

# Изотопное картирование загрязнения и пополнения подземных вод

Жоэль Подгорски, Михаэль Берг и Рольф Кипфер

**Р**ост численности населения, чрезмерная эксплуатация водных ресурсов, землепользование и климатические изменения ведут к тому, что все труднее становится обеспечить хорошее качество подземных вод для пищевых, промышленных и сельскохозяйственных целей. За счет подземных водных ресурсов покрывается 50% мировых потребностей в питьевой воде и 43% — в воде для орошения. Однако приповерхностные подземные водоносные горизонты подвержены загрязнению удобрениями, пестицидами, химическими веществами и сточными водами. Кроме того, чрезмерная эксплуатация и неконтролируемый отбор воды из водоносных горизонтов могут привести к потере источников водоснабжения в связи с резким падением уровня воды.

Полезным инструментом, помогающим водохозяйственным органам охранять и сберегать подземные водные ресурсы, являются карты уязвимости водоносных горизонтов. Эти карты позволяют определять, какие зоны ландшафта особенно подвержены загрязнению или чрезмерной эксплуатации, предоставляя таким образом информацию для организации управления водными ресурсами и восстановительных мероприятий. Помимо этого, картирование уязвимости подземных вод является залогом достижения намеченной ООН цели 6 в области устойчивого развития, или ЦУР 6, которая предусматривает обеспечение устойчивого доступа к воде, в частности к безопасной воде, для всех (задача 6.1). Данная цель включает также комплексное управление водными ресурсами (задача 6.5).

## Уязвимость водоносных горизонтов

С технической точки зрения существует множество способов оценки уязвимости того или иного водоносного горизонта для загрязнения или чрезмерной эксплуатации водных ресурсов. В прошлом использовались общие геологические характеристики, данные скважинных исследований и региональные гидрологические данные. Между тем такие данные часто либо отличаются неточностью и недостоверностью, либо вовсе отсутствуют. Применяются также сложные компьютерные модели, но они требуют наличия точных данных, и их частым недостатком являются высокие вычислительные затраты и нехватка данных, в связи с чем их использование, как правило, ограничивается небольшими изучаемыми районами.

Для установления связи между имеющимися данными о состоянии окружающей среды и уязвимостью подземных вод можно использовать химические индикаторы и статистический анализ. Например, нитраты — загрязнители воды чаще всего сельскохозяйственного происхождения — легко поддаются измерению без



Жоэль Подгорски, Михаэль Берг и Рольф Кипфер являются сотрудниками отдела водных ресурсов и питьевой воды Швейцарского федерального научно-исследовательского института по водоснабжению, очистке сточных вод и защите водных ресурсов (EAWAG).

EAWAG — это швейцарский научно-исследовательский институт водных ресурсов, разрабатывающий концепции и технологии рационального обращения с водными объектами и водой как ресурсом. В сотрудничестве с университетами, другими научно-исследовательскими институтами, государственными учреждениями, промышленными предприятиями и неправительственными организациями EAWAG задействует свою глобальную сеть в интересах согласования экологических, экономических и социальных интересов в отношении водопользования.

больших финансовых затрат. Для создания карт уязвимости или охраны подземных вод необходимо, чтобы данные о загрязнителе (например, нитратах) или индикаторах уязвимости имелись в наличии по соответствующему району изучения, — таким образом будут получены достоверные и точные прогнозные карты.

## Онлайновое картирование

В целях демонстрации эффективности статистического картирования уязвимости водоносных горизонтов проведен повторный анализ данных существующей карты уязвимости в Канаде при помощи бесплатной онлайн-платформы для оценки качества подземных вод GAP ([www.gapmaps.org](http://www.gapmaps.org)). На основании карт уязвимости водоносных горизонтов GAP получена точная карта прогнозирования вероятности высокой уязвимости водоносных горизонтов, для создания которой не требовался сбор большого количества данных со всего изучаемого района.

## Использование трития для картирования интенсивности пополнения подземных вод

Незначительное количество радиоизотопа трития естественным путем образуется в атмосферных осадках под действием космического излучения в верхних слоях атмосферы. В ходе испытаний ядерного оружия на земле и в атмосфере, проводившихся в период 1952–1962 годов, в гидрологический цикл попало большое количество трития, который в результате превратился в измеряемый индикатор пополнения молодых подземных вод. Несмотря на то, что с тех пор содержание трития в атмосферных осадках во всем мире снизилось до естественного уровня, наблюдавшегося до ядерных испытаний, чувствительные аналитические средства обнаружения микроэлементов по-прежнему позволяют с точностью выявлять наличие этого изотопа.

Одним из главных преимуществ использования трития, или изотопа  $^3\text{H}$ , для целей картирования является то, что этот изотоп представляет собой основной кирпичик построения молекулы воды ( $^1\text{H}^3\text{HO}$ ) и поэтому присутствует в атмосферных осадках. Это означает, что любое присутствие поддающегося обнаружению трития на других отрезках гидрологического цикла — в реках, озерах, подземных водах — свидетельствует о наличии новой воды, происходящей из недавно выпавших атмосферных осадков. Из этого можно сделать вывод, что вода, о которой идет речь, образовалась за последние несколько десятилетий, а эти данные можно использовать для непосредственного определения и составления карты подверженности водоносных горизонтов загрязнению через атмосферные осадки, даже если подземные воды не были загрязнены.

На данный момент в методах статистического картирования для оценки уязвимости водоносных горизонтов измерение уровня содержания трития не получило широкого использования. Это связано с тем, что тритий, как правило, не включается в исследования подземных вод и стоимость данного вида анализа по-прежнему высока. Между тем при картировании уязвимости можно использовать другие, легко собираемые параметры качества воды или изотопные параметры. Например, углерод-14, стабильный изотопный состав воды ( $^2\text{H}$ ,  $^{18}\text{O}$ ), нитраты и хлориды также могут

помочь в определении возраста подземных вод или их вероятного загрязнения.

Статистическое и онлайнное картирование уязвимости водоносных горизонтов и пополнения подземных вод на основе исследования изотопов и химического состава представляет собой значительный шаг вперед и один из вариантов практического применения трития и аналогичных природных изотопных индикаторов. В настоящее время использование накопленных МАГАТЭ глобальных массивов данных, касающихся  $^3\text{H}$ ,  $^2\text{H}$  и  $^{18}\text{O}$ , в сочетании с геостатистическим картированием, описанным выше, обладает огромным потенциалом для решения проблем, связанных с качеством и количеством мировых запасов подземных и поверхностных вод. МАГАТЭ, в сотрудничестве со Швейцарским федеральным научно-исследовательским институтом по водоснабжению, очистке сточных вод и защите водных ресурсов (EAWAG) предпринимает новые усилия в этой области, направленные на проведение оценки на основе фактологических данных и картирование запасов безопасной питьевой воды в глобальных масштабах. Кроме того, ожидается, что изотопное картирование будет применяться с целью помочь экспертам по всему миру в управлении подземными водами сбалансированным и устойчивым образом.

*В подготовке данного материала принимали участие специалисты МАГАТЭ по изотопной гидрологии.*

**Индексное исследование уязвимости водоносных горизонтов в западной части Канады (слева) в сравнении с новой логистической регрессионной картой этих значений индекса уязвимости на онлайнной платформе GAP (справа). Красным отмечены зоны наибольшей уязвимости. Зоны, отмеченные зеленым, менее уязвимы или достаточно защищены от поверхностного загрязнения.**

(Изображение: EAWAG)

