоким разрешением. В рамках исследования были использованы оценки влажности почвы, полученные с помощью спутниковых данных с разрешением 1 км, предоставленных миссией Sentinel-1 Европейского космического агентства (ESA). Для оценки испарения использовалась недавно разработанная версия набора данных с разрешением 1 км (Brossa et al., 2024), основанная на модели глобального испарения суши Амстердама (GLEAM; Miralles et al., 2011), а для оценки осадков были использованы данные с дождемеров.

Результаты были проанализированы прежде всего с точки зрения аномалий пополнения, путем сравнения месячных оценок с наблюдаемыми положительными изменениями уровня подземных вод, агрегированными в том же временном масштабе. В качестве показателей эффективности были использованы среднеквадратичная ошибка (RMSE), коэффициент корреляции Пирсона (r) и процент ложноположительных результатов (FP). Последний показатель рассчитывается как процент ложных событий пополнения, которые были обнаружены при отсутствии положительного импульса в временном ряду наблюдений за уровнем подземных вод. В целом, эффективность нового подхода оказалась удовлетворительной и зачастую позволяла делать интересные выводы. Для половины станций, использованных для калибровки, значения r были выше 0,5, FP составили менее 43%, а RMSE — менее 1,72. При дальнейшем ограничении выборки до первого квартиля станций, демонстрирующих наилучшее согласие со спутниковыми оценками, значение r превышало 0,62, а RMSE и FP были ниже 1,46 и 30%, соответственно.

Для объяснения неудовлетворительных результатов, полученных на нескольких станциях, был проведен более детальный анализ. Результаты показали явную зависимость между точностью предлагаемых оценок и корреляцией между количеством осадков и наблюдаемыми колебаниями уровня подземных вод. Иными словами, чем менее нарушен водоносный горизонт (то есть он реагирует только на естественные поступления воды, такие как осадки), тем точнее работает предложенная методология. Таким образом, более низкие показатели, наблюдавшиеся на некоторых станциях, могут быть связаны с вмешательством человека, изменяющим естественную динамику подземных вод, или с боковым обменом. Это предположение было подтверждено в ходе оценки, проведенной совместно с управляющим сетью.

Наконец, аномалии пополнения подземных вод были преобразованы в фактические объемы, а годовые оценки были сравнены с наблюдениями, полученными из справочных данных. На десяти отобранных станциях, где наблюдения в меньшей степени подвержены антропогенным изменениям,

годовое пополнение подземных вод правильно воспроизводится предложенной системой, с средней ошибкой, составляющей 9%.

Что дальше?

Предложенная методология обладает значительным потенциалом для повсеместного применения, благодаря глобальному покрытию, обеспечиваемому спутниковыми продуктами. Более того, поскольку для калибровки не требуется справочная информация о уровне подземных вод или характеристиках почвы, методология позволяет легко получать пространственно-распределенные оценки пополнения запасов подземных вод на различных пространственных масштабах. Таким образом, разработанная система является отличным инструментом для мониторинга доступности пресной воды с использованием данных наблюдения Земли. Исследование также подчеркивает важность данных о влажности почвы для интерпретации и поддержки результатов гравиметрических миссий.

Как спутники изменили наше представление о реках: новые методы картографирования и анализа речной подвижности¹¹

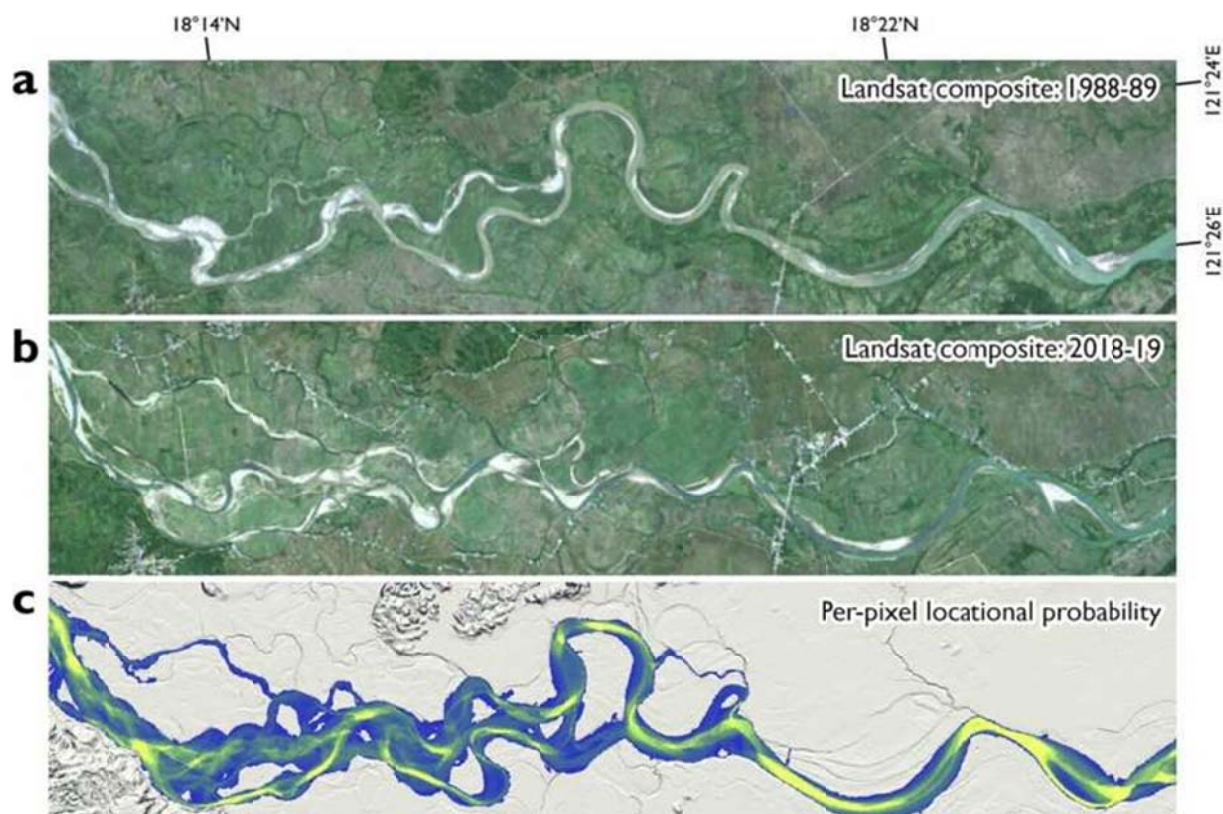
Анализ спутниковых снимков крупнейших речных систем Филиппин, проведенный международной группой исследователей, позволил выявить неожиданные особенности поведения рек, имеющие большое значение для управления водными ресурсами в условиях тропического климата.

Учёные сообщили, что в ходе исследования ими были проанализированы тысячи спутниковых снимков, с помощью которых удалось количественно оценить закономерности и уровень подвижности русел рек. Для этого применялись методы работы с большими данными, позволяющие отслеживать, как со временем меняется положение рек.

¹¹ Источник: Mapping change: Decades of satellite imagery reveal new insights into river mobility / <https://phys.org/news/2025-04-decades-satellite-imagery-reveal-insights.html> Опубликовано 15.04.2025

По их словам, в статье, опубликованной в Nature Communications, была описана методика анализа более 10 000 спутниковых снимков с использованием платформы Google Earth Engine. Исследователи отметили, что таким образом им удалось рассчитать так называемые «вероятности расположения» — показатель того, насколько часто река занимала определённые участки территории в разные периоды времени. Этот метод, по их мнению, предоставляет эффективный инструмент для визуализации и количественной оценки пространственной изменчивости русел рек на протяжении десятилетий.

Ведущий автор исследования, доктор Ричард Бутройд с кафедры географии и планирования Ливерпульского университета, отметил, что в эпоху больших данных цифровые изображения рек, полученные на основе многолетних спутниковых наблюдений, открывают новые горизонты для понимания того, как речные системы приспосабливаются и эволюционируют.



*Геоморфологическая подвижность реки
на участке реки Абулуг протяженностью 25 км*

Он подчеркнул, что в отличие от предыдущих исследований, сосредоточенных преимущественно на увлажнённых участках русел, видимых на спутниковых снимках, их группа применила иной подход. Исследовате-

ли рассмотрели всю активную ширину рек — включая как водную поверхность, так и не заросшие аллювиальные отложения. Это позволило получить более полное представление о процессах адаптации рек в динамичных природных условиях.

Также в ходе анализа были выявлены так называемые «горячие точки» речной подвижности, отличающиеся по интенсивности, масштабу и географическому положению в разных речных бассейнах. Учёные установили, что русла рек чередуются между зонами относительной стабильности и участками с высокой подвижностью. При этом выявленные закономерности существенно различаются как между различными речными системами, так и между отдельными участками одной и той же реки, что, по мнению авторов, подчёркивает уникальный, индивидуализированный характер речной динамики.

Исследование стало результатом совместной работы учёных из Университета Глазго, Ливерпульского университета, Лондонского университета Брунеля, Оклендского университета и Филиппинского университета в Дилимане.

Профессор Карлос Примо С. Дэвид из Национального института геологических наук при Филиппинском университете отметил, что полученные результаты подчёркивают поразительную изменчивость моделей речной подвижности, каждая из которых формируется под воздействием сложного и многомасштабного взаимодействия различных факторов.

Исследователи также указали, что им не удалось установить чётких и однозначных связей между локальными характеристиками — такими как ширина активного русла, ширина долинного дна или коэффициент ограничения — и степенью подвижности рек. Кроме того, не было выявлено зависимости между типом русла (напр., разветвлённым или извилистым) и скоростью его адаптации к изменениям окружающей среды.

Доктор Ричард Бутройд отметил, что полученные результаты имеют важное практическое значение. По его словам, в таких динамичных природных ландшафтах, как на Филиппинах, где реки представляют серьёзную угрозу для населения и инфраструктуры, понимание закономерностей и темпов изменения русел является ключевым фактором при разработке устойчивых стратегий управления. Он подчеркнул, что такие стратегии должны учитывать естественные процессы, происходящие в речных системах, и работать в согласии с ними, а не вопреки.

Исследовательская группа выразила уверенность в том, что предложенный ими подход, основанный на использовании вероятностей расположения, вычисленных на основе спутниковых данных, способен изменить как научное понимание, так и практику управления динамичными реками по всему миру. Они отметили, что данный метод позволяет создавать свое-

го рода «живую базу данных», которая может регулярно обновляться по мере поступления новых спутниковых снимков, обеспечивая актуальную и детализированную информацию для мониторинга и принятия решений.

Технологии

Новый материал литрами добывает воду из воздуха благодаря своей структуре¹²

Ученые в Шанхае создали гидрогубку — новый материал, способный извлекать воду из воздуха и отдавать ее под действием солнечного тепла. При относительной влажности 80% губка впитывает до 4,21 грамма воды на грамм вещества, а для выделения влаги требуется на 40% меньше энергии, чем при нагреве обычной воды. В реальных условиях материал обеспечивает до 6,29 литра воды на квадратный метр в сутки. При этом днем вода выходит из материала сама, без приложения каких-либо усилий. Разработка может стать доступным и экологичным решением проблемы дефицита воды в засушливых регионах.

Гидрогели обладают высокой водопоглощающей способностью, но удерживают влагу слишком прочно. Для её удаления требуется энергетическое воздействие, чаще всего нагрев. В свою очередь, губки благодаря легкой пористой структуре легко отдают влагу. Однако их главный недостаток — чрезмерно быстрое высыхание из-за слабого удержания воды. Гидрогубка объединяет преимущества обоих материалов — высокую водопоглощающую способность при минимальных энергозатратах. Она мягкая и впитывающая, но при этом обладает пористой структурой, позволяющей легко высвобождать воду под воздействием слабого тепла, например солнечного света.

В основе гидрогубки экологически чистые компоненты — хитозан, получаемый из отходов моллюсков, γ -полиглутаминовая кислота (биополимер) и поливинилпирролидон. Для повышения эффективности преобразования солнечного света в тепло исследователи добавили в состав полипиррол. Чтобы создать особую структуру гидрогубки использовались сразу два метода вспенивания — физический и химический. В результате материал на 70% состоит из соединенных между собой пустот. Такая сеть пор позволяет пару свободно проходить сквозь материал и одновременно

¹² Источник: <https://hightech.plus/2025/04/07/novii-material-litrami-dobivaet-vodu-iz-vozduha-blagodarya-svoei-strukture> Опубликовано 7.04.2025

адсорбироваться на его поверхности. В составе также есть хлорид лития — соль, которая хорошо впитывает влагу из воздуха.

Получившаяся гидрогубка CPPY@LiCl способна удерживать и выделять воду без внешних источников энергии. Особенность материала — в способе хранения воды.

Внутри него влага существует в трех состояниях: прочно связанная с материалом, слабо связанная и свободно перемещающаяся в порах. CPPY@LiCl содержит преимущественно слабосвязанную и свободную воду, для удаления которой требуется гораздо меньше энергии по сравнению с материалами, где вода связана прочно.

Так, для испарения воды из CPPY@LiCl требуется примерно на 40% меньше энергии по сравнению с обычной водой. Кроме того, если традиционные водоудерживающие материалы обычно выделяют влагу при 80°C, то гидрогубка начинает высвобождать жидкость уже при 50°C. Это означает, что для её работы достаточно естественного солнечного тепла.

Исследователи провели серию экспериментов для оценки влагопоглощающей способности CPPY@LiCl в различных условиях. При относительной влажности воздуха 30% материал показал результат 1,64 грамма воды на грамм вещества. При повышении влажности до 60% этот показатель достиг 2,65 грамма, а при 80% — 4,21 грамма. Материал также оставляли на ночь на открытом воздухе, а днем собирали выделяемую воду.

По итогам тестов гидрогубка продемонстрировала производительность 6,29 литра воды в сутки на квадратный метр поверхности. При этом после воздействия интенсивного ультрафиолетового излучения материал сохранил 90% первоначальной способности к влагопоглощению.

На завершающем этапе исследователи проверили качество полученной воды. Собранная жидкость соответствовала нормам безопасности Всемирной организации здравоохранения и была пригодна для питья. Поэтому CPPY@LiCl может решить проблему вододефицита в различных регионах мира. Материал биоразлагаем, а для работы нужен только солнечный свет.

Наука и исследования

Водные прогулки как метод общественных водных исследований¹³

Кирсти Холстед

Когда мы проводим исследование, нам необходимо выбрать подходящий метод или набор методов для изучения объекта. Мы можем использовать интервью, опросы или модели, чтобы понять сложные водные системы. Однако, что происходит, когда исследователи вместе с участниками идут вдоль тех самых рек, каналов и береговых линий, которые они изучают? Именно в этом заключается суть «водной прогулки» — творческого и интерактивного метода исследования, о котором рассказывается в недавней статье Кирсти Холстед и её коллег, опубликованной в журнале *WIREs Water*. В статье Кирсти описывает, как с помощью этого метода прогулка становится способом слушать, учиться и связывать людей, место и воду.

Водная прогулка — инновационный подход, представляющий собой структурированный, но гибкий способ глубокого изучения отношения людей к воде — эмоционального, культурного, исторического и политического. Этот метод часто используется в исследованиях, хотя зачастую остаётся непризнанным и неформализованным. В то же время он может дать новые знания о социальной динамике водопользования, управления и лидерства. В данной статье, обобщающей нашу недавнюю публикацию в *WIREs Water*, я предлагаю вводное руководство для тех, кто хотел бы использовать водные прогулки в своих социальных исследованиях, связанных с водой.

Прогулка по воде может быть простым, но эффективным методом. Исследователи приглашают участников пройти с ними вдоль водоёма — будь то ручей, озеро или городской водоток. Например, это может быть перемещение по городам и посёлкам для наблюдения за водохозяйственной инфраструктурой, такой как трубопроводы, каналы или системы защиты от наводнений. Также прогулки могут включать посещение рек, парков

¹³ Источник: Kirsty Holstead. Using water walks in social water research / <https://www.globalwaterforum.org/2025/05/20/using-water-walks-in-social-water-research/> Опубликовано 20.05.2025

с водными объектами или институциональных объектов, связанных с управлением водными ресурсами, например, правительственных зданий. В некоторых случаях водные прогулки включают повседневные практики, такие как рыбалка или сбор питьевой воды, что помогает лучше понять, как люди и сообщества ежедневно взаимодействуют с водой.

То, что происходит во время прогулки, зависит от цели исследования. В нашей статье мы приводим четыре примера. Например, я гулял с членами общин, которые показывали мне затопленные районы своих городов, чтобы изучить реакцию жителей на наводнения и возможности сотрудничества между общинами и местными властями. Кевин Грекш гулял с политиками в Бирмингеме, чтобы обсудить их отношение к механизмам управления в Великобритании. Джеймс Боннер совершал прогулки с местными жителями в Малави, чтобы обсудить различные значения воды, а Лаура Мейджор ходила одна, ориентируясь на карты, составленные участниками, и изучая историческую водохозяйственную инфраструктуру.

Мы выделяем три ключевых аспекта, или «плоскости вариаций», которые определяют, как проводятся водные прогулки. Во-первых, кто руководит прогулкой: это может быть исследователь с заранее запланированным маршрутом или участник, хорошо знающий местность, который сам ведёт прогулку. Во-вторых, режим прогулки может варьироваться от неструктурированных «блужданий» до полностью спланированных экскурсий с определёнными остановками. В-третьих, взаимодействие с водой может быть разным — от восприятия её как фона для разговора и обсуждения произошедших событий до активного изучения её физического, символического или близкого присутствия в жизни людей, возможно с использованием сенсорных или художественных методов. Эти различия не имеют оценочного характера — одно не лучше другого. Мы рассматриваем их как континуумы, позволяющие исследователям делать осознанный выбор методов и способов их применения.

Метод создаёт пространство для наблюдения и размышлений. По мере того, как участники взаимодействуют с окружающей средой, они начинают раскрывать свои ощущения воды — не только как ресурса, но и как важного элемента их повседневной жизни (в зависимости от целей исследования). Исследователи записывают эти беседы, делают фотографии, ведут полевые заметки и впоследствии анализируют собранные данные.

В статье мы утверждаем, что водные прогулки заполняют пробел, существующий в традиционных методах исследования, которые часто не способны отразить жизненный опыт людей, взаимодействующих с водой. Вместо того чтобы ограничиваться вопросами в офисе или анкетированием, водные прогулки позволяют проводить исследования непосредственно на месте и в контексте.

Хотя водные прогулки могут не подходить для всех условий и порождать различные проблемы, которые мы также обсуждаем ниже, наш общий опыт показывает, что этот метод позволяет:

- **Обеспечить возможности для конструктивного диалога с местными жителями и практиками.** Люди часто чувствуют себя более расслабленными и открытыми в знакомой обстановке, а прогулки бок о бок способствуют более равной динамике между исследователем и участником.
- **Создать эмоциональные и культурные связи.** Вода — это не просто ресурс. Она хранит воспоминания, духовное значение, страхи и радости. Водные прогулки дают возможность рассказать эти истории.
- **Предложить идеи для более обоснованной и культурно релевантной политики в области водных ресурсов.** Например, когда лица, принимающие решения, понимают, как люди относятся к воде, они могут разрабатывать системы, которые будут лучше поддерживаться и использоваться населением. Аналогично, предоставляя практикам пространство для размышлений о своей роли в водных системах, водные прогулки помогают им вносить желаемые изменения или подходить к своей работе иначе в будущем.
- **Адаптироваться и настраиваться под различные цели и контексты исследований.** В статье приведены четыре примера водных прогулок, которые демонстрируют, как этот метод можно адаптировать к разным условиям — от сельских деревень до городских пространств.

Мы признаём, что водные прогулки не лишены трудностей. Планирование и логистика, такие как выбор подходящего маршрута, время проведения прогулки, а также обеспечение доступности и безопасности, требуют тщательной подготовки. Кроме того, необходимо учитывать возможные риски для здоровья и безопасности, так как водные прогулки могут привести исследователя и/или участников в физически неизвестные или сложные условия. Как и в любом исследовании, участники могут делиться личными и чувствительными мыслями. Поэтому исследователи должны внимательно подходить к вопросам согласия и конфиденциальности, а также при необходимости получать этическое одобрение.

Подводя итог, можно сказать, что проблемы водных ресурсов имеют не только технический, но и глубокий социальный характер. Их решение требует понимания того, как люди взаимодействуют с водой в повседневной жизни. Водные прогулки помогают преодолеть разрыв между техни-

ческими системами и человеческим опытом, перенося исследование из залитых комнат в места, где вода течёт, собирается или затопливает территории. Этот метод предлагает исследователям способ обосновать теорию на практике и совместно создавать знания с практиками и сообществами, которые играют ключевую роль в принятии решений по водным ресурсам и наибольшим образом затрагиваются ими.

Перевод: Усманова О., Юлдашева Г.

Верстка и дизайн: Беглов И., Дегтярева А.

Подготовлено к печати
в Научно-информационном центре МКВК

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

sic.icwc-aral.uz