

Г. Б. НАУМОВ

# ГЕОХИМИЯ БИОСФЕРЫ

*Допущено  
Учебно-методическим объединением  
по классическому университетскому образованию  
в качестве учебного пособия для студентов высших учебных заведений,  
обучающихся по геологическим и экологическим специальностям*



Москва  
Издательский центр «Академия»  
2010

УДК 550.4(075.8)  
ББК 26.30:28.28.080.3я73  
Н342

Рецензенты:

профессор кафедры геохимии геологического факультета  
Московского государственного университета  
им. М. В. Ломоносова *Д. В. Гричук*;  
профессор кафедры геологии и геохимии ландшафта  
Московского педагогического государственного университета,  
д-р геогр. наук *В. В. Добровольский*

**Наумов Г. Б.**

Н342 Геохимия биосферы : учеб. пособие для студ. учреждений высш. проф. образования / Г. Б. Наумов. — М. : Издательский центр «Академия», 2010. — 384 с.  
ISBN 978-5-7695-5798-9

Изложено современное состояние общей геохимии с позиций учения В. И. Вернадского о биосфере и ее переходе в стадию ноосферы. Рассмотрены вопросы положения Земли в космическом пространстве, распространенность и закономерности распределения элементов и их изотопов, формы их нахождения, механизмы миграции и концентрации на геохимических барьерах. Данные классической физической геохимии рассмотрены во взаимосвязи с материалами биогеохимии и ряда смежных научных дисциплин, при этом особое внимание уделено трем основным составляющим биосферы — косному, живому и социальному.

Для студентов учреждений высшего профессионального образования, обучающихся по геологическим и экологическим специальностям.

УДК 550.4(075.8)  
ББК 26.30:28.28.080.3я73

*Оригинал-макет данного издания является собственностью  
Издательского центра «Академия», и его воспроизведение любым способом  
без согласия правообладателя запрещается*

© Наумов Г. Б., 2010  
© Образовательно-издательский центр «Академия», 2010  
ISBN 978-5-7695-5798-9 © Оформление. Издательский центр «Академия», 2010

Долгое время не возбуждало никакого сомнения представление, что химический состав земной коры обуславливается чисто геологическими причинами... сейчас выясняются в химическом составе земной коры закономерности, которые в корне противоречат этим объяснениям.

*В. И. Вернадский*

## ОТ АВТОРА

Геохимия как наука об истории химических элементов нашей планеты все более активно используется представителями очень широкого круга научных дисциплин. Геохимия становится междисциплинарной наукой.

Быстрое развитие геохимии привело к тому, что учебники по этой дисциплине не успевают за актуальными задачами текущего дня. Классическая четырехтомная «Геохимия» А. Е. Ферсмана, учебники А. А. Саукова, В. Ф. Барабанова, А. И. Тугаринова, Г. В. Войткевича и переведенные на русский язык пособия Б. Мейсона, Я. Мияки, а также другие аналогичные издания ориентированы, прежде всего, на закономерности взаимодействия элементов в неживом (косном) веществе. Учебное пособие В. А. Жарикова «Основы физической геохимии» (2005) на высоком уровне продолжает линию физической геохимии, которая развивалась представителями кристаллохимического направления (В. М. Гольдшмидт, А. Е. Ферсман, В. Ю. Эйтель и др.), но практически не выходит за пределы неживой материи.

Во всех этих учебных изданиях основное внимание уделяется минеральному веществу различных оболочек земной коры, по возможности на количественном уровне. Земля рассматривается как некоторая самостоятельная система, изолированная от Космоса. Влияние космического окружения на земные процессы здесь не учитывается. Направления, развиваемые В. И. Вернадским, не находят отражения, адекватного потребностям современного научного знания. Разделы геохимии земных оболочек: атмосферы, гидросферы, литосферы — рассматриваются по отдельности, как самостоятельные независимые системы. При этом исчезает целостность и взаимодействие отдельных геосфер.

В последнее время стали появляться учебные издания по биогеохимии, в которых основной упор делается на анализ роли живого вещества в биогеохимической миграции элементов и ее экологического значения. Учебники В. В. Добровольского (1998), А. С. Орлова и О. С. Безгубова (2000), В. А. Алексеенко (2000, 2002, 2005) ориентированы главным образом на живое вещество биосферы.

Н. Г. Комарова и О. А. Пикалова (2004), как и многие другие, ставят в центр внимания вопросы экологии. Эти книги учитывают запросы современности, но каждая из них рассматривает отдельные стороны общей проблемы, уделяя гораздо меньше внимания косному веществу как таковому.

И это неслучайно. В первой половине XX в., когда активно формировалась молодая наука — геохимия, она характеризовалась дифференциацией научных дисциплин и углублением аналитического знания в каждой конкретной области. Необходима была надежная фактическая база для перехода от общих натурфилософских логических построений к анализу на базе числа и меры. Типичным примером может служить появление кларка как количественной характеристики среднего состава горных пород земной коры.

Дифференциация научного знания способствовала самоизоляции отдельных дисциплин. При всей прогрессивности аналитического подхода в этот период развития научного знания, он надолго затмил синтетический подход, развиваемый В. И. Вернадским.

В. И. Вернадский всегда с большим вниманием относился к углублению конкретных научных величин, создал много новых научных направлений: радиогеологию, биогеохимию, мерзлотоведение и др. «Синтетическое изучение объектов природы, — писал он, — ее естественных тел и ее самой как целого — неизбежно открывает черты строения, упускаемые при аналитическом подходе к ним, и дает новое»\*.

Во многих учебных изданиях по геохимии хотя и приводятся данные по биосфере, но в них нет понятий «жизнь», «живое вещество»; нет углубленного отражения биосферы как области активного взаимодействия живого и косного вещества. И уже совсем не ощущается та огромная геологическая роль совокупности живых организмов, значение которой подчеркивалось в фундаментальных трудах В. И. Вернадского.

При таких подходах к изложению материала исчезает роль живого вещества биосферы в эволюции всех геосфер, всей земной коры. Невозможно найти указания на роль биогеохимических процессов в геохимическом круговороте вещества земной коры, на взаимодействие геосфер, на то, что вся современная атмосфера — результат хлорофилловой функции живого вещества, а все карбонатные породы связаны с кальциевой функцией организмов. Между тем сейчас уже ясно, что живое вещество не только привело к перекачке огромных масс углекислого газа первичной атмосферы в твердую фазу литосферы, но и меняет направление и интенсивность эндогенных геохимических циклов.

---

\* *Вернадский В. И.* Избранные труды по истории науки. — М.: Наука, 1981. — С. 288, 289.

Все это было чуждо развитию наук первой половины XX в. Биогеохимические идеи не находили отклика в научном мире, и в 1931 г. В. И. Вернадский записал в своем дневнике: «Царство моих идей впереди».

Время это пришло. Во второй половине XX в. плодотворное развитие получили биофизика и биохимия. Постепенно научный мир возвращается к идеям, долгое время остававшимся не востребоваанными. Фундаментальный труд В. И. Вернадского «Биосфера», впервые опубликованный на русском языке в 1926 г., был полностью переведен на английский только в 1998 г. с весьма обстоятельными комментариями\*<sup>1</sup>.

В 2000 г. французский журнал «Fusion» опубликовал работу В. И. Вернадского «Биосфера и ноосфера» со вступительной статьей Е. Гренье, в которой он акцентировал внимание на ключевых моментах этой работы, особенно актуальных в наши дни, и назвал его «отцом глобальной экологии»\*<sup>2</sup>.

Неслучайно Президент Российской Федерации В.В.Путин на Деловом Саммите Азиатско-Тихоокеанского экономического сотрудничества в 2000 г. отметил, что наш соотечественник Владимир Вернадский еще в начале XX в. создал учение об объединяющем человечество пространстве — *ноосфере*, в котором сочетаются интересы стран и народов, природы и общества, научное знание и государственная политика. Именно на фундаменте этого учения фактически строится сегодня концепция устойчивого развития.

Пожалуй, следует вспомнить, что В. И. Вернадский в своих работах большое внимание уделяет методологическим основам междисциплинарного синтеза, тем эмпирическим обобщениям и принципам, которые связывают конкретные данные отдельных научных дисциплин «и дают новое».

Сама геохимия — наука междисциплинарная. Но формирующаяся в наши дни новая научная дисциплина экология требует еще большего объединения закономерностей, накапливаемых в конкретных областях знания. Крупный финансист и политик, математик по образованию Л. Ларуш в своей книге «Экономика ноосферы» показывает, что методология В. И. Вернадского применима не только к естественным, но и к социальным дисциплинам\*<sup>3</sup>.

Наиболее близка к задачам сегодняшнего дня книга «Геохимия» А. И. Перельмана\*<sup>4</sup>. В ней выделяется комплекс центральных

---

\*<sup>1</sup> Vernadsky V. The Biosphere. — N.Y.: Copernicus, 1998.

\*<sup>2</sup> Grenier E. Vladimir Vernadsky. De la biosphere a la noosphere // Fusion. — 2000. — № 89.

\*<sup>3</sup> LaRouche L. The Economics of the Noosphere. — Washington: EIR News Service, Inc., 2001.

\*<sup>4</sup> Перельман А. И. Геохимия. — М.: Высш. шк., 1979.

положений, объединяемых в целостную логическую систему. Здесь в наибольшей мере развиваются геохимические подходы В. И. Вернадского к анализу конкретных природных объектов и ситуаций. Именно А. И. Перельман ввел в геологическую науку такое фундаментальное понятие, как *геохимический барьер* — принципиальный механизм изменения направления миграции элементов в их круговом движении в земной коре.

С тех пор и наука, и наша жизнь ушли далеко вперед. «История науки и ее прошлого, — писал В. И. Вернадский, — должна критически составляться каждым научным поколением и не только потому, что меняются запасы наших знаний о прошлом, открываются новые документы или находятся новые приемы восстановления былого. Нет! Необходимо вновь научно перерабатывать историю науки, вновь исторически уходить в прошлое, потому что благодаря развитию современного знания в прошлом получает значение одно и теряет другое. Каждое поколение научных исследователей ищет и находит в истории науки отражение научных течений своего времени. Двигаясь вперед, наука не только создает новое, но и неизбежно переоценивает старое, пережитое»\*.

Необходимость нового учебного издания, отвечающего запросам дня, ощущается все более явно. И не только для дальнейшей реконструкции геохимической истории нашей планеты. Без ясного понимания биогеохимической миграции вещества невозможно эффективное решение актуальных задач быстро развивающейся экологии и проблем устойчивого развития цивилизации. Стратегия «покорения природы» медленно, но верно сменяется концепцией рационального природопользования. В этих условиях образовательные программы должны быть направлены не только на обучение, но и на адекватное воспитание личности. В настоящем пособии автор пытается сделать шаг в этом направлении.

Предлагаемое учебное пособие включает четыре раздела. В первом разделе рассматривается история формирования основных геохимических идей. «Корни всякого открытия лежат далеко в глубине, и, как волны бьются с разбега о берег, много раз плещется человеческая мысль около подготавливаемого открытия, пока придет девятый вал», — писал В. И. Вернадский, не только отдававший должное своим предшественникам, но и придававший большое значение пониманию эволюции научной мысли, методологии научного знания. В основе современного методологического подхода к решению геохимических вопросов, заложенного В. И. Вернадским, лежит целостный количественный подход к анализу природных явлений миграции, рассеяния и concentra-

---

\* *Вернадский В. И.* Труды по всеобщей истории науки. — М.: Наука, 1988. — С. 203.

ции химических элементов земной коры и ее окружения. Не случайно свой фундаментальный труд «Биосфера» он начинает с главы «Биосфера в Космосе». «Подходя *геохимически*, — подчеркивал он, — мы охватываем всю окружающую нас природу *в одном и том же атомном аспекте*». Ясное понимание различий между природными телами, словами, их обозначающими, и отвечающими им понятиями, понимание соотношений между эмпирическими фактами, их обобщение и научное объяснение во многом определяют успех естественно-научного исследования.

Во втором разделе рассматриваются распространенность химических элементов и их изотопов в природных объектах, закономерности их распределения в природных телах, особенности современной геохимии изотопов, строение и состав земных геосфер и более детально биосферы. Даются основы термодинамики и кинетики геохимических процессов и физико-химические параметры реальных природных процессов.

Третий раздел посвящен закономерностям миграции, рассеяния и концентрации химических элементов. Рассматриваются формы нахождения элементов в геологических телах, различные типы их миграции в реальных природных условиях и возникающие на путях миграции геохимические барьеры. Подробно анализируются геохимические циклы разных масштабов, создающие постоянный глобальный и локальный круговорот вещества в земной коре.

В четвертом разделе все рассмотренные выше процессы накладываются на шкалу времени, что позволяет шаг за шагом проследить эволюцию биосферы в рамках единого развития косного и живого вещества планеты, ощутить ее организованность. С этих позиций суть понятия «эволюция» перемещается от эволюции отдельных видов, симбиозов и даже всей биоты на биосферу в целом. Этот вопрос четко и ясно поставлен В. И. Вернадским в его докладе «Эволюция видов и живое вещество» на заседании Общества естествоиспытателей 5 февраля 1928 г. Вопрос, не нашедший понимания при уровне естественно-научного знания того времени, становится не только ясным, но и актуальным в наше время с учетом достижений современного естествознания. Весь современный эмпирический материал подтверждает справедливость принципов эволюции биосферы, сформулированных В. И. Вернадским.

В ходе эволюционного развития происходит перераспределение не только вещества, но и направления и плотности распределения энергии. Эти вопросы обычно не акцентируются в учебной литературе. А вместе с тем вещественная организованность тесно связана с организованностью энергетической, с информационными ресурсами конкретных систем. И хотя эти вопросы только начинают рассматриваться в геохимической литературе, они, видимо, будут иметь огромное значение для дальнейшего развития геохи-

мии ноосферы. Поэтому им также уделено внимание при анализе ряда вопросов.

Наконец, в последних главах о ноосфере и путях решения кризисных ситуаций систематизируются многочисленные данные о роли Человека как геологической силы, значении научного знания в этом процессе, предлагаются принципиальные подходы к ликвидации глобальных и локальных последствий технического прогресса. Впервые делается попытка рассмотреть роль информации в эволюции земной коры и развитии ноосферы.

Все перечисленные проблемы рассматриваются с позиций классических достижений геохимических знаний, накопленных в XX в., с учетом быстро поступающих новых данных и результатов их обобщений. При этом все многочисленные эмпирические обобщения, полученные в предыдущее время, не теряют своего значения. Они просто приобретают иной смысл, иное теоретическое объяснение, учитывающее новые эмпирические факты.

В целом предлагаемое учебное пособие объединяет данные классической физической геохимии и материалы более поздних исследований по биогеохимии в единое взаимосвязанное изложение основных моментов этих двух направлений, не углубляясь в каждое из них, а концентрируя внимание читателей на трех основных «синтезах космоса» — косном, живом и социальном.

Автор надеется, что возрождение геохимических идей В. И. Вернадского не только полезно, поскольку расширяет наше понимание естественных природных процессов, идущих по независимым от нас законам Природы, но и необходимо для решения актуальных проблем дальнейшего развития цивилизации.



В нашем столетии биосфера получает совершенно новое понимание; она выявляется как планетное явление космического характера.

*В. И. Вернадский*

Человечество далее не может стихийно строить свою историю, а должно согласовывать ее с законами биосферы, от которой человек неотделим.

*В. И. Вернадский*

## **ВВЕДЕНИЕ**

Геохимия, как указывает само название, это наука о химии планеты Земля. Из всех существующих определений этой науки самым точным и полным можно считать сформулированное одним из ее основателей — В. И. Вернадским: «Геохимия научно изучает химические элементы, т. е. атомы земной коры и насколько возможно — всей планеты. Она изучает их историю, их распределение и движение в пространстве-времени, их генетические на нашей планете соотношения»\*. Здесь отмечено все самое главное, что характеризует эту науку, не только в прошлом и настоящем, но и в ее будущем, ставящем перед ней новые задачи.

Взаимодействие широкого круга методов разных наук, сконцентрированное на одном уникальном объекте — планете, где мы родились и существуем, определяет целостность самой науки, ее координирующую роль в познании реального строения и законов развития нашей планеты. «Синтетическое изучение объектов природы — ее естественных тел и ее самой как целого — неизбежно открывает черты строения, упускаемые при аналитическом подходе к ним, и дает новое. Этот синтетический подход характерен для нашего времени в научных и философских исканиях... Случайное и неважное в глазах ученых одного десятилетия получает в глазах другого нередко крупное и глубокое значение; в то же время блекнут и стираются ранее установившиеся вехи научного сознания»\*\*.

История любого атома, в конечном счете, зависит от двух основных факторов: его собственного строения и тех физико-химических условий, в которые он попадает. Поэтому в одних и тех же условиях различные атомы ведут себя по-разному, и поведение одного и того же элемента различно в разных природных услови-

---

\* *Вернадский В. И.* Избранные сочинения. — М.; Л.: Изд-во АН СССР, 1954. — Т. 1. — С. 14.

\*\* *Вернадский В. И.* Избранные труды по истории науки. — М.: Наука, 1981. — С. 179—180, 264.

ях. Химические свойства атомов неизменны. Химические условия среды постоянно меняются, быстрее или медленнее. Эта совокупность стабильного и изменяющегося позволяет понять настоящее и восстановить историю.

Точный химический подход позволяет перейти от общих качественных рассуждений к количественному подходу с числом и мерой. Этим геохимия принципиально отличается от многочисленных, порой взаимоисключающих натурфилософских рассуждений. Все, в конечном счете, может быть проверено непосредственным измерением, сопоставлением, расчетом.

Для получения всех этих данных геохимия активно пользуется методами широкого круга других естественно-научных дисциплин: геологии, аналитической и физической химии, кристаллохимии, термодинамики, биологии со всеми их многообразными разветвлениями. Для геохимии характерно наличие не своего метода, а своего уникального объекта — Земли, точнее — земной коры, но не только. Геохимию интересует все материальное, энергетическое и информационное окружение объекта ее изучения. От этого в значительной мере зависит поведение последнего. Без этого невозможно надежное восстановление истории его развития, и, следовательно, невозможен прогноз будущего, даже ближайшего. Но главным объектом науки геохимии остается земная кора.

Геохимия изучает распределение элементов в отдельных облочках земной коры, геологических комплексах, горных породах, конкретных минеральных видах, внутри индивидуальных кристаллов, вплоть до локальных микроскопических блоков. В сфере внимания геохимии воздушные потоки атмосферы, наземная и подземная гидросфера, живое вещество планеты. Все эти естественные тела существуют не каждое в отдельности, а во взаимосвязи.

В последнее время наряду с естественными природными телами в сферу геохимических исследований вошли и техногенные образования, начинающие играть все большую роль в распределении и миграции элементов земной коры, соизмеримую с действием отдельных природных сил.

В таком виде и с такими задачами геохимия могла возникнуть только в XX в., когда идеи и методы смежных наук достигли необходимого уровня. Ее продвижение и научный авторитет развиваются столь быстро, что мы порой не замечаем, какое огромное влияние эта наука оказывает на развитие всего научного мировоззрения.

Сейчас трудно себе представить, что еще в 1920-е гг. возраст всей геологической истории Земли по термическим расчетам лорда Кельвина мог достигать 40—60 млн лет. Только в 1931 г. профессор К. Шухерт после тщательного анализа всех радиогеохимических данных высказал предположение, что возраст Земли —

500 млн лет до начала палеозойского времени\*. Радиогеохимические данные открыли путь для теории холодной агломерации Земли. Подобных примеров очень много.

Это только одно из кардинальных представлений, лежащих в основе современной картины Мира. Без данных, полученных геохимическими исследованиями, сейчас не обходятся ни при поисках полезных ископаемых, ни при прогнозе землетрясений, ни при других практических действиях, связанных с анализом любых естественных природных процессов.

Особое значение геохимические исследования приобретают при решении экологических вопросов, ставших особенно актуальными в конце XX в. Человек стал геологической силой, и результаты его деятельности уже не безразличны для эволюции биосферы. Все чаще обнаруживаются территории с высоким техногенным заражением. Насколько это опасно и как с этим бороться? Геохимические данные показывают, что не суммарные содержания тех или иных элементов, а формы их нахождения (подвижные или инертные) определяют и закономерности их миграции, и экологическую опасность.

«Риск и опасность в развитии цивилизации были, есть и будут. Но это означает лишь одно: человечеству необходимо научиться предельно снижать этот риск и опасность, выработать экологический императив, основанный на естественных законах природы», — подчеркивал Н. Н. Моисеев\*\*. Геохимия вносит в этот процесс существенный вклад, поскольку знание законов миграции элементов позволяет направленно менять процессы их рассеяния или концентрации. Здесь мы пока делаем первые шаги, и геохимии предстоит еще большая работа в этом актуальном направлении.

Следует отметить, что геохимические знания, полученные в областях изучения многих природных процессов (породообразования, рудообразования и т. д.), могут быть с успехом использованы при решении экологических задач. Стоит напомнить, что творчество заключается не только в том, чтобы находить новое, но и в том, чтобы правильно использовать старое. В этом плане у геохимии огромные возможности.

---

\* *Вернадский В. И.* Избранные сочинения. — М.: Изд-во АН СССР, 1954. — Т. 1. — С. 692.

\*\* *Моисеев Н. Н.* Универсум. Информация. Общество. — М.: Устойчивый мир, 2001. — С. 122.