

УДК 546.023+551.48

## ИЗОТОПИЯ ГИДРОСФЕРЫ ЗЕМЛИ<sup>1</sup>

© 2011 г. Ю. А. Сапожников

Московский государственный университет

119991 Москва ГСП-1, Ленинские горы

Поступила в редакцию 17.06.2010 г.

Вопросы происхождения гидросферы Земли и геологической истории природных вод, помимо чисто познавательного, имеют важное практическое значение, связанное с изучением всех процессов движения воды в природе, установлением ее генезиса, эволюции и, в конечном счете, с решением многих проблем гидрологии, океанологии, метеорологии, климатологии, гидрогеологии, вплоть до формирования месторождений различных типов подземных вод, нефти, газа и твердых полезных ископаемых.

До недавнего времени происхождение, классификация и динамика природных вод в гидросфере изучались по растворенным в них минеральным и органическим веществам, газам, бактериальной и другим составляющим. Получаемая таким образом информация, как правило, носила региональный характер, преимущественно отражала современные природные процессы в гидросфере; при этом из рассмотрения практически выпадала сама вода — растворитель, структура ее молекул, эволюция этой структуры в различных составляющих гидросферы Земли. Теоретические обобщения и выводы, которые делали на основе такой информации, не всегда правильно отражали реальную картину протекания естественных процессов в гидросфере, им были присущи серьезные противоречия.

Научно-техническая революция, обусловившая развитие мощной экспериментальной базы, позволяющей изучать вещество на атомном уровне, дала в руки естествоиспытателей современные методы и аппаратуру для познания законов движения и эволюции водных масс в различных оболочках Земли и в гидросфере в целом. К ним относятся масс-спектрометрия с индукционно-связанной плазмой и ускорительная масс-спектрометрия, лазерно-абсорбционные методы, измерение радиоактивности с использованием низкофоновых сцинтилляционных и полупроводниковых детекторов.

В монографии рассмотрены теоретические основы разделения стабильных изотопов водорода и кислорода воды при фазовых переходах и взаимодействии воды с горными породами, газами и угле-

водородами нефтяного ряда, и на этой основе сформулированы основные критерии изотопной геотермометрии.

Последовательность изложения изотопии природных вод земной гидросферы следующая:

изотопный состав воды океанов;

формирование изотопного состава атмосферных осадков;

изотопный состав поверхностных вод континентов (рек, озер и водохранилищ);

изотопный состав подземных вод.

На основе анализа большого фактического материала сделаны следующие выводы:

изотопный состав океанических вод оставался практически постоянным по крайней мере 250 млн. лет;

изотопный состав атмосферных осадков, генетически связанных с океаническими водами, является функцией распределения температур воздушных масс во времени и пространстве. Эта закономерность дает возможность проводить определение палеотемператур в геологическом времени по изотопному составу водорода и кислорода по разрезу континентальных ледников, донных осадков озер, спелеотерм и растений;

изотопный состав поверхностных вод континентов является многопараметрической функцией, зависящей от изотопного состава питающих водоемов, скорости испарения воды из водоема, температуры, влажности воздуха и изотопного состава атмосферной влаги. На основе анализа всех факторов, влияющих на изотопный состав континентальных водоемов, обобщенных в большом числе экспериментальных и теоретических исследований, сделан вывод о возможности отличать по изотопному составу водорода и кислорода седиментационные подземные рассолы от рассолов выщелачивания.

На основе результатов изучения изотопного состава кислорода осадочных пород морского генезиса рассмотрены вопросы палеотемпературных исследований вод мирового океана по карбонатным минералам и кремниевым сланцам. Основой для таких построений является температурная зависимость коэффициента фракционирования кислоро-

<sup>1</sup> Ферронский В.И., Поляков В.А. Изотопия гидросферы Земли. М.: Науч. мир, 2009. 632 с.

да-18 в системе вода — кислородосодержащие донные осадки. Установлено, что изменение климата в геологическом прошлом носило глобальный характер и похолодание между альбским временем и концом мелового периода составляет 8–10°C. Установлено также, что температура экваториальных частей мирового океана во времена ледниковых периодов была ниже по сравнению с современной не более, чем на 2°C.

Периоды оледенений охватывают одновременно оба полушария Земли и в строгой периодичности повторяются по крайней мере с кембрия, что подтверждает астрономическую теорию Маланковича причин ледниковых эпох.

На основе анализа большого фактического материала авторы монографии делают обоснованный вывод об отсутствии в гидротермах и вулканических эксгаляциях ювенильных вод. Это обстоятельство легло в основу формулирования новой гипотезы происхождения Земли и ее гидросферы. Об этой гипотезе речь пойдет ниже.

Изучение динамики водных масс гидросферы Земли базируется на данных о распределении в поверхностных и подземных водах радиоактивных изотопов, генетически связанных с космическим излучением (космогенные изотопы) и изотопов, являющихся продуктами распада естественных долгоживущих радиоактивных элементов — урана и тория (радиогенные изотопы).

Рассмотрено глобальное распределение трития в атмосферных осадках и поверхностных водах суши. Оценена роль бомбового трития в формировании тритиевых концентраций в природных водах и динамика изменения во времени вклада техногенного трития в земную гидросферу. По литературным и собственным данным авторов рассмотрены источники происхождения трития, глобальная циркуляция тритиевой воды и региональные особенности распределения трития. Добомбовая концентрация трития на Земле составляла не более 5 кг, а в результате термоядерных испытаний ядерного оружия эта величина выросла более чем в 100 раз. Техногенная «метка» дала возможность изучить динамику океанических, речных и озерных вод, а также установить наличие трития в вулканических выбросах и гидротермах, что лишнее раз подтвердило их метеогенное, а не ювенильное происхождение. Что касается подземных вод, то большие концентрации техногенного трития позволили определять их время пребывания (возраст) с использованием экспоненциальной модели в интервале временной шкалы от 0 до 1000 лет.

<sup>14</sup>C (радиоуглерод) — космогенный изотоп с периодом полураспада 5730 лет. В монографии обобщены данные авторов и многих российских и зарубежных исследователей по использованию <sup>14</sup>C в качестве природной метки при изучении круговорота углерода на земном шаре, при распределении его

между природными резервуарами, а также при исследовании водных масс в различных звеньях гидросферы. Большое значение в современной геологии приобретает возможность определения по радиоуглероду возраста различных геологических формаций, в том числе подземных вод, в пределах возрастной шкалы до 60 тыс. лет.

В монографии детально рассмотрены вопросы образования радиоуглерода под действием космических лучей, его распределение в природных объектах, в том числе в океанах. Оценен вклад техногенного радиоуглерода в атмосферу, биосферу и гидросферу. В монографии также проведен анализ использования <sup>14</sup>C для датирования подземных вод, оценены факторы, влияющие на достоверность датирования и способы учета их вклада в неопределенность возрастных оценок. На основе комплексного использования C-14 как возрастной метки воды и дейтерия и кислорода-18 в качестве носителей палеоклиматической информации, многочисленными исследованиями была установлена роль долгопериодных изменений климата в формировании месторождений подземных пресных и минеральных вод.

На основании анализа опубликованных в литературе данных в монографии также приведен обзор образования радиогенных изотопов, их свойства и распределение в объектах геологической среды, включая гидросферу. Рассмотрены методы определения возраста различных типов природных вод (поверхностных бессточных водоемов и подземных вод), а также донных осадков по изотопам радия, урана и тория.

Значительная по объему часть монографии содержит сведения по практическому применению изотопных методов изучения динамики атмосферной влаги, смешению морских и речных вод в прибрежных акваториях, водообмену в речных бассейнах, озерах и водохранилищах, определению возраста подземных вод конкретных гидрогеологических объектов по тритию и радиоуглероду, а также при проведении палеоклиматических исследований.

Отдельная глава монографии посвящена палеогидрологическим исследованиям Арало-Каспийского региона. В датированных по радиоуглероду донных осадках изучалось распределение <sup>2</sup>H, <sup>13</sup>C, <sup>18</sup>O в карбонатном материале и поровых водах Каспийского и Аральского морей, зал. Кара-Богаз-Гол и оз. Иссык-Куль.

Анализ проведенных исследований убедительно доказывает, что основную роль в гидрогеологическом режиме указанных бассейнов (периоды трансгрессивных и регрессивных фаз) играют долгопериодные глобальные климатические изменения. Изотопный состав углерода и кислорода карбонатной фракции донных осадков Каспия показывает, что в периоды активного осадконакопления легкая по изотопному составу вода поступала попеременно,

то со среднеазиатского, то с европейского водосборных бассейнов.

Авторы работы не ограничиваются простым обобщением и систематизацией имеющегося материала. На основе глубокого и всестороннего анализа теоретических предпосылок и экспериментальных данных они оценивают перспективы дальнейшего изучения природных изотопов гидросферы, формируют новые концепции и подходы к решению сложнейших задач гидрологии, гидрогеологии и других смежных наук, намечают пути дальнейшего развития изотопного направления в изучении природных вод.

Одной из таких концепций является новый подход к решению вопроса о происхождении гидросферы Земли. Наиболее популярной ныне является гипотеза о ювенильной природе гидросферы, вытекающая из гипотезы о формировании Земли из холодного газопылевого протопланетного облака. Гидросфера в этом случае могла образоваться в результате дегазации и выхода на поверхность легких компонентов первичного вещества Земли в процессе его глобального и частичного расплавления.

Авторами книги вопрос о происхождении гидросферы Земли рассмотрен с позиций наблюдаемого изотопного состава воды, находящейся в природе в различных состояниях и формах связи (океан, содержащий ~97% всей воды на Земле, поверхностные и подземные воды континентов, атмосферная влага, вода горных пород, метеоритов и лунных образцов). Проанализировав условия распределения дейтерия и кислорода-18 в геохимических процессах за все геологическое время, авторы делают вывод, что ювенильная вода должна иметь изотопный состав, соответствующий ее составу в базальтах, гранитах, вулканических извержениях. Принципиальное значение они уделяют анализу изотопного состава глубоких подземных вод, воды древнейших пород земной коры, верхней мантии, минералов магматического происхождения, изучению изотопного состава термальных подземных вод, с которыми, согласно дегазационной гипотезе, ювенильные воды должны поступать в гидросферу Земли.

Оказалось, что воды океана сильно обогащены дейтерием и обеднены кислородом-18. Воды зоны активного водообмена имеют метеорное происхождение. Глубокозалегающие подземные воды зон затрудненного водообмена повсеместно представляют собой смесь в различных пропорциях вод морского и метеорного генезиса. Все без исключения

термальные источники по содержанию дейтерия идентичны местным атмосферным осадкам. Составляющая ювенильной воды не обнаружена нигде. Авторы отмечают, что содержание ее, если она вообще существует, находится за пределами чувствительности методов измерения тяжелых изотопов. Исходя из вышеизложенного они делают вывод, что наблюдаемое в настоящее время распределение стабильных изотопов в различных геосферах является следствием выделения водных оболочек еще на стадии эволюции протопланетного облака, формулируют гипотезу о конденсационной, метеорной природе гидросферы Земли. Наблюдаемое ныне единство природных вод на Земле они объясняют их генетическим родством, которое поддерживается на протяжении всей истории существования гидросферы.

Логическим продолжением поисков путей решения основного вопроса исследований авторов является создание и научное обоснование ими новой гипотезы о формировании Земли и ее оболочек. В основе гипотезы авторов лежит идея самогравитирующего газового облака, которое еще в процессе своего сжатия разогрелось и претерпело химическую дифференциацию.

Несомненно, как одна, так и другая гипотезы авторов (а по существу это единое целое) представляют большой интерес, являются новым крупным шагом на пути познания сложных процессов формирования Земли и ее гидросферы.

Авторам монографии принадлежат многие оригинальные работы по исследованию стабильных космогенных и радиогенных изотопов в природных водах на территории всего бывшего Советского Союза и за его пределами.

Библиография монографии весьма полна и дает представление обо всех важнейших исследованиях в данной области. Выполненный авторами анализ литературных данных отличает широта охвата и глубокое знание закономерностей процессов, определяющих поведение изотопов в природных средах.

Книга В.И. Ферронского и В.А. Полякова безусловно будет полезна студентам старших курсов и аспирантам высших учебных заведений, специализирующимся на геохимии природных вод, а также ученым, исследующим закономерности поведения изотопов различного происхождения в гидросфере Земли.