

# Технология Н<sub>2</sub>О

Прадип Аггарвал и Али Буссаха



# Научные разработки МАГАТЭ для управления мировыми водоносными горизонтами.

*Мы знаем, что вода необходима для жизни.* Менее известен тот факт, что пресной водой можно обеспечить всех при условии, что ее мировые запасы хорошо изучены и экономно расходуются.

Вода – это ключевой фактор социально-экономического развития. Она также является основным элементом программ по сокращению бедности. В Декларации тысячелетия государства-члены ООН приняли решение “сократить вдвое к 2015 году долю населения земного шара, не имеющего доступа к безопасной питьевой воде, в том числе из-за нехватки средств”, и “остановить нерациональную эксплуатацию водных ресурсов, разрабатывая стратегии водохозяйственной деятельности на региональном, национальном и местном уровнях, способствующие справедливому доступу к воде и ее достаточному предложению”.

Устойчивый рост глобальной потребности в пресной воде в сочетании со стремительным промышленным и сельскохозяйственным развитием ставит под угрозу доступность и качество запасов пресной воды. Сегодня значительная часть мирового населения, особенно в регионах с дефицитом воды, страдает от недостаточного обеспечения водой. Махатма Ганди очень точно прокомментировал это более 60 лет назад: “Воды достаточно, чтобы удовлетворить нужды человека, но недостаточно для удовлетворения его жадности”. В докладе Генерального секретаря ООН на Всемирной встрече на высшем уровне по устойчивому развитию, которая состоялась в 2002 году в Йоханнесбурге, отмечалось, что глобальный водный кризис – это также и кризис управления.

В Африке, например, недостаточная доступность воды и приемлемых санитарных условий считается как причиной, так и следствием бедности. Хотя на континенте водных ресурсов более чем достаточно – около 17 крупных рек и 160 озер площадью более 27 км<sup>2</sup> каждое, – большая часть этих ресурсов находится во влажной и полувлажной зонах вокруг экватора. Поверхностный сток в Африке в среднем намного ниже, чем среднее количество осадков, вследствие высокого уровня испарения и эвапотранспирации. Это приводит к эндемической засухе в некоторых частях континента.

Вот почему для Африки подземные воды – подземные пруды и озера систем водоносных горизонтов – являются жизненно важным ресурсом. Они обеспечивают почти две трети всей питьевой воды на континенте, а для народов Северной Африки даже больше.

Аналогичная ситуация в Южной Америке – там объем водных ресурсов составляет около 3 млн. км<sup>3</sup>, но ежегодно используется только одна десятая часть от общего количества воды, выпадающей в виде осадков. Основными проблемами, стоящими перед этими странами, являются экологически рациональное использование подземных вод и предотвращение загрязнения имеющихся ресурсов.

## Линии жизни подземных вод

В глобальном масштабе подземные воды составляют около 90% имеющихся запасов пресной воды, за исключением ресурсов, заключенных в полярных льдах. Почти половина всей пресной воды, используемой для питья и орошения во всем мире, добывается из-под земли, чем обусловлена связь между устойчивостью ресурсов подземных вод и устойчивым развитием человечества.

Около 20% оросительных систем во всем мире, производящих 40% запасов продовольствия, зависит от подземных вод. Согласно подсчетам почти 10% глобального производства продуктов питания может зависеть от воды для орошения, извлекаемой из ископаемых или невозобновляемых водоносных горизонтов. Согласно сведениям Продовольственной и сельскохозяйственной организации ООН (ФАО) использование подземных вод для орошения на протяжении нескольких последних десятилетий, вероятно, позволило оттянуть время наступления очередного продовольственного кризиса.

---

Почти половина всей пресной воды, используемой для питья и орошения во всем мире, добывается из-под земли, чем обусловлена связь между устойчивостью ресурсов подземных вод и устойчивым развитием человечества.

---



**Пресной воды может хватить на всех – при условии, что ее мировые запасы хорошо изучены и экономно расходуются.**

### Изотопная гидрология

Несмотря на важность подземных вод для многих общин, местная общественность, как правило, мало обеспокоена их защитой, возможно, потому, что объемы и наличие подземных вод нелегко определить. Важно также учесть влияние на водные ресурсы нарастающих климатических колебаний, связанных как с временными факторами, так и с особыми условиями. Подземные воды дают возможность до некоторой степени смягчить негативные последствия изменения климата.

Для разработки устойчивых структур управления и определения политики необходимо иметь надежную гидрологическую информацию о качестве и количестве водных ресурсов. Получение доступа к такой информации требует значительного времени и финансовых средств и обычно не может быть осуществлено за то короткое время, в течение которого необходимо удовлетворить потребности общества в воде.

Ядерные и изотопные методологии обеспечивают гидрологов мощными инструментальными средствами для оперативной оценки водных ресурсов и управления ими при значительно более низких затратах. Стабильные и радиоактивные природные изотопы уже более четырех десятилетий используются для изучения гидрологических систем; особенно эффективными они оказались при исследовании систем подземных вод.

Применение изотопов в гидрологии основано на общем принципе “отслеживания”, при этом используются либо специально введенные, либо встречающиеся в естественных условиях (природные) изотопы.

Природные изотопы (радиоактивные либо стабильные) имеют явное преимущество перед инжектируемыми (искусственными) изотопными индикаторами, выражающееся в том, что они облегчают исследование различных гидрологических процессов в гораздо более крупных временных и пространственных масштабах благодаря своему естественному распределению в гидрологической системе. Таким образом, методы на основе природных изотопов дают уникальную возможность получения пространственно-временных интегрированных характеристик систем подземных вод при региональных исследованиях водных ресурсов. Применение искусственных изотопных индикаторов обычно эффективно в конкретных, локальных условиях.

К числу наиболее часто применяемых природных изотопов относятся изотопы молекулы воды, т.е. водорода (а именно, дейтерий и тритий) и кислорода (кислород-18), а также углерод-13 и углерод-14, встречающиеся в воде в виде компонентов растворенных неорганических и органических углеродных соединений. Дейтерий, углерод-13 и кислород-18 являются стабильными изотопами соответствующих элементов, тогда как тритий и углерод-14 – это радиоактивные изотопы.

Среди наиболее важных областей применения изотопов для исследования подземных вод можно назвать процессы пополнения и истощения водоносных горизонтов, наличие водотока и соединений между горизонтами, а также источники, цикл существования и перенос загрязнителей. В частности, в условиях засушливого и полусушливого климата изотопные методы составляют фактически

единственный способ выявления и количественной оценки пополнения подземных вод.

Антропогенное загрязнение водоносных горизонтов неглубокого и глубокого залегания из-за чрезмерной эксплуатации пластов неглубокого залегания является одной из центральных проблем управления водными ресурсами. Природные изотопы могут применяться для отслеживания путей проникновения загрязнителей и прогнозирования пространственного распределения, а также для отслеживания изменений моделей загрязнения во времени для оценки сценариев миграции загрязнения и планирования мер по восстановлению водоносных горизонтов.

## Глобальные карты мировых водоносных горизонтов

Программа МАГАТЭ по водным ресурсам направлена на разработку изотопных методов управления водными ресурсами и содействие ученым в правильном использовании этих методов. Оценки мировых ресурсов подземных вод обычно страдают неточностью, и надежная информация о доле возобновляемых и невозобновляемых подземных вод носит обрывочный характер. МАГАТЭ, совместно с Организацией Объединенных Наций по вопросам образования, науки и культуры (ЮНЕСКО) и Международной ассоциацией гидрологов (МАГ), ведет работы, направленные на углубление понимания глобального распределения

невозобновляемых подземных вод и оценку их объемов. Исследования основываются на маркировочных свойствах изотопов, данные по которым собираются с подземных водоносных горизонтов во всем мире.

Основная часть изотопных данных для глобального картографирования водоносных горизонтов была собрана за последние четыре десятилетия в рамках проектов МАГАТЭ по техническому сотрудничеству. Эти проекты привели к существенному наращиванию национального и регионального научного потенциала и инфраструктуры, одновременно помогая в решении практических вопросов по управлению запасами поверхностных и подземных вод. В настоящий момент действует более 80 функциональных проектов по техническому сотрудничеству, связанных с изотопной гидрологией в регионах Африки, Азии и Латинской Америки, со скорректированным бюджетом в размере около 7 миллионов долларов.

В последние годы МАГАТЭ тесно сотрудничает с государствами-членами в области внедрения изотопной гидрологии в число основных национальных и международных программ, связанных с водными ресурсами, в результате чего должно начаться более широкое применение изотопных методов для управления водными ресурсами. В центральном Марокко результаты изотопных исследований были применены для разработки улучшенной модели использования подземных вод для равнины Тадла, важного сельскохозяйственного региона. В Йемене



Michael Kern

**Наличие достоверной информации позволяет принимать правильные решения по защите и сохранению запасов подземных вод для грядущих поколений.**

изотопное исследование подземных вод в бассейне Сана позволило четко определить характер и источник пополнения систем подземных вод неглубокого залегания. Эта работа позволила продвинуться в осмыслении методов выработки эффективных мер по искусственному пополнению подземных вод, что может открыть путь к использованию воды из более глубоких ископаемых водоносных горизонтов исключительно для питья.

В последнее время проекты МАГАТЭ по техническому сотрудничеству в области водных ресурсов более четко сфокусированы на налаживании партнерских отношений с другими агентствами по развитию. В Уганде проект, осуществленный совместно с Австрийской программой сотрудничества в целях развития, позволил выполнить картографирование областей пополнения подземных источников Чухо близ города Кисоро. Эти источники подготавливаются к эксплуатации для снабжения питьевой водой целых районов на юго-западе страны. В результате изотопных исследований получена уникальная информация, имеющая решающее значение для обеспечения устойчивости нового источника воды.

---

## Основная часть изотопных данных для глобального картографирования водоносных горизонтов была собрана за последние четыре десятилетия в рамках проектов МАГАТЭ по техническому сотрудничеству.

---

В Бангладеш МАГАТЭ в сотрудничестве со Всемирным банком и правительством оказывало помощь по подготовке к эксплуатации устойчивых альтернативных источников снабжения безопасной для здоровья питьевой водой. В настоящее время значительная часть потребляемой в стране воды поступает из мелких буровых колодцев, питаемых водоносным горизонтом, который загрязнен мышьяком. Изотопные исследования позволили определить объем и возобновляемость более глубокого водоносного горизонта.

Три проекта технического сотрудничества по проблемам водоносных комплексов, совместно используемых несколькими африканскими странами, были недавно приняты к реализации в сотрудничестве с Глобальным экологическим фондом (ГЭФ), Программой развития ООН и Программой ООН по окружающей среде. Эти проекты сосредоточены на изотопных гидрологических исследованиях:

- ◆ Нубийского водоносного комплекса, совместно используемого Чадом, Египтом, Ливией и Суданом;
- ◆ водоносного комплекса Северо-Западной Сахары, совместно используемого Алжиром, Ливией и Тунисом;
- ◆ Юллемеденского водоносного комплекса, совместно используемого Мали, Нигером и Нигерией.

## Расширение знаний о Нубийском водоносном горизонте

Нубийский водоносный горизонт, совместно используемый Чадом, Египтом, Ливией и Суданом, представляет огромную важность в качестве источника питьевой воды и воды для орошения. Древние воды Нубийского водоносного горизонта раскинулись на площади приблизительно в два миллиона квадратных километров под этими четырьмя странами на северо-востоке Африки. Этот водоносный горизонт является важным источником питьевой воды и воды для орошения и единственным источником пресной воды в пустыне на западе Египта, которая занимает около 67% территории страны.

С 2003 года МАГАТЭ оказывает помощь использующим Нубийский водоносный горизонт странам в применении изотопных методов для составления карты водных ресурсов. На сегодняшний день известно, что в существующих климатических условиях Нубийские подземные воды в ряде областей пополняются (хотя и скудно) за счет просачивания воды из Нила, в некоторых горных районах - благодаря осадкам, а также за счет притока подземных вод из системы Голубого Нила/ системы Главного Нильского разлома.

Цель проекта МАГАТЭ заключается в расширении и объединении научных знаний и базы данных по Нубийскому водоносному горизонту и разработке плана управления подземными водами на основе создания сети станций мониторинга водоносного горизонта. Создание структуры управления водоносным горизонтом станет важным вкладом в развитие региона и в конечном счете приведет к устойчивому получению питьевой воды и улучшению качества сельскохозяйственной продукции.

В 2003 году МАГАТЭ вступило в партнерство с Глобальным экологическим фондом (ГЭФ) в целях выработки основ для устойчивого управления Нубийским водоносным горизонтом с использованием методов изотопной гидрологии. Работа МАГАТЭ по оказанию помощи странам, расположенным на Нубийском водоносном горизонте, в изучении совместно используемых запасов подземных вод и управлении этими запасами недавно получила достойный грант в 1 миллион долларов от ГЭФ, расположенного в Вашингтоне, США. Грант предоставляется через Программу развития ООН. Финансовая помощь ГЭФ позволит расширить рамки поддерживаемой МАГАТЭ программы сотрудничества и даст возможность использующим водоносный горизонт странам разработать эффективный план управления подземными водами.

Таким образом, научные исследования и применения в области изотопной гидрологии расширяют глобальные знания о водоносных комплексах. Наличие достоверной информации позволяет принимать правильные решения по защите и сохранению запасов подземных вод для грядущих поколений.

---

*Прадип Аггарвал является начальником Секции изотопной гидрологии Департамента ядерных наук и применений МАГАТЭ. Адрес электронной почты: P.aggarwal@iaea.org*

*Али Буссаха является начальником Секции Африки Департамента технического сотрудничества МАГАТЭ. Адрес электронной почты: A.boussaha@iaea.org*