

О РАБОТАХ В. И. ВЕРНАДСКОГО ПО БИОГЕОХИМИИ

Э. М. Галимов

ИДЕИ В. И. ВЕРНАДСКОГО И СОВРЕМЕННОЕ УЧЕНИЕ О ФРАКЦИОНИРОВАНИИ ИЗОТОПОВ В ЖИВОЙ И НЕЖИВОЙ ПРИРОДЕ

В работе, опубликованной в 1926 г. под названием «Изотопы и живое вещество», В. И. Вернадский предположил, что «живые организмы способны избирать определенные изотопы из их смесей, каковыми являются многие элементы окружающей нас среды» (ДАН СССР. 1926. Сер. А. С. 215). «Если это так, — писал он, — то атомные веса некоторых химических элементов, выделенных из живых организмов, должны быть иными, чем атомные веса химических элементов, выделенных из окружающей косной материи. Насколько я знаю такое определение не было сделано ни весовым, ни иным путем...» (Там же).

Чтобы оценить идею В. И. Вернадского нужно помнить, что в 1926 г. не только не существовало понятия фракционирования изотопов, но изотопы многих элементов, являющихся ключевыми в современной геохимии изотопов, еще не были известны. Тяжелый изотоп углерода ^{13}C , изотоп азота ^{15}N , изотопы кислорода ^{18}O и ^{17}O были открыты в оптических спектрах в 1927—1929 гг. Лишь в 1932 г. будет открыт тяжелый изотоп водорода — дейтерий, лишь 10—15 лет спустя появятся первые измерения изотопного состава элементов в природных веществах. Считалось, что изотопы химически совершенно тождественны. Из чего же исходил В. И. Вернадский?

В статье 1926 г. он приводит следующие доводы. Во-первых, отсутствие абиогенеза, т. е. правило «все живое происходит из живого» получает в этом случае наиболее простое объяснение. Во-вторых, В. И. Вернадский развивает мысль о том, что существование определенного химического барьера между живой и неживой природой обусловлено как раз тем, что «химические элементы живого вещества являются чистыми изотопами» (Там же. С. 217). «Очень возможно, — пишет он, — что строение земной коры таково, что в ее наружной оболочке — в биосфере — концентрированы химические элементы в форме молекулярных систем, не заключающих смесей изотопов» (Там же. С. 216), т. е. В. И. Вернадский полагал, что верхняя оболочка Земли, благодаря деятельности живых организмов сложена чистыми моноизотопами.

Ученый, таким образом, излагает концепцию не только биологического, но и геологического фракционирования изотопов. При этом исходит он не из свойств изотопов, о которых тогда мало что было известно, а из своего понимания свойств живого вещества.

10 лет спустя В. И. Вернадский опубликовал статью «О колебаниях атомного веса химических элементов на Земле» (ДАН СССР. 1936.

Т. 3(12). № 3). В этой статье он выделяет три разных процесса, в которых может наблюдаться изменение атомного веса. Это:

- 1) радиоактивное изменение атомов;
- 2) изменение изотопных смесей физико-химическими процессами во время геохимической миграции элементов;
- 3) изменения изотопных смесей при биогеохимических процессах в живом веществе.

К этому времени уже были открыты изотопы легких элементов (Н, С, N, O), поставлены первые успешные эксперименты по разделению изотопов в процессах диффузии, дистилляции, электролиза, но химически изотопы по-прежнему считались не различимыми. Соответствующее утверждение мы находим и у В. И. Вернадского. Он пишет в цитируемой статье: «Мы знаем, что основным признаком изотопов является идентичность их химических свойств. Химическим путем атомы изотопов могут собираться в одном веществе, но не могут быть этим же путем разделены» (Там же. С. 130).

Говоря о геохимической миграции, В. И. Вернадский имел в виду возможное природное разделение изотопов в таких процессах, как испарение, диффузия, т. е. разделение, связанное с явлениями, в которых, как указывал ученый, «химическое сродство не погашает проявлений физических сил» (Там же. С. 131).

Поэтому, выделяя отдельно биогеохимическое разделение изотопов, В. И. Вернадский имел в виду не просто физико-химические процессы, протекающие в живом веществе, но некоторый совершенно новый специфический тип разделения изотопов, не имеющий место в неживой природе.

Статья эта была написана под впечатлением от только что опубликованной (в 1935 г.) работы А. К. Брауэра¹. В этой работе Брауэр исследовал изотопный состав калия $^{39}\text{K}/^{41}\text{K}$ в золе растений и нашел, что это отношение существенно варьирует. В. И. Вернадский заключает: «Поставленная таким образом мною десять лет тому назад проблема получила положительное решение... Работа Брауэра это доказала. Теперь надо систематически направить работу в новую область явлений жизни. Открывается необозримое поле работы огромного научного и прикладного значения. Работы больше, чем работников. Едва ли можно сейчас предвидеть даже главнейшие последствия» (Там же. С. 132).

Это была кульминация в развитии идеи В. И. Вернадского. Как раз в те годы появились новые факты и представления, которые изменили направление научной мысли в области изучения изотопов.

Данные Брауэра оказались неточными. Вскоре Кук (1943 г.) показал, что изотопный состав калия ($^{39}\text{K}/^{41}\text{K}$) в биологических объектах варьировал приблизительно в тех же пределах, что и в обычных минералах.

Но главное — в 1935 году вышла замечательная работа Г. Юри и Грейфа² о фракционировании изотопов в реакциях изотопного обмена. В ней было показано при помощи квантово-химического рассмотрения, что химические свойства изотопов не тождественны, что разделение изотопов может происходить в обычных химических процессах.

В 1939 г. Нир и Гульбрансен³ впервые измерили очень точно изотопный состав углерода в разных природных объектах и сразу же обнаружили, что углерод живого вещества и его производных — угля, нефти — отличается от углерода неживой природы. Но отличие изотопного состава живого вещества было небольшое, и в свете предшествующей работы Юри и Грейфа казалось естественным, что многочисленные химические реакции, протекающие в организме, вызывают наблюдаемое разделение изотопов.

¹ Brewer A. K. // Jour. Amer. Chem. Soc. 1936. Vol. 58, P. 365.

² Urey H. C., Greiff. Isotopic exchange equilibria // Jour. Amer. Chem. Soc. 1935. Vol. 57.

³ Nier A. O., Gulbransen E. A. Variations in the relative abundance of the carbon isotopes // Jour. Amer. Chem. Soc. 1939. Vol. 61.

Таким образом, с одной стороны, стало ясно, что организмы не обладают абсолютной селективностью к изотопам, с другой — появилась возможность объяснения небольших изменений изотопного состава живого вещества химической нетождественностью изотопов, без обращения к какой-либо специфике живого.

Тем не менее в записях, которые В. И. Вернадский делает в 1942—1943 гг., работая над своим завершающим трудом «Химическое строение биосферы», он снова возвращается в работе Брауэра и его данным по изотопному составу калия. Говоря о смещении изотопной смеси химических элементов в жизненном процессе, он пишет: «...указания такого рода все более увеличиваются в мировой литературе, особенно когда Брауэр в Вашингтоне, уточнив физическую методику определения атомного веса, доказал его изменение в живом веществе» (Там же. С. 237).

Можно было бы думать, что чисто физико-химическая работа Юри и Грейфа прошла мимо внимания В. И. Вернадского. Но в то время уже были опубликованы работы Нира и Гульбрансена, Мерфи и Нира, в которых появились данные об изменении изотопного состава углерода, в том числе в биологических объектах. Маловероятно, что В. И. Вернадский, прекрасно владевший литературой и уж, конечно, живо интересовавшийся новинками в столь занимавшей его области, пропустил бы эти работы. Но никаких ссылок на работы Юри, Нира и Мерфи мы не находим у В. И. Вернадского.

Чем же объясняется столь сдержанный, можно сказать недоверчивый, прием В. И. Вернадским этих работ?

Дело, по-видимому, в том, что идея о разделении изотопов живым веществом была для В. И. Вернадского лишь частным моментом его более общей концепции о глубоком своеобразии свойств живого вещества.

В. И. Вернадский полагал, что живым организмам присуще особое состояние физико-химического пространства, что это пространство не может быть сведено к обычным кристаллическим пространствам неживой природы. Оно обладает определенной, ей присущей геометрией, представляющей вариант неевклидовой геометрии. Особое состояние этого пространства проявляется в особенности симметрии живого вещества. В этом пространстве существуют «оси симметрии пятого порядка и оси седьмого и выше порядков, которые невозможны для материальных структур кристаллических пространств ...»⁴. В этой геометрии не могут одинаково образоваться стереически левые и правые молекулы химических соединений и т. д.

Идею об особом состоянии пространства, отвечающего живому веществу, В. И. Вернадский сформулировал в конце жизни⁵. Но она несомненно появилась у него задолго до опубликования и руководила его научными представлениями, видимо, начиная с середины двадцатых годов.

Именно с этой идеей особого состояния пространства—времени живого вещества увязывал В. И. Вернадский свое представление о разделении изотопов живыми организмами. Упомянутые же американские работы конца тридцатых годов переводили проблему фракционирования изотопов в плоскость совершенно иных физико-химических представлений. В. И. Вернадский не мог безоговорочно принять идею, стирающую ту принципиальную границу, которая, по его убеждению, разделяет мир живого и неживого. Позже ученый несомненно вернулся бы к обсуждению вновь открывшихся фактов. Но все это происходило уже на склоне его лет. И он не успел.

Развитие изотопной биохимии пошло по другому пути. С конца тридцатых годов в биологии начинается широкое применение изотопных индикаторов. Сам факт успешного применения изотопных индикаторов свидетельствовал об отсутствии изотопной избирательности организмов, которую предполагал

⁴ Вернадский В. И. Химическое строение биосферы Земли и ее окружения. М.: Наука, 1965. С. 190.

⁵ Вернадский В. И. Проблемы биогеохимии. М.: Наука, 1940. 320 с.

В. И. Вернадский. В ряде обобщающих и обзорных трудов, появившихся в 50-х — начале 60-х годов, фракционирование изотопов рассматривалось как второстепенное и нежелательное явление, поправки на которое должны учитываться при использовании в химии и биохимии метода изотопной метки. С. З. Рогинский и С. Э. Шноль отмечали: «наблюдаемое геохимическое распределение изотопов в биосфере, по-видимому, не подтверждает предположений В. И. Вернадского о таких специфических свойствах живых существ»⁶.

Однако в 70-х — 80-х годах были установлены необычные факты, которые стали возвращать нас к ходу мыслей В. И. Вернадского.

Оказалось, что распределение изотопных отношений в разных биологических соединениях не носит того хаотического, непредсказуемо сложного характера, к чему казалось бы должны приводить многочисленные кинетические изотопные эффекты. Напротив, в распределении изотопов в организмах проявляется закономерность. Эта закономерность состоит в том, что изотопные составы биологических соединений во многих случаях коррелируют с величиной, определяемой термодинамическими свойствами соединений. В биологических системах через всю многосложность разнообразных процессов фракционирования пробивается тенденция к равновесному распределению изотопов. Почему это происходит? Суть дела в том, что все химические реакции в организме проходят под управлением ферментов. Микроскопическая обратимость ферментативных реакций, т. е. существование обратимого перехода между комплексами фермент—продукт и фермент—субстрат, обуславливает появление термодинамической составляющей изотопного эффекта и в конечном счете, как можно показать теоретически, термодинамически упорядоченного распределения изотопов в биологических системах.

Это распределение является специфическим свойством живых организмов, оно невозможно в органических соединениях неживой природы. Или, если быть точным, оно возможно, лишь при очень высоких температурах, когда возникают условия для изотопного обмена между углеродными атомами органических соединений. Фактически этого не происходит, поскольку органические соединения разрушатся раньше, чем будут достигнуты температуры, допускающие изотопный обмен. Благодаря же ферментам в биологических системах уже при низких температурах достигается распределение изотопов, которое в отсутствие ферментов возможно лишь при высокой температуре. В этой связи интересно привести одно высказывание В. И. Вернадского, которое показывает, что он уже мыслил в этом направлении. В. И. Вернадский описывает изотопическое смещение кислорода в метаморфических породах и пишет в этой связи: «То же самое явление наблюдается в живом веществе при хлорофильном процессе, т. е. при низкой температуре и давлении окружения организма. Явление это находится на стадии изучения, временно приостановленного нашествием варварских гитлеровских орд. Еще раз подчеркиваю, что опыт дает основание думать, что в биосфере в жизненном процессе проявляется то же самое явление, которое в косной среде наблюдается только в условиях высокой температуры и давления»⁷.

Ферменты фактически особым образом организуют пространство, в котором происходит движение биологической материи. Поэтому можно считать, что в современной теории биологического фракционирования изотопов реализуются идеи и представления В. И. Вернадского, хотя в несколько иных понятиях и терминах. Мы возвращаемся в основном к его представлению. Фракционирование изотопов в живых организмах обладает принципиальным и глубоким своеобразием, обусловленным ферментативным характером процессов биосинтеза.

⁶ Рогинский С. З., Шноль С. Э. Изотопы в геохимии. М.: Изд-во АН СССР, 1963. С. 151.

⁷ Вернадский В. И. Химическое строение биосферы Земли и ее окружения. М.: Наука, 1965. С. 237.

Идеи В. И. Вернадского на виток спирали опередили развитие изотопной биогеохимии. Поэтому долгое время они не только не были приняты, но и казались ошибочными. Только теперь их глубина открывается в полной мере. Стало очевидным, что в биологии изучение фракционирования изотопов — важный путь исследования механизмов ферментативного катализа. В геохимии открывается перспектива нового подхода к изучению проблем зарождения и эволюции биосферы.

Е. А. Романкевич

О РАБОТАХ В. И. ВЕРНАДСКОГО ПО БИОГЕОХИМИИ МИРОВОГО ОКЕАНА

Одной из важнейших подсистем биосферы является Мировой океан — качественно отличный от второй подсистемы — континентальной части биосферы как по своим размерам, составу, свойствам, так и методам исследования. Громадный объем новых данных, полученных за последние 30—40 лет в различных разделах океанологии, со всей очевидностью подтвердил прозорливость В. И. Вернадского в постановке актуальных вопросов биогеохимии Мирового океана, а также гениальность многих его оценок, основанных на скудном в то время фактическом материале. Более глубокое прочтение в 60—80-е годы работ В. И. Вернадского показало, что уже в 20—30-е годы им было сформулировано большинство основных вопросов, необходимых для познания химического состава и функционирования гидробиосферы, которые лишь позже были осознаны и стали актуальными в эпоху взрыва технико-информационной активности общества и связанной с этим глобальными изменениями биосферы в целом и гидробиосферы, в частности. В. И. Вернадский неоднократно указывал на необходимость разработки научно-обоснованной стратегии деятельности людей и воплощал это в учениях о биосфере и ноосфере, а также в биогеохимии, рассматривая ее как важнейшую часть учения о биосфере.

Среди основных биогеохимических вопросов, рассмотренных (или поставленных) В. И. Вернадским применительно к океану и получивших разработку в последующие годы, следует назвать следующие: количественная оценка биомассы и продукции живого населения океана, их химический и биохимический составы, основной химический состав воды океана, микроэлементный состав воды, взвеси и донных осадков, радиоактивный состав воды, круговорот и баланс химических элементов в океане и на его границах с другими сферами Земли, активные поверхности в океане и скопления жизни, пограничные зоны река—море, вода—дно («бентосовая пленка»), океан—атмосфера, биоассимиляция и биодифференциация веществ в океане, экологические проблемы океана и его загрязнения, химическая технология воды и извлечение из нее ценных веществ. Все это дает достаточные основания считать В. И. Вернадского одним из основных создателей современной химии (биогеохимии) океана.

Фундаментальное значение имеет сделанное В. И. Вернадским открытие, что химия океана — есть по сути биогеохимия из-за определяющего влияния на формирование химического состава всех объектов гидробиосферы живого вещества, как совокупности организмов, сведенных к весу, составу, энергии. Сейчас, когда лучше известно о масштабах влияния на химический состав океана речного стока, атмосферных осадков и гидротермальной деятельности