

Изотопная гидрология: Исследования загрязнения грунтовых вод

Использование природных изотопов для изучения
серьезных проблем загрязнения окружающей среды

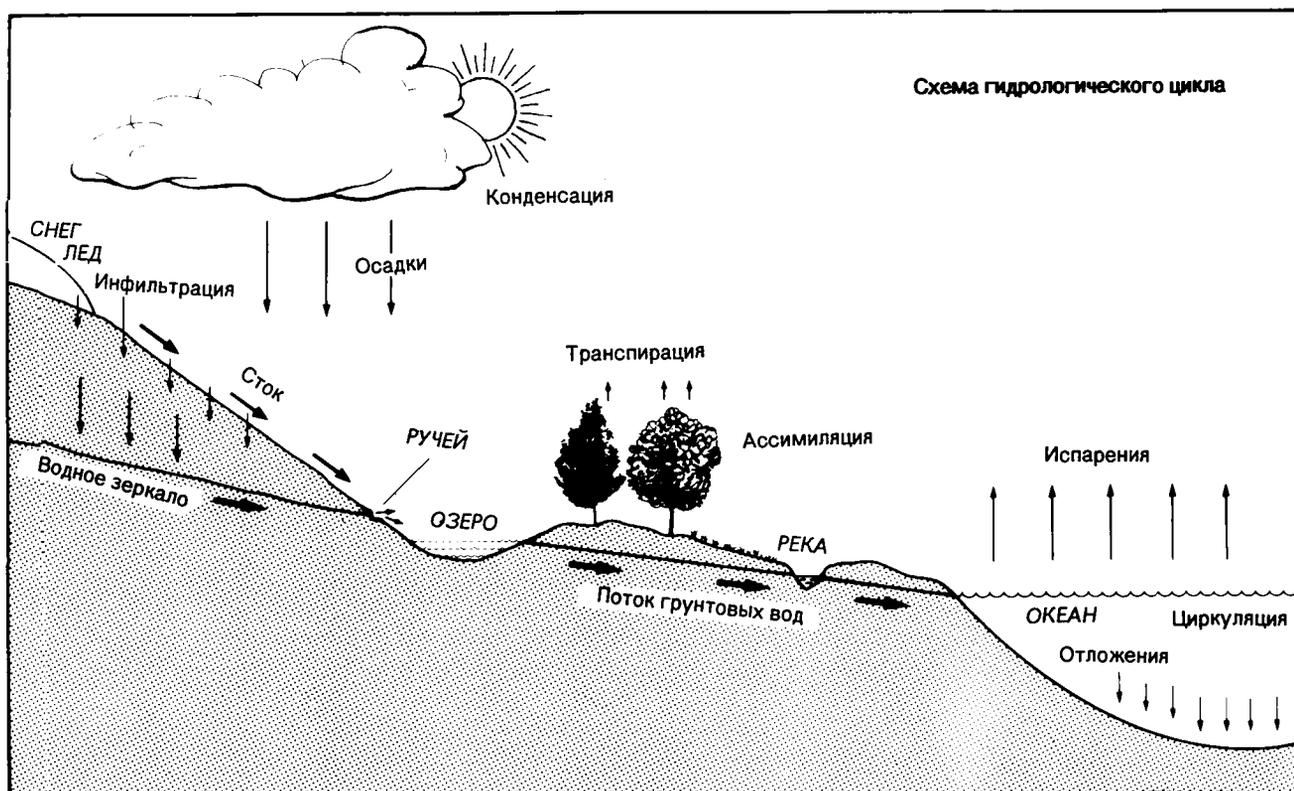
В. Дубинчук, К. Фрелих и Р. Гонфьянтини

В течение последних 100 лет роль грунтовых вод как мирового источника водоснабжения для бытовых, сельскохозяйственных и промышленных нужд постоянно возрастала. Этому способствовало почти

Г-да Дубинчук и Фрелих являются штатными сотрудниками Секции изотопной гидрологии Отдела физических и химических наук, который возглавляет г-н Гонфьянтини.

повсеместное распространение водоносных геологических формаций, высокое качество грунтовых вод и усовершенствование методов бурения скважин.

В течение длительного времени грунтовые воды благодаря своей естественной защите оставались недоступными для загрязнения. Они были чище и прозрачнее поверхностных вод. Ведь еще во вре-



мена Гиппократ, жившего в V в. до н.э., считалось, что стоячие поверхностные воды являются причиной одряхления.

Однако впоследствии качество грунтовых вод во многих регионах ухудшилось, что иногда приводило к очень серьезным последствиям. Очистка грунтовых вод от загрязнений – это чрезвычайно медленный, а иногда и невозможный процесс, в силу длительного, как правило, периода нахождения воды в большинстве геологических формаций.

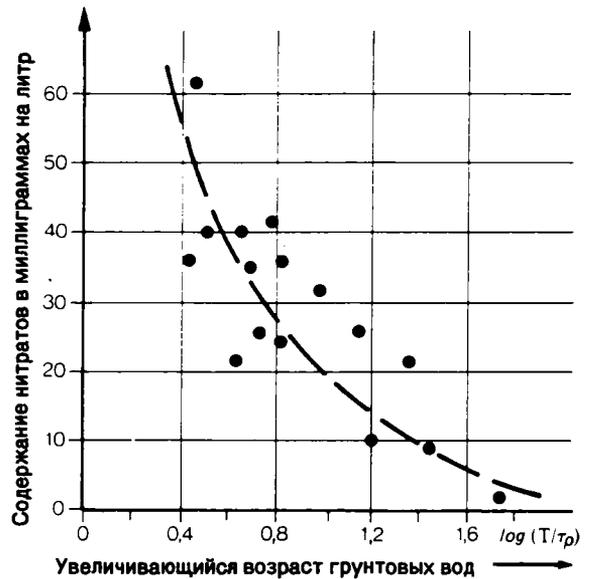
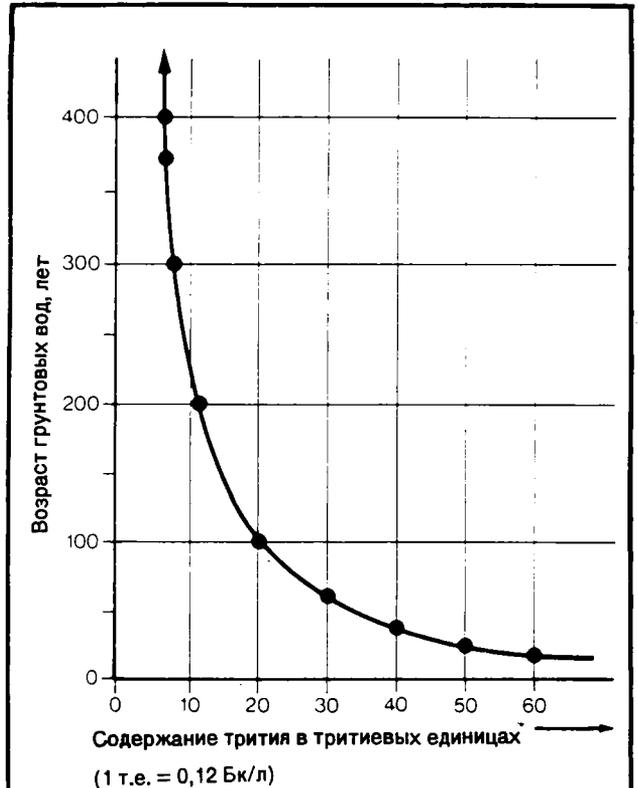
Основными причинами загрязнения являются плохая система мероприятий по рациональному использованию грунтовых вод (здесь часто доминирует стремление незамедлительно удовлетворить социальные потребности) и отсутствие регулирующих правил и контроля за использованием и удалением загрязнителей. Сельское хозяйство, в котором удобрения, гербициды и пестициды иногда используются беспорядочно, а зачастую в чрезмерных количествах, является наиболее значительным источником загрязнения грунтовых вод. Например, уровни содержания нитратов, которые очень часто обусловлены применением удобрений, в неглубоких водоносных горизонтах выше.

Промышленные и бытовые загрязнители относятся к числу наиболее опасных. Это частично связано с тем фактом, что их производство в основном сосредоточено в городских районах, где потребности в воде выше, поэтому грунтовые воды используются более интенсивно. Уменьшение давления в грунтовых водах позволяет загрязненным поверхностным водам проникать на такие глубины, на которых раньше инфильтрации мешало артезианское давление.

В прибрежных районах чрезмерное промышленное развитие часто становится причиной вторжения морской воды и последующего засоления грунтовых вод. В пустынных районах чрезмерное промышленное развитие, как правило, приводит к быстрому истощению ресурсов грунтовых вод, которые недостаточно восполняются из-за доминирующих климатических условий. Плохо продуманные ирригационные схемы также могут содействовать засолению почвы, которая в конечном счете становится бесплодной.

Исследование грунтовых вод в засушливой долине Мехикали на северо-западе Мексики помогло, например, исследователям обнаружить источник засоления. С помощью только химических методов нельзя было решить проблему, что являлось причиной ухудшения качества грунтовых вод: плохое использование ирригационных систем, или фильтрация через плотину „Пресал Морелос“, или сток Веллтон-Мохок. Исследователи изучили с помощью изотопных методов линейные корреляции между концентрациями хлорида и кислорода-18, а также между двумя тяжелыми изотопами – дейтерием и кислородом-18. Полученные результаты (отчет 1979 года Пейна, Квиджано и Латорре) четко показали на смешение грунтовых вод со стоком Веллтон-Мохок, выявив, таким образом, этот основной источник загрязнения.

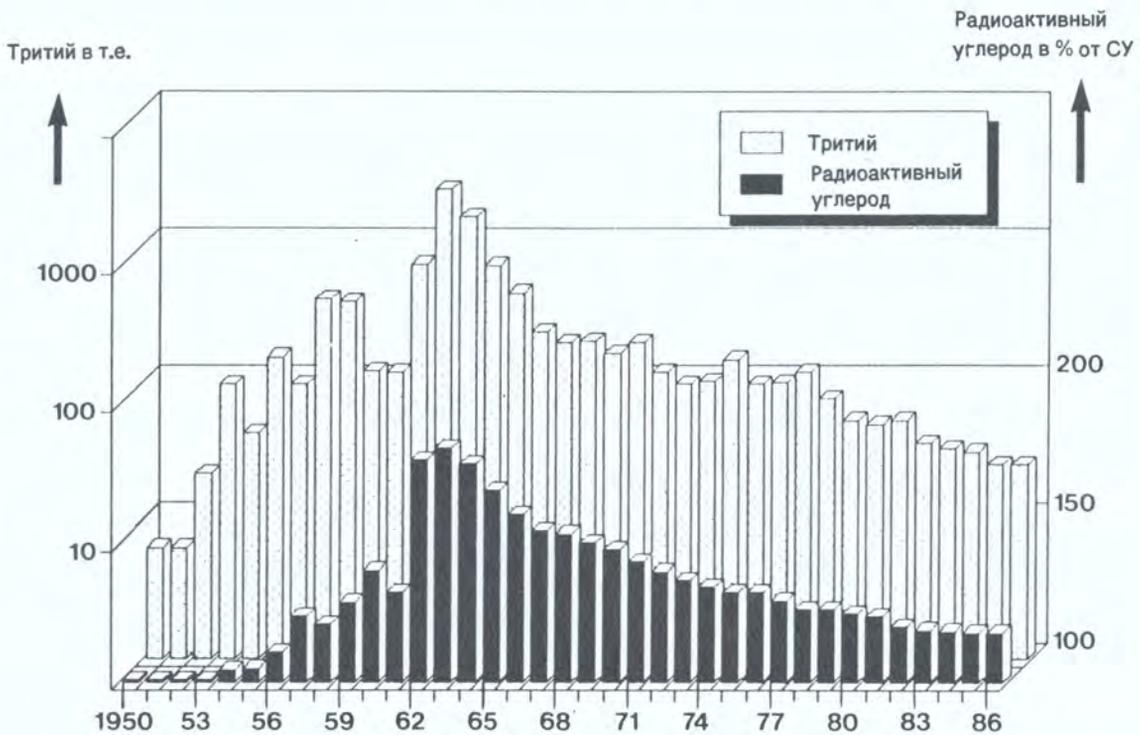
Эти и другие проблемы обусловили повышенный спрос на проведение исследований, помогающих понять поведение загрязнителей в гидрологическом цикле. Основные цели этих исследований заключаются в предупреждении загрязнения и истощения ресурсов грунтовых вод или в идентификации загрязнителей, если загрязнение уже состоя-



Примечание: T – возраст грунтовых вод, t_p – период времени между появлением трития в результате атмосферных испытаний ядерного оружия и проведением исследований.

На этих графиках показана корреляция между концентрациями нитратов и трития, наблюдаемая в свободном пермском водоносном горизонте в Германской Демократической Республике. Данная корреляция указывает на перенос нитратов в грунтовые воды в результате инфильтрации дождевой воды.

Тритий в осадках и радиоактивном углероде в атмосферной двуокиси углерода в Центральной Европе



Примечание: Содержание трития в тритиевых единицах; 1 т.е. = 0,12 Бк/л; C₁₂ — современный углерод; 1 % C₁₂ = 0,23 Бк/г углерода.

лось, для выявления источника и разработки предложений о мерах по исправлению положения.

Природные изотопы

Природные изотопы стали мощным инструментом исследований загрязнения грунтовых вод. Такие изотопы, как правило, являются редкими, стабильными и радиоактивными и содержатся в окружающей среде в очень низких и различных концентрациях по сравнению с наиболее широко распространенным изотопом того же элемента. Природные изотопы могут быть естественными или искусственными. В любом случае их распространение в окружающей среде определяется природными процессами. Несмотря на небольшие различия в концентрациях природных изотопов существуют методы, позволяющие их измерять с очень большой точностью и получать ценную информацию о гидрологических системах.

Изотопные различия природных вод определяют процессы гидрологического цикла и взаимодействием между гидросферой и атмосферой (см. соответствующий рисунок). Стабильные изотопы, свойства которых не изменяются со временем, как правило, используются для идентификации происхождения грунтовых вод и процессов перемешивания. Радиоактивные изотопы, распад которых

можно зарегистрировать, используются для оценки динамики грунтовых вод. С помощью химического анализа обычно получают дополнительную информацию, поэтому он проводится параллельно с изотопным исследованием.

К числу изотопов, часто применяемых в гидрологических исследованиях, относятся тритий и углерод-14, которые производятся естественным путем под воздействием вторичного космического излучения. Большие количества этих изотопов появились в атмосфере в результате испытаний термоядерного оружия в атмосфере, которые до 1963 г. проводились Великобританией, США и СССР. Проведенные позднее французские и китайские испытания лишь незначительно увеличили их содержание (см. соответствующий рисунок). Уменьшение концентраций трития и углерода-14 в осадках и атмосферной двуокиси углерода, которое произошло после подписания в 1963 г. Договора о запрещении испытаний ядерного оружия в атмосфере, в космическом пространстве и под водой, открыло новые бесценные возможности изучения атмосферных процессов.

Тритий, период полураспада которого составляет всего 12,43 года, можно использовать для установления современного источника питания грунтовых вод (т.е. для определения подпитывания грунтовых вод за последние три десятилетия).

Главные темы

Стабильные изотопы основных элементов, используемых в исследованиях окружающей среды

Изотопы	Содержание в природных соединениях (%)
Водород-1	99,984
Водород-2	0,015
Углерод-12	98,89
Углерод-13	1,11
Азот-14	99,634
Азот-15	0,366
Кислород-16	99,76
Кислород-18	0,2
Сера-32	95,02
Сера-34	4,21

Кроме того, эта информация, имеющая огромное гидрологическое значение, является инструментом оценки потенциального риска загрязнения конкретного „тела” грунтовых вод. Присутствие трития означает, что за короткое время подпитывающая вода проникла в водоносный горизонт; нахождение в нем грунтовых вод недолговременно. Это уменьшает возможность растворения какого-либо загрязнителя в подпитывающей воде и его адсорбции материнской породой водоносного горизонта. Следовательно, имеется потенциально высокий риск загрязнения.

Главным предметом исследований является изучение движения радионуклидов в грунтовых водах. Естественные радионуклиды радиоактивного ряда урана и тория попадают в грунтовые воды, растворяясь из материнской породы водоносного горизонта. В благоприятных условиях их можно использовать для оценки динамики грунтовых вод.

Кроме того, повышенный интерес к исследованиям геохимического поведения этих радионуклидов объясняется возможностью их использования для оценки ядерных площадок, в частности, площадок для захоронения радиоактивных отходов. Проблема заключается в оценке скорости адсорбции – десорбции этих изотопов из различных материнских твердых пород и определении скорости их миграции с учетом скорости миграции самих грунтовых вод.

Метод ядерного каротажа может оказать помощь в определении скорости просачивания воды в насыщенную зону (зона неглубокого водоносного горизонта, находящегося под водным зеркалом). Данный метод был использован совместно с данными по природным и искусственным изотопам для оценки времени, необходимого загрязнителям для проникновения в грунтовые воды с поверхности земли в районе Чернобыля в СССР.

С 1987 г. МАГАТЭ осуществляет программу координированных исследований по использованию ядерных методов для определения переноса загрязнителей в грунтовые воды. В настоящее время в рамках региональной программы МАГАТЭ по сотрудничеству в Латинской Америке (известной как программа ARCAL) реализуется проект изотопной гидрологии. Его основные цели заключаются в применении природных изотопов для решения

проблем оценки грунтовых вод и их загрязнения в Латинской Америке. В 1989 г. планируется развернуть еще одну программу координированных исследований с использованием изотопных и других индикаторов для оценки математических моделей изучения переноса грунтовых вод.

Радионуклиды, используемые в исследованиях грунтовых вод

Нуклид	Период полураспада (лет)	Источник получения	Приблизительная первоначальная концентрация радиоактивности в грунтовых водах (МБк/л)
Тритий (водород-3)	12,4	Вторичное космическое излучение; атмосферные испытания термоядерных устройств; ядерные установки (в основном установки по переработке облученного топлива)	600 (до 1954 г.)
Углерод-14	5730	Вторичное космическое излучение; атмосферные испытания термоядерных устройств; ядерные установки (в основном установки по переработке облученного топлива)	3
Кремний-32	105	Вторичное космическое излучение	5×10^{-3}
Хлор-36	301 000	Вторичное космическое излучение; атмосферные испытания термоядерных устройств; природные ядерные реакции (подземные)	3×10^{-3}
Аргон-39	269	Вторичное космическое излучение; природные ядерные реакции (подземные)	7×10^{-4}
Криптон-81	210 000	Вторичное космическое излучение	1×10^{-7}
Криптон-85	10,7	Ядерные установки (в основном установки по переработке облученного топлива)	менее 2×10^{-7} (до 1950 г.)