

# Изотопная гидрология: обзор

Лусия Ортега и Лаура Хиль



При помощи изотопных методов ученые изучают компоненты гидрологического цикла, что помогает им лучше оценивать количество, качество и устойчивость водных ресурсов.

Наименее изученным компонентом гидрологического цикла являются подземные воды. Ученые используют изотопы природного происхождения в качестве индикаторов, позволяющих выяснить, восполняются ли подземные воды, откуда они берутся, как они движутся под землей, подвержены ли они риску загрязнения и восприимчивы ли к меняющимся климатическим условиям.

Вода из разных мест имеет различные изотопные признаки, оставляющие уникальный «след». Ученые используют их для отслеживания движения воды на протяжении всего гидрологического цикла — испарения, выпадения в виде осадков, инфильтрации, стока, эвапотранспирации и возвращения в океан или атмосферу, — который затем повторяется.

## Что представляют собой изотопы?

Тот или иной химический элемент, например водород, состоит из атомов только одного типа. Эти атомы имеют различные модификации. Такие модификации называются изотопами; все они обладают одинаковыми химическими свойствами и имеют одно и то же количество протонов и электронов, но разное количество нейтронов. Из-за разницы в количестве нейтронов масса каждого изотопа различается, и для гидрологических исследований эта разница в атомной массе имеет принципиальное значение.

В изотопной гидрологии используются как стабильные, так и нестабильные изотопы. Стабильные изотопы нерадиоактивны, т. е. они не испускают излучения. Нестабильные изотопы (или радиоизотопы) подвержены радиоактивному распаду и поэтому являются радиоактивными.

Ниже приводится небольшой обзор того, чем занимается изотопная гидрология.

## Происхождение воды и ее движение в рамках гидрологического цикла

Каждая молекула воды ( $H_2O$ ) состоит из двух атомов водорода (H) и одного атома кислорода (O), но не все они одинаковы: некоторые изотопы легче, а некоторые тяжелее. Ученые используют точное аналитическое оборудование для измерения этих крошечных различий в массе проб воды. Зачем?

При испарении воды из моря молекулы с более легкими изотопами обычно поднимаются вверх, образуя облака со специфическими изотопными признаками. Эти облака состоят из смеси молекул воды, выпадающих в виде дождя. Первыми падают молекулы воды с более тяжелыми изотопами. Затем, по мере того как облака теряют эти тяжелые изотопы и перемещаются в глубь материка, в основном выпадают более легкие изотопы.

Когда вода падает на землю, она наполняет озера, реки и водоносные горизонты. Измеряя соотношение между тяжелыми и легкими изотопами в этих водных источниках, ученые могут определить происхождение воды и особенности ее движения.

## Возраст подземных вод

Изотопы позволяют наиболее простым и надежным образом определить возраст водных ресурсов и степень их уязвимости и устойчивости. Когда говорят, что подземные воды в водоносном горизонте являются «старыми», это означает, что вода течет медленно и что на восполнение водоносного горизонта может потребоваться много времени. Напротив, молодые подземные воды легко и быстро пополняются дождевыми осадками, но при этом на них могут сильно сказываться загрязнение и меняющиеся климатические условия. Определяя возраст воды, ученые и руководители получают четкое представление о том, насколько быстро восполняются водоносные горизонты.

В гидрологии для оценки возраста подземных вод используются некоторые присутствующие в них радиоактивные изотопы природного происхождения, такие как тритий ( $^3H$ ), углерод-14 ( $^{14}C$ ) и радиоизотопы



инертных газов. Этот возраст может составлять от нескольких месяцев до миллиона лет.

Поскольку с течением времени происходит распад этих изотопов, их концентрация год от года снижается. Более высокая концентрация означает «более молодую» воду, более низкая — «более старую». Например, подземные воды с поддающимся обнаружению содержанием трития могут иметь возраст до 60 лет, в то время как подземные воды без трития должны быть старше. Тритий используется для определения возраста подземных вод, которые были недавно восполнены, т. е. тех, которые моложе 60 лет, углерод-14 — для вод возрастом до 40 000 лет, а криптон-81 — для вод, возраст которых может составлять до миллиона лет (см. стр. 21).

### Качество воды

Загрязнители поступают в поверхностные и подземные воды из различных источников — сельскохозяйственных, промышленных или связанных с отходами жизнедеятельности человека — или могут появляться естественным образом в результате геохимических процессов, происходящих в водоносных горизонтах. Сельскохозяйственная отрасль, промышленность и домохозяйства производят разные типы загрязнителей. Изучая химический и изотопный состав того или иного загрязнителя, ученые могут определить его происхождение.

Например, распространенным загрязнителем является нитрат-ион ( $\text{NO}_3^-$ ), состоящий из азота и кислорода. Азот имеет два стабильных изотопа разной массы. Эта разница в массе неодинакова для отходов жизнедеятельности человека и для удобрений. В удобрениях используется азот из воздуха, в то время как в организме человека и животных происходит биологический процесс, в результате которого азот преобразуется в другие формы. Таким образом, с учетом различий в массе изотопов могут быть идентифицированы загрязнители, поступившие из разных источников.

Выяснение происхождения загрязнителей — первый шаг на пути к решению проблем качества воды. Данные, которые собирают изотопные гидрологи, полезны для руководителей, занимающихся стратегическим планированием и управлением водными ресурсами.

МАГАТЭ оказывает поддержку ученым со всего мира, содействуя использованию изотопных методов и передавая научные ноу-хау местным специалистам в области водных ресурсов. Чтобы узнать больше о том, как мы это делаем, читайте дальше.