

А.И. Перельман

Изучая геохимию...

(О методологии науки)



Ледниковые отложения

Ученый мир



«Наука и технический прогресс»

А.И. Перельман

Изучая геохимию...

(О методологии науки)





АКАДЕМИЯ НАУК СССР

Серия «Наука и технический прогресс»

А. И. Перельман

Изучая ГЕОХИМИЮ...

(О методологии науки)

Ответственный редактор

доктор географических наук,

кандидат геолого-минералогических наук

В. В. ДОБРОВОЛЬСКИЙ



Москва «Наука»

1987

ББК 26.301

П 27

УДК 550.01

Рецензенты:

доктор философских наук

В. П. КОХАНОВСКИЙ,

доктор геолого-минералогических наук

В. А. АЛЕКСЕЕНКО

Перельман А. И.

П 27 Изучая геохимию...: (О методологии науки). —
М.: Наука, 1987. — 152 с., ил. — (Серия «Наука и техни-
ческий прогресс»).

В книге рассказано о проблемах методологии научного исследования. Подробно, на конкретных примерах из геологии и географии рассмотрены противоречия, нередко возникающие между фактами и теорией, и способы их разрешения. Показаны соотношения фундаментальных и прикладных наук, их связь с практикой. Изложение теоретических вопросов тесно связано с актуальными проблемами минерального сырья, рационального природопользования и охраны окружающей среды.

П $\frac{1904020000-595}{054(02)-87}$ 70-87 ПП

ББК 26.301

Предисловие

Автор этой книги более 40 лет проводит исследования геохимии биосферы и образующихся в этой части нашей планеты рудных месторождений. Последователь В. И. Вернадского и ученик Б. Б. Полынова, он много сделал для создания и развития нового научного направления, которое назвал геохимией ландшафта. Экспедиции в европейскую часть нашей страны, в Среднюю Азию, Казахстан, Сибирь, на Кавказ и Урал дали ему материал для научных обобщений, изложенных в книгах «Геохимия ландшафта», «Геохимия энгистетических процессов (зона гипергенеза)», «Геохимия элементов в зоне гипергенеза», «Геохимия биосферы» и других, опубликованных в нашей стране и за рубежом. Известен А. И. Перельман и как историк науки, автор научных биографий В. И. Вернадского, А. Е. Ферсмана, А. А. Саукова, Б. Б. Полынова, а также как популяризатор науки.

В книге, предлагаемой вниманию читателя, отражена еще одна сторона его деятельности — интерес к методологии науки. Во «Введении» рассказывается, как решение конкретных научных задач приводило его к постановке методологических проблем и необходимости их разработки. Некоторые свои выводы автор опубликовал ранее в брошюре «Очерки философии наук о Земле», в статьях «Внутренние противоречия науки», «Диалектика развития природного ландшафта» и др. Подводя итог своей деятельности в указанном направлении, ученый переработал ранее написанное, добавив результаты исследований последних лет. В книге освещены далеко не все методологические проблемы геохимии, а только те, которыми лично занимался А. И. Перельман и по которым у него сложились определенные представления. С другой стороны, как ученого широкого профиля, автора интересовали не только вопросы геохимии, но и других наук о Земле, в том числе геологии и географии. Занимали его и такие общие проблемы естествознания, как перепроизводство информации, соотношение фактов и теории в исследовании, системный подход, теоретические (фундаментальные) и прикладные науки, вопросы научной терминологии и др. Поэтому, хотя книга называется «Изучая гео-

химию», она трактует не только методологические вопросы геохимии, но и те, которые возникли у автора в ходе геохимических исследований.

Особенно следует отметить то большое внимание, которое А. И. Перельман уделяет роли биосферы в земной коре, проблеме ноосферы, понятию о геохимических барьерах и матричному принципу систематики геохимической информации. Все эти вопросы тесно связаны с актуальными задачами ускорения научно-технического прогресса в области наук о Земле — с проблемами минерального сырья и защиты окружающей среды. Автор в своей научной деятельности занимается этими практическими приложениями, что придает его работе необходимую конкретность.

Книги подобного содержания не так уж часто выходят в свет — специалисты в конкретных областях науки обычно так загружены решением конкретных задач, что до методологических проблем у них часто «не доходят руки». Автор нашел время и силы для подобной работы. В этом — в размышлении специалиста над методологическими проблемами своей и смежных наук — мы видим главную ценность книги А. И. Перельмана. Надеемся, что она привлечет внимание многих представителей наук о Земле, усилит их интерес к методологическим проблемам, которые приобрели такое важное значение в наши дни.

Член-корреспондент АН СССР *Н. П. Лавров*

Введение

Каждый исследователь, накопив достаточно фактического материала, стремится скорее его осмыслить, обобщить, что, как известно, зависит от руководящих принципов, методологии исследования. Это и побудило автора с методологических позиций проанализировать собственную работу. Потребность в подобном анализе возникала постоянно. Часто решение вопроса приходило неожиданно, после того как много лет наблюдалось то или иное явление. Так, в частности, получилось с изучением красноцветов — формации осадочных пород, с которой автору впервые довелось познакомиться в 1938 г. на южном склоне хребта Кунгей-Алатау. В 1943 г. во время исследований на юге Монголии, в пустыне Гоби, снова встретились красноцветы — континентальные отложения третично-мелового возраста. Породы красной и зеленой окраски здесь многократно чередовались, создавая на первый взгляд совершенно незакономерную пеструю картину полос, языков, узких лент и т. д. Однако никаких выводов из этого тогда не было сделано.

В конце 40-х годов началось изучение красноцветов в Узбекистане и Таджикистане, и тут автору пришла мысль, что зеленые участки в породах — это следы оглеения — процесса, хорошо известного и по литературе, и по опыту работ автора в болотистых районах Белоруссии и Северной Украины. Оказалось, что оглеение в красноцветах связано с водоносными горизонтами, которые ранее были в данных породах. Осмысливание теперь уже большого материала наблюдений привело к заключению, что оглеение, связанное деятельности подземных вод, распространено чрезвычайно широко. Этот процесс был обнаружен и в других осадочных формациях практически во всех районах, где удалось поработать, — в Средней Азии, Забайкалье, Южной Якутии, Казахстане, европейской части нашей страны, на Кавказе и в Закавказье. Напрашивался общий вывод: осадочные толщи за геологическую историю столь сильно переработаны подземными водами, что многие породы изменились до неузнаваемости. Эти эпитетические процессы необходимо было учитывать при решении многих важных практических вопросов. Результаты исследований опубликованы в монографии авто-

ра «Геохимия эпигенетических процессов (зона гипергенеза)».

Как видно, проходят годы наблюдений и кропотливой работы, прежде чем наступит момент, который можно называть «звездным часом» ученого. В чем загадка этого «звездного часа», как происходит переход количества в качество в нашем сознании, скачок от фактов к гипотезе, а потом к теории? И нельзя ли, овладев законами этого скачка, ускорить процесс открытия, научиться быстрее видеть в явлении сущность, т. е. не только смотреть, но и видеть, что, как известно, далеко не одно и то же? Иначе говоря, как усмотреть в обычном, привычном проявлении еще неизвестных законов природы?

История изучения красноцветов — лишь один пример важности разработки методологических проблем. Обратимся к другим. Около 20 лет назад сотрудники геологической библиотеки Института геологии рудных месторождений, петрографии, минералогии и геохимии АН СССР (ИГЕМ) обратились к автору с просьбой помочь в подготовке предметного каталога по геохимии. Существовавшие общие принципы построения каталогов оказались недостаточными для решения поставленной задачи. Было ясно, что этот вопрос следует решать на строго научной, а не на эмпирической основе. Так неожиданно родилась проблема дробной классификации науки. Как известно, существует много классификаций, в основе составления которых лежит принцип выделения крупных таксонов — на уровне целых наук или даже их групп (естественные, общественные, технические и др.). Работа же над каталогом потребовала иных подходов.

В разных аспектах с этой проблемой пришлось сталкиваться не раз. В 1951 г. автор приступил к чтению лекций в Московском университете по новой дисциплине — геохимии ландшафта. Учебных руководств и монографий не было, задача была не из легких. Какие вопросы включить в курс лекций и в какой последовательности, что считать главным и почему, как обосновать логическую связь между различными разделами, т. е. как представить новую науку в качестве целостной системы со «сквозными» руководящими идеями, наконец, как излагать практические приложения — попутно с теорией или в особом разделе?

Сложными оказались вопросы, возникшие в 70-х гг. и при составлении нового учебного пособия по геохимии. Эта наука давно уже преподается в университетах и

других вузах, имеется ряд руководств, принадлежащих крупным ученым. Например, «Геохимия» видного ученого А. А. Саукова выдержала четыре издания: два как учебное пособие (1951, 1952 гг.) и два как научная монография (1966, 1975 гг.). При обилии учебных пособий и монографий новая попытка в данной области могла показаться излишней. Однако все прежние руководства по геохимии были ориентированы на решение главной прикладной задачи геологических наук того времени — ответа на вопрос, как образуются месторождения полезных ископаемых и где их искать? В последние же 20 лет огромное значение приобрели и другие практические проблемы, имеющие прямое отношение к геохимии: как искать месторождения и как бороться с загрязнением окружающей среды? Сформировалась даже самостоятельная прикладная наука о геохимических методах поисков месторождений полезных ископаемых, располагающая хорошо разработанной теорией и получившая большое практическое применение. Оформилось и самостоятельное научное направление — геохимия окружающей среды. Все это и привело автора к выводу, что современный курс геохимии должен быть ориентирован на решение двух важнейших проблем, стоящих перед человечеством: минерального сырья и окружающей среды.

Приступая к разработке первой проблемы, геохимик должен изучать не только генезис месторождений полезных ископаемых, но и процессы их разрушения, приводящие к образованию так называемых вторичных ореолов рассеяния — прямых поисковых признаков руд. Борьба с загрязнением окружающей среды потребовала геохимического анализа деятельности человечества, изучения процессов, которые А. Е. Ферсман назвал техногенезом. Следовательно, нужно было пересмотреть структуру учебного пособия по геохимии, включить в него новые разделы, перераспределить объем «старых». А это, по существу, все та же проблема классификации конкретной науки, с которой ранее пришлось иметь дело при составлении предметного каталога. Возникла и необходимость четкого определения предмета геохимии, ее границ, так как за последние полвека геохимия развивалась быстро, ее идеи и методы пропикли во многие смежные и даже несмежные науки, например в биологию, медицину. Это привело к появлению научных направлений, а иногда и целых наук, принадлежность которых к конкретной отрасли знания установить трудно. Так, геохи-

мические методы приобрели большое значение в изучении минералов, в трудах стало появляться новое понятие: «геохимия минералов». По объекту исследования это минералогия, по методике, идеям — геохимия. К какой же науке относится геохимия минералов, в какой курс лекций ее включать? Аналогичное положение сложилось в петрографии, гидрогеологии, почвоведении, географии и других науках в связи с публикацией трудов по геохимии изверженных и осадочных пород, подземных вод, почв, ландшафтов и т. д. Оформились самостоятельные «пограничные» науки: гидрогеохимия, геохимия ландшафта и т. д. Может показаться, что «пограничная проблема» несущественна. В конце концов, так ли уж важно, куда относить науку, не важнее ли просто проводить необходимые исследования в данном направлении и применять их на практике? Однако от решения поставленного вопроса зависит организация исследований, ассигнования, подготовка специалистов, издание учебных пособий, информатика и т. д. Все это и заставило сосредоточить внимание на методологии геохимии, в основе которой, как у любой другой науки, лежат общие положения диалектического материализма, философии естествознания и науковедения. «Принципиальной, выверенной основой естествонаучного и социального познания была и остается диалектико-материалистическая методология», — говорится в новой редакции Программы КПСС, принятой XXVII съездом КПСС¹.

Главная особенность методологии геохимии, установленная еще ее основоположниками В. И. Вернадским, В. М. Гольдшмидтом и А. Е. Ферсманом, — изучение геологических процессов на атомарном уровне. Геохимия занимается историей атомов Земли — их миграцией (концентрацией и рассеянием). Эти противоположные стороны миграции тесно связаны между собой. Учение о процессах концентрации — теоретическая основа наук о месторождениях полезных ископаемых (рудных, нефти и газа и др.). Изучение рассеяния приобрело наибольшее значение при геохимических поисках полезных ископаемых и в борьбе с загрязнением окружающей среды. Так, при изучении предмета геохимии выявилась необходимость его анализа с позиции основного закона диалектического материализма — закона единства и борьбы противоположностей.

¹ Материалы XXVII съезда Коммунистической партии Советского Союза. М.: Политиздат, 1986, С. 167.

Ниже рассмотрены вопросы методологии геохимии, в разное время привлекавшие внимание автора, по которым у него сложились собственные представления. При этом он руководствовался несколькими общими принципами. Главным в изучении какого-либо явления или процесса автор полагал выяснение характерного для него внутреннего противоречия, следуя в этом вопросе известному положению В. И. Ленина: «Раздвоение единого и познание противоречивых частей его... есть *суть* (одна из „сущностей“, одна из основных, если не основная, особенностей или черт) диалектики»². Анализ геохимических процессов с этих позиций дает чрезвычайно много. Например, изучение земной коры показало важную роль в ней окисления и восстановления. В химии и геохимии они обычно рассматриваются вместе как окислительно-восстановительные процессы. Противоположность окисления восстановлению очевидна, их единство не внушает сомнения (окисление невозможно без восстановления, и наоборот). Здесь интуитивно чувствуется проявление закона единства и борьбы противоположностей. Размышления на эту тему позволили сделать вывод, с которым читатель познакомится в одном из разделов книги. С этих позиций будут рассмотрены геохимия ландшафта, биосферы, почв, понятие о геохимических барьерах и другие вопросы.

В своей работе автор стремился следовать и другим принципам диалектического материализма — всесторонности, развития. «Диалектика требует всестороннего учета соотношений в их конкретном развитии, а не выдергивания кусочка одного, кусочка другого», — писал В. И. Ленин³. Далее он указывал: «Чтобы действительно знать предмет, надо охватить, изучить все его стороны, все связи и „опосредствования“. Мы никогда не достигнем этого полностью, но требование всесторонности предостережет нас от ошибок и от омертвления. Это во-1-х. Во-2-х, диалектическая логика требует, чтобы брать предмет в его развитии, „самодвижении“ (как говорит иногда Гегель), изменении... В-3-х, вся человеческая практика должна войти в полное „определение“ предмета и как критерий истины и как практический определитель связи предмета с тем, что нужно человеку. В-4-х, диалектиче-

² Ленин В. И. К вопросу о диалектике // Полн. собр. соч. Т. 29. С. 316.

³ Ленин В. И. Еще раз о профсоюзах, о текущем моменте и об ошибках гг. Троцкого и Бухарина // Полн. собр. соч. Т. 42. С. 286.

ская логика учит, что „абстрактной истины нет, истинна всегда конкретна“»⁴. Большое методологическое значение имеют и представления о формах движения материи, которые впервые были разработаны Ф. Энгельсом. От анализа этих форм легко перейти к типам миграции химических элементов, решению других вопросов.

К общим методологическим принципам относится и историзм, руководящее значение которого уже давно установлено в науках о Земле, что, в частности, нашло отражение в названиях отдельных наук и направлений.

Важное методологическое значение для геохимии, как и для многих других наук, имеет системный подход — использование положений общей теории систем и кибернетики (особенно понятия об обратной связи). В книге этот вопрос рассмотрен на примере земной коры, биосферы и ноосферы.

Автор стремился увязывать теоретические вопросы с практикой, с такими актуальными проблемами, как поиски месторождений минерального сырья, рациональное использование природных ресурсов и охрана окружающей среды от загрязнения. В трактовке теоретических и прикладных вопросов большое значение придается идеям В. В. Докучаева, В. И. Вернадского, А. Е. Ферсмана и Б. Б. Полынова.

Предлагаемая книга написана представителем наук о Земле, который пришел к методологическим проблемам от конкретных, хорошо ему знакомых вопросов. Этим во многом определяется ее специфика. В последние годы опубликован ряд трудов Б. М. Кедрова, В. П. Кохановского, С. Т. Мелюхина, И. Б. Новика, В. М. Федорова, Н. П. Французовой, И. Я. Фурмана, в которых ученые сосредоточили внимание на геологической форме движения материи и других наиболее крупных и общих методологических вопросах.

Анализируя широкие методологические проблемы, И. И. Абрамович, С. А. Брусиловский, Ю. К. Бурков, М. А. Глазовская, И. Ф. Зубков, Ю. А. Жданов, Ю. А. Косыгин, П. С. Кузнецов, В. С. Лямин, А. С. Поваренных, Б. С. Соколов, В. В. Тихомиров, В. Е. Ханн, А. Л. Яншин и другие стремятся также трактовать и частные вопросы методологии наук о Земле. Ознакомление с трудами этих и других исследователей помогло в работе над данной книгой.

⁴ Там же. С. 290.

Перепроизводство информации, соотношение фактов и теории в работе геохимика

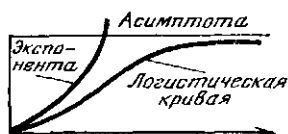
Перепроизводство информации. Ежегодно в научных журналах публикуются миллионы статей. Подсчитано, что половина всех данных, имеющихся в науке, получена лишь за последние десятилетия. Рост научной информации неминуемо ведет к ее консервации. Ученому порой легче повторить эксперимент, чем искать литературу о нем. Перепроизводство информации имеет и другую сторону: оно отрицательно влияет на его творческие способности. По ориентировочным расчетам, для написания оригинальной научной работы ученому необходимо прочитать в среднем 100 тыс. книг и статей и потратить на это 10 лет. В 1965 г. в предисловии к книге «Основы научной информации» академик А. И. Несмеянов привел свой расчет, согласно которому химик, владеющий 30 языками (!), за год при чтении со скоростью четыре статьи в час и 40 часов в неделю прочитал бы только 5% материалов, представляющих для него профессиональный интерес. Таким образом, картина получается довольно мрачной: современный ученый, несмотря на все свои старания, не в состоянии следить за поступающей информацией и в конечном счете попадает в положение человека, идущего вверх по спускающемуся эскалатору.

Перепроизводство информации весьма характерно для наук о Земле, в частности для геохимии, в которой за последние 30 лет произошел подлинный «информационный взрыв». В первой половине XX столетия накопление информации в этой науке было связано преимущественно с изучением локальных образований земной коры — отдельных месторождений полезных ископаемых, массивов горных пород, конкретных минералов, организмов и т. д. Даже крупные исследовательские институты и геологические экспедиции ежегодно выполняли лишь сотни, реже — тысячи определений химических элементов. В 50-х годах началось широкое внедрение геохимических методов в поиски рудных месторождений и положение корен-

ным образом изменилось. Ежегодно детальными геохимическими съемками стали покрывать десятки тысяч квадратных километров, на спектральный анализ стали поступать сотни тысяч и миллионы проб рыхлых отложений и почв. В результате в такой республике, как Казахстан, была обследована площадь, превышающая 600 тыс. км², отобраны десятки миллионов проб, в каждой из которых определялось от 30 до 40 химических элементов. Общее число данных, таким образом, превысило 1 млрд.

Математики В. В. Налимов и З. М. Мумльченко приводят следующую экспоненциальную зависимость роста науки: $dY/dt = KY$, где Y — массив результатов науки; dY/dt — скорость ее роста, а K — коэффициент пропорциональности, зависящий от рода науки и исторических условий ее развития.

Интегрирование дает уравнение $Y = Y_0 e^{Kt}$, где Y_0 — сумма результатов науки к «моменту отсчета», Y — за время t . Однако развитие науки по экспоненте не бесконечно, так как рано или поздно вступают в силу сдерживающие факторы — ограниченность средств и т. д. Поэтому указанные авторы считают более правильной формулу развития науки, учитывающую величину сдерживающего фактора b : $dY/dt = KY(b - Y)$. Этому уравнению отвечает уже не экспонента, а логистическая кривая. Однако рост исследований за последние десятилетия во многих науках передается не логистической кривой, а экспонентой, т. е. сдерживающие факторы пока не действуют.



Рост науки, передаваемый экспонентой и логистической кривой

Все же перепроизводство информации, вероятно, не следует считать исключительной особенностью нашей эпохи. В той или иной степени оно было и в далеком прошлом.

Что же порождает перепроизводство информации и так ли оно фатально, как это может показаться на первый взгляд? Имеются ли в самой науке факторы, противостоящие этому бедствию? Около 15 лет назад автор пришел к выводу, что перепроизводство информации относительно и необязательно; оно возникает тогда, когда

теоретическое осмысление фактического материала значительно отстает от его накопления.

Факты — воздух ученого. Эти слова выдающегося ученого И. П. Павлова, несомненно, являются аксиомой любого научного исследования. Ознакомление с творческой лабораторией ученых — их записными книжками, архивами, рабочими журналами — показывает, какое невероятное количество фактов было положено в основу того или иного исследования. Нетрудно себе представить, с какой тщательностью собирал факты для «Капитала» К. Маркс, для «Диалектики природы» — Ф. Энгельс, для «Развития капитализма в России» — В. И. Ленин. «Для естествознания, — писал А. Е. Ферсман, — факт, правильно наблюдаемый, точно описанный и продуманно сопоставленный, составляет основу работы и является залогом успеха»⁵. Многие современники отмечали исключительную наблюдательность А. Е. Ферсмана. Он был подлинным натуралистом, умел подмечать в природе такие стороны, на которые ранее не обращали внимания. В этом, конечно, сказались и его талант ученого, и огромный опыт полевых работ, и обширнейшие знания. А. Е. Ферсман так сформулировал свое отношение к наблюдениям, сбору и описанию фактического материала: «Дать точное описание наблюдавшихся явлений природы, выхватить из многообразия деталей и мелочей главные, характерные черты, в резкой и краткой форме сформулировать все, что видел глаз и схватила мысль, — это настолько сложная и важная задача, что перед ней бледнеют все трудности лабораторного исследования или теоретического анализа в кабинетах ученых»⁶.

Отправляясь в новые края, А. Е. Ферсман всегда подробно расспрашивал местных жителей об их быте, заходил на рынок, где получал информацию о хозяйственной жизни, посещал кладбища, которые были для него источником сведений о местных камнях. Труды А. Е. Ферсмана всегда насыщены фактическим материалом; обращаясь к истории исследуемого вопроса, он нередко ссылался на произведения ученых XVII—XVIII вв.

На протяжении всей жизни А. Е. Ферсман собирал фактический материал по среднему составу земной коры (с 1907 г.), пегматитам (с 1908 г.), региональной геохимии (с 1909 г.). Так, начав исследование пегматитов на

⁵ Ферсман А. Е. Очерки по минералогии и геохимии. М.: Наука, 1977. С. 184.

⁶ Ферсман А. Е. Путешествия за камнем. Л.: Детгиз, 1956. С. 128.

острове Эльба, он продолжил его на Урале в 1912—1914 гг. Позднее ученый изучал пегматиты Забайкалья, Хибин, Средней Азии, Швеции и Норвегии. По коллекциям музеев мира А. Е. Ферсман составил представление о пегматитах других зарубежных стран, став крупнейшим знатоком этих своеобразных тел земной коры. Собранный им огромный фактический материал лег в основу классической монографии «Пегматиты», которая увидела свет в 1931 г. Однако А. Е. Ферсман не считал тему законченной. Он продолжал заниматься пегматитами, подготовив второе и третье издания монографии. Много фактических данных осталось в архиве для второго тома большого исследования — «Пегматиты щелочной магмы».

Сведения о роли камня в истории культуры А. Е. Ферсман собирал в течение 35 лет в различных архивах, музеях, на месторождениях СССР и зарубежных стран, на ювелирных и гранитных фабриках, в мастерских. Это составило свыше 20 тыс. различных текстовых материалов, более 1000 фотографий, карт и рисунков (часть из них вошла в двухтомное издание «Очерки по истории камня»). Полное изложение должно было занять 120 печатных листов, и только смерть помешала ученому осуществить его план.

Так работали с фактическим материалом многие ученые. Как подчеркивал В. И. Ленин: «Подобрать примеры вообще — не стоит никакого труда, но и значения это не имеет никакого, или чисто отрицательное, ибо все дело в исторической конкретной обстановке отдельных случаев. Факты, если взять их в их *целом*, в их *связи*, не только „упрямая“, но и безусловно доказательная вещь»⁷.

Неизбежность рождения новой теории. Наука, как известно, не может ограничиваться накоплением фактического материала, даже если ученый систематизирует его в определенном порядке. «Науке противопоказаны как схоластические рассуждения, так и пассивная регистрация фактов, чуждающаяся смелых теоретических обобщений», — говорится в новой редакции Программы КПСС⁸. Сведение функции науки к коллекционированию фактов, недооценка роли абстрактного мышления и обобщения приводят к застою, невозможности проникнуть в сущность явления. «Сколько бы пренебрежения ни высказы-

⁷ Ленин В. И. Статистика и социология // Полн. собр. соч. Т. 30. С. 350.

⁸ Материалы XXVII съезда Коммунистической партии Советского Союза. С. 168.

вать ко всякому теоретическому мышлению, — писал Ф. Энгельс, — все же без последнего невозможно связать между собой хотя бы два факта природы или уразуметь существующую между ними связь»⁹.

Говоря о развитии биологии во второй половине XIX в., К. А. Тимирязев отмечал, что в это время «явились целые полчища специалистов, различных истов и логов, размежевавших природу на мелкие участки и не желавших знать, что творится за пределами их узкой полосы. Смешивая осторожность с ограниченностью, трезвость и строгость мысли с отсутствием всякой мысли, эти пигмеи самодовольно провозгласили, что наш век — не век великих задач, а всякого пытавшегося подняться над общим уровнем, чтобы окинуть взором более широкий горизонт, величали мечтателем и фантазером»¹⁰.

В ходе исследования новые факты часто вступают в противоречие с существующими гипотезами и теориями, не укладываются в старые представления. Например, более 100 лет в геологии господствовала теория И. Канта и П. Лапласа о расплавленном ядре Земли и о верхней части нашей планеты как «коре застывающей». Эта теория хорошо объясняла многие известные в то время факты и была шагом вперед. Однако в XX в. было доказано твердое состояние глубин Земли, что заставило полностью отказаться от теории расплавленного ядра.

Несколько иная судьба у так называемой постмагматической теории образования гидротермальных рудных месторождений, к которым относятся многие крупнейшие месторождения меди, свинца, цинка, серебра, золота и других химических элементов. Доказано, что руды в них образовались из горячих растворов, циркулировавших в земной коре. Подобные воды известны и сейчас вблизи вулканов. Эти наблюдения привели в конце XIX — начале XX в. к разработке теории, согласно которой горячие пары и растворы, содержащие металлы, выделялись из магмы на больших глубинах. Двигаясь по трещинам к земной поверхности, растворы постепенно охлаждались, давление в них уменьшалось, что приводило к последовательному осаждению растворенных в водах химических элементов, образованию гидротермальных руд. Считалось, что на большей глубине из более горячих растворов осаждались олово, вольфрам, молибден; ближе к поверхности из ме-

⁹ Энгельс Ф. Диалектика природы // Маркс К., Энгельс Ф. Соч. Т. 20. С. 382.

¹⁰ Тимирязев К. А. Чарльз Дарвин и его учение. М.: Госиздат, 1930. С. 62.

ные нагретых вод — цинк, свинец, медь; из еще менее горячих растворов — ртуть, сурьма.

Эта теория хорошо объяснила многие факты, позволяла в ряде случаев успешно искать рудные месторождения. Однако постепенно стали выявляться и серьезные противоречия между фактами и теорией: были открыты гидротермальные месторождения меди, свинца, цинка и других металлов, для которых связь с магматизмом установить не удалось. С другой стороны, гидрогеологи доказали, что горячие воды в земной коре не обязательно порождаются магмой, что на некоторой глубине от поверхности повсеместно залегает пояс горячих вод, в том числе и в таких районах, где магматизм прекратился сотни миллионов и даже миллиарды лет назад. В этих современных гидротермальных растворах были обнаружены повышенные содержания металлов, поступившие в воды из вмещающих пород. Выяснилось, что даже в вулканических районах вода горячих источников образовалась за счет просачивания на глубину атмосферных осадков.

Эти и многие другие факты привели к выводу о возможности образования гидротермальных месторождений за счет поверхностных вод, проникших на большие глубины. Так, ранее господствовавшая постмагматическая теория приобрела конкурентов в виде вадозно-гидротермальной (образование руд за счет инфильтрации поверхностных вод) и метаморфогенной (образование руд при метаморфизме осадочных пород и отжатии из них вод). Не исключается, что гидротермальные месторождения полигенетичны — одни из них имеют постмагматическое происхождение, другие — вадозно-гидротермальное и третьи — метаморфогенное. Каждая из этих теорий намечает особые критерии для поисков месторождений, т. е. по-разному ориентирует практику. Таким образом, в каждом конкретном случае правильность той или иной теории имеет не только теоретический интерес — от этого зависит эффективность поисков минерального сырья.

В рассмотренном случае, следовательно, речь идет не о полном отрицании старой теории (как в космогонии Канта—Лапласа), а о принципе дополнительности — старая теория оказывается неуниверсальной, она верна лишь в отдельных случаях.

Аналогичная ситуация сложилась и с теорией происхождения нефти. Большинство геологов полагают, что нефть — продукт разложения остатков организмов, захороненных в осадочных породах. Опустившись на глубины

2—4 км, эти породы попадали в зоны с температурой 60—150° и повышенным давлением. В таких условиях возникали капельки углеводородов, т. е. «протонефть», которая, постепенно мигрируя в различные структурные ловушки, накапливалась, образуя крупные залежи. Эта осадочно-миграционная (биогенная) теория образования нефти особенно детально была разработана членом-корреспондентом АН СССР Н. Б. Вассоевичем и разделяется многими геологами. Она устанавливает ряд критериев для поисков нефтяных залежей. Однако в последние десятилетия обнаружены факты, позволившие высказать и альтернативную гипотезу. Дело в том, что нефтяные углеводороды встречаются и в магматических породах, и в гидротермальных рудах, а возможно, в мантии и даже в ядре планеты. Дегазация мантии происходит по глубинным разломам и в современную эпоху, среди газов обнаружены углеводороды. Они также открыты в некоторых метеоритах. Все это привело к дальнейшей разработке неорганической теории происхождения нефти, основы которой были заложены еще в XIX в. Д. И. Менделеевым и другими учеными. Дискуссия «органиков» и «неоргаников» продолжается, причем, как и в генезисе гидротермальных руд, не исключается «компромиссное решение», т. е. полигенетичность нефти — ее образование различными способами.

Менялись представления и о закономерностях размещения нефтяных залежей. В течение длительного времени полагали, что нефть встречается только в геологически молодых породах третичного возраста и поиски нефти в более древних толщах бесперспективны. До известного периода эта теория хорошо объясняла накопленные факты и правильно направляла поисковые работы на изучение третичных отложений во многих районах, действительно богатых нефтью. Однако в дальнейшем в Заvolжье и Приуралье (Второе Баку), Западной Сибири была обнаружена нефть в значительно более древних породах. Новые факты заставили полностью отказаться от теории; согласно которой нефтяные месторождения приурочены лишь к молодым породам.

Противоречие между новыми фактами и господствующей теорией обычно разрешается созданием новой гипотезы, а затем и новой теории, которая отвечает накопленному фактическому материалу, объясняет его и систематизирует.

Превращение возможности в действительность отнюдь

не автоматический процесс. Он может происходить стихийно: несоответствие новых фактов существующим теоретическим представлениям в конце концов приведет ученых к созданию новой теории. Так в основном происходило в прошлом. Однако если создание теории назрело, т. е. подготовлено всем предшествующим развитием знания, то ее отсутствие тормозит дальнейшее развитие науки — задерживает накопление фактического материала, замедляет работу ученых, подготовку кадров и в конечном счете затрудняет практическое использование науки.

Анализ творчества ученых показывает исключительную сложность рождения новой теории, большую роль интуиции, фантазии, оригинального подхода к хорошо известным явлениям. Новая идея, служащая основой теории, как правило, результат длительных размышлений, сопоставления фактов, большой предварительной работы мысли. Однако сам момент возникновения этой идеи часто связан с внешне случайными причинами, например с отдельным наблюдением, давшим «последний толчок» мысли, с ассоциацией из области искусства, внешней аналогией, особым настроением души и т. д. Ученый обычно целиком поглощен изучаемой проблемой, он мыслит о ней постоянно: в часы работы, на отдыхе, в дороге и т. д. Чрезвычайно интересна та среда, которая наиболее благоприятствует рождению новых идей. Это далеко не всегда привычная обстановка научного кабинета — письменный стол, заваленный рукописями и книгами, или лаборатория, где проводится эксперимент. Г. Гельмгольц говорил, что новые мысли часто приходят к нему во время прогулки в лесу. Автор этой книги убежден, что, как бы дальше ни развивались науки о Земле, как бы ни совершенствовался эксперимент, для геолога и географа источником новых идей всегда будут служить наблюдения в природе — в горах, тайге, тундре, море, океане и т. д.

Правильность теории проверяется не только экспериментами самой науки, но и главным образом практикой. Следует также иметь в виду, что история науки знала и много ошибочных теорий, тормозящих развитие науки, а порой неверная теория на определенном этапе играла и положительную роль. Все эти вопросы подробно освещаются в науковедении.

Создание теории всегда крупный шаг в развитии науки, диалектический скачок, переход количества в качество. Новая теория открывает перспективы дальнейшего развития науки, направляет исследование, позволяет мно-

гое предвидеть, прокладывает пути практике, производит переворот в представлениях о природе и обществе, приводит к новому мощному накоплению фактического материала. Таким было влияние теории эволюции Ч. Дарвина на биологию, периодического закона Д. И. Менделеева на химию и физику, учения о зонах природы В. В. Докучаева на географию, кристаллохимических представлений В. М. Гольдшмидта и биогеохимических В. И. Вернадского — на геохимию.

Напомним, что до гениальных исследований Д. И. Менделеева открытие элементов происходило в значительной степени случайно. Периодический закон позволил предсказать многие элементы, предвидеть их свойства. Эти элементы действительно вскоре были найдены и имели те свойства, о которых писал Д. И. Менделеев. Так, периодический закон не только явился мощным толчком для развития теории физики и химии, но и привел к открытию большой области фактов.

В геохимии ярким примером влияния новой теории на накопление фактического материала служат кристаллохимические исследования В. М. Гольдшмидта, которого А. Е. Ферсман назвал властителем дум минералогов и геохимиков начала XX столетия. До этих исследований более чем 100-летняя работа химиков и минералогов накопила колоссальный фактический материал о так называемых элементах-примесях в минералах, т. е. небольших количествах химических элементов (часто сотых и тысячных долях процента), постоянно обнаруживаемых при химическом анализе. Например, в минерале олигине, помимо главных элементов — кремния, кислорода, железа и магния, как правило, обнаруживается небольшое количество никеля, в калиевом полевоом шпате — бария и свинца, в цирконе — гафния и т. д. В ряде случаев эти закономерности удавалось объяснить химическим сходством элементов, близостью их положения в периодической системе, но иногда такая закономерность отсутствовала. Вместе с тем все эти факты представляли не только теоретический интерес, нередко примеси в минералах являлись ценным сырьем. Так, медь добывается в основном из минерала халькопирита (CuFeS_2), в котором установлены примеси рения, индия, селена, кадмия и других редких элементов, имеющих важное практическое значение.

В. М. Гольдшмидт объяснил причины образования многих примесей в минералах. Ученый сделал замеча-

тельное открытие, введя в геохимию и минералогию новый параметр — размер атомов и ионов. Конечно, и раньше ученые не сомневались, что атомы и ионы имеют физические размеры, однако последние не использовались для объяснения процессов, протекающих в земной коре. В. М. Гольдшмидт это сделал. Исходя из различных предпосылок, он в 1926 г. вычислил размеры большинства простых ионов (Ca^{2+} , Na^+ , O^{2-} и т. д.) и показал, что для вхождения химических элементов в кристаллическую решетку решающее значение часто имеют не их химические свойства, а именно размер ионов. Так, два родственных минерала — ортоклаз (KAlSi_3O_8) и анортит ($\text{CaAl}_2\text{Si}_2\text{O}_8$) относятся к группе полевых шпатов. В ортоклазе часто обнаруживается примесь бария. Казалось бы, барий — химический аналог кальция — должен скорее встречаться в анортите. Однако здесь дело не в химических свойствах, а в размерах ионов. Радиус иона кальция, равный 1,04 Å ($1 \text{ Å} = 10^{-8} \text{ см}$), слишком мал, поэтому и большой ион бария (1,38 Å) не может замещать его в кристаллической решетке при образовании минерала. Наоборот, у бария и калия размеры ионов близки (1,38 и 1,33 Å) и умещаются в одном кристалле.

С этих позиций В. М. Гольдшмидт объяснил огромное количество фактов распределения элементов, в частности ассоциацию в минералах ниобия и тантала, циркония и гафния и т. д. На основе близости ионных радиусов стали предсказывать совместное нахождение элементов в горных породах и рудах. Это был качественно новый, кристаллохимический этап в развитии геохимии.

Благодаря работам В. М. Гольдшмидта и его многочисленных последователей оформилось самостоятельное научное направление — геохимия минералов. Так новая теория оказала колоссальное влияние на дальнейшее накопление фактического материала: элементы-примеси в минералах стали прогнозировать, объем сведений в этой области вырос во много раз.

Новая теория и освоение данных науки. Создание теории имеет еще одну сторону — оно значительно облегчает изучение науки. Например, современная неорганическая химия располагает фактическим материалом, который суммарно в сотни раз превосходит таковой первой половины XIX в. И все же сейчас значительно легче освоить неорганическую химию, чем, скажем, 150 лет назад или даже во времена алхимиков, так как мы имеем периодический закон, позволяющий систематизировать

фактический материал, направлять исследования. Можно также поставить вопрос: когда было легче освоить биологию — до создания Ч. Дарвином теории эволюции или после?

Еще более наглядным примером являются общественные науки. Каким невероятным хаосом фактов представлялась история до разработки К. Марксом, Ф. Энгельсом и В. И. Лениным исторического материализма, и насколько легче стало изучение и понимание истории позднее. Таким образом, теоретическое обобщение, систематизация и объясняя фактический материал, облегчает его усвоение.

Противоречие фактов и теории. Итак, накопление фактического материала приводит к созданию новой теории, а последняя вызывает «информационный взрыв» — увеличение количества фактов. Из этого, понятно, не следует, что накопление фактического материала всегда приводит к отрицанию имеющихся теорий. Часто новый материал лишь подтверждает правильность их. Следовательно, накопление фактического материала и его теоретическое осмысливание составляют две стороны единого процесса познания. В ходе развития науки постоянно возникает противоречие между фактами и уровнем их теоретического осмысления. В этом противоречии автор видит одну из внутренних причин развития науки. Разрешение противоречия находит выражение в создании новой научной теории (гипотезы), которая является мощным толчком для дальнейшего накопления фактического материала и возникновения нового противоречия на новом уровне. Это положение можно назвать законом единства фактов и теории, который иначе формулируется и так: в науке необходимо соответствие между теорией и фактическим материалом. Нетрудно убедиться, что и в данном случае имеет место частное проявление закона единства и борьбы противоположностей.

Итак, если в науке создались предпосылки для рождения новой, обобщающей теории, то общество заинтересовано в скорейшей ее разработке, поскольку отсутствие теории тормозит дальнейшее развитие науки: задерживается накопление фактического материала, замедляется работа ученых, подготовка кадров, затрудняется практическое использование науки и, наконец, возникает перепроизводство информации.

О внутренних противоречиях творчества

Научное и художественное творчество. Как подчеркивал академик Н. В. Белов в книге «Методология исследования развития сложных систем» (1979 г.), теория научного творчества является составной частью методологии науки. С другой стороны, научное и художественное творчество при всех их различиях имеют и много общего, а нередко и удачно соединяются. Известный геолог академик В. А. Обручев был членом Союза писателей СССР. Он написал такие романы, как «Плутония», «Земля Санникова» и др. А. Е. Ферсману принадлежат сборник новелл «Воспоминания о камне» и ряд научно-популярных книг. А. М. Горький так высоко ценил эту сторону творческой деятельности А. Е. Ферсмана, что даже предлагал ему «бросить камни» и всецело заняться литературой. Крупный ученый-палеонтолог, руководитель экспедиций в МНР И. А. Ефремов является автором таких увлекательных романов, как «На краю Ойкумены», «Таис афинская», «Туманность Андромеды».

О связях научного и художественного творчества писали многие ученые. Так, по мнению А. Эйнштейна, в научном творчестве всегда есть элемент поэзии, а настоящая наука и настоящая музыка требуют однородного процесса мысли. О внутренней органической связи между логикой научного исследования природы и эстетическим чувством ее ценителя писал К. А. Тимирязев в статье «Естествознание и ландшафт». Науку и искусство сближают использование фантазии, воображения (по А. Эйнштейну, воображение важнее знания).

Все сказанное позволяет репачь вопрос о внутренних противоречиях научного творчества с учетом опыта не только науки, но и художественной литературы, который в данном отношении значительно более информативен.

Внешние и внутренние факторы творческой деятельности. Побудительные мотивы, заставляющие ученого или писателя взяться за перо, как известно, очень разнообразны. Рассмотрим именно этот заключительный этап творчества, так как его наиболее легко сравнивать у писателя и ученого, и не будем останавливаться на зарождении замысла, сборе фактического материала, научном открытии и других предшествующих этапах. К внешним факторам относятся стремление принести пользу родной

стране и всему человечеству или, например, желание добиться успеха, победить в конкурсе и т. д. Знакомясь с эпистолярным наследием писателей прошлого, мы убеждаемся, что для многих из них творчество было средством к существованию.

Нередко внешняя причина (особенно часто материальный стимул) является лишь толчком к творчеству, которое в дальнейшем развивается по собственным законам. Об этом хорошо сказал А. Н. Толстой: «Вопрос о начальном импульсе к работе — крайне любопытный, но, мне кажется, не имеющий практического (учебного) значения. Для каждого произведения различный импульс...

Начало почти всегда происходит под материальным давлением (авансы, контракты, обещания и пр.). Лишь начав — увлекаешься»¹¹.

Однако все перечисленные и аналогичные мотивы не вытекают из самой природы творческой деятельности. В ней заложены внутренние причины. И. П. Павлов говорил, что человеку свойствен безусловный исследовательский рефлекс, т. е. стремление познать неизвестное («несбывшееся воплотить», как писал А. Блок). Академик Н. Н. Семенов считал потребность творчества одной из первичных человеческих потребностей. С ней связана и радость творчества. Так, Ч. Дарвин писал, что занятия наукой были для него в жизни главным наслаждением.

Внешними причинами далеко не всегда объясняется и та одержимость, с которой нередко работают ученые и писатели, забывая о сне и отдыхе. Такова, например, история преуспевающего лондонского врача А. Кроппина, который в возрасте 35 лет почувствовал такой прилив творческой энергии, что за несколько недель написал большой роман «Замок Броуди». Писал он почти круглосуточно, положив этой работой начало карьере талантливого писателя. В книге «Люди, годы, жизнь» И. Эренбург упомянул, что первые две части романа «Буря» он «писал с раннего утра до вечера, писал и ночью». Выдающийся математик и кораблестроитель академик А. Н. Крылов за немногие недели уже в конце жизни написал большую книгу воспоминаний.

Интересно, что одержимость творчеством не всегда свидетельствует о большом таланте. Так, среди французских писателей прошлого века колоссальной работо-

¹¹ Толстой А. Как мы пишем // Собр. соч. М.: Худож. лит., 1961. Т. 10. С. 137.

способностью и одержимостью творчеством отличался гениальный Бальзак. Не уступал ему в этом отношении и несравнимо менее талантливый Понсон дю Террайль, успевший менее чем за два десятилетия, работая, как сказано в Литературной энциклопедии, без сотрудников и секретаря, написать более 250 романов. В статье А. Н. Толстого «Как мы пишем» читаем: «Если любопытно знать, какие ощущения у меня связаны с окончанием работы, отвечу: пустота, как от утраченной любви, возвращение к будням, к вздорному времяпрепровождению, и, конечно, — некоторое удовлетворение, что сделана работа. Удовлетворение небольшое, так как уже двадцать раз мысленно ее окончил»¹².

Интересно привести мнение современного критика К. Степаняна о творчестве И. А. Гончарова, в котором мы узнаем все те же мотивы: «Просто смысл всей жизни и каждого мгновенья ее есть творчество. Каждодневное мучение от невозможности заняться романом (служба отнимает время и силы), втуне вырабатываемая творческая энергия, не находящая выхода и отравляющая все существование, ужас от осознания неспособности выполнить предназначение, реализовать свой дар, ослепительное, до слез, счастье, имеющееся вдохновением, и бешеное напряжение «до последних пределов», когда необходимо найти единственно верное слово, верный образ, иначе не достучишься до сердца читателя, и тогда все насмарку: мысли, труд, жизнь... — вот биография писателя, а отнюдь не в хронике его поездок, встреч, служебных и семейных дел»¹³.

С несколько иной стороны затронутый вопрос осветил Л. Н. Толстой: «Писать надо... только тогда, когда мысль, которую хочется выразить, так неотвязчива, что она до тех пор, пока, как умеешь, не выразишь ее, не отстанет от тебя»¹⁴.

О «навязчивости творчества», его необходимости, мучительности незавершения замысла писали многие. А. Т. Твардовский вспоминал об известном писателе Э. Казакевиче: «За несколько дней до конца он в разговоре со мной, как всегда избегая столь свойственной и

¹² Там же. С. 145.

¹³ Степанян К. Суета у черного хода // Лит. газ. 1984. 25 янв.

¹⁴ Толстой Л. Н. Собр. соч.: В 20 т. Т. 18. Письма 1887–1910. Письмо к Л. Андрееву от 2/IX, 1908. М.: Худож. лит., 1965. С. 426.

инполне понятной в его положении темы болезни, только и сказал, что истосковался по работе.

— Ничего не хочу, никаких уклад жизни праздной, ни отдыха — хочу писать, — ужасно это проворачивание *всего в голове вхолостую* (выделено мной. — А. П.)»¹⁵.

А вот как сам А. Т. Твардовский закончил поэму «За далью даль»:

Тем преимуществом особым
При жизни автор наделен:
Все слышит сам, но, как за гробом,
Уже сказать не может он,
Какой бы ни был суд неслестный...
Но если вправду он живой,
Он в новый замысел известный
Уже уходит с головой.
И, распростившись с этой далью,
Что подружила нас в пути,
По счастью к новому свиданию
Уже готовлюсь я. Учти!¹⁶

Одержимость творчеством свойственна и многим ученым. А. Е. Ферсман, автор более 1500 трудов, поражал современников необыкновенной трудоспособностью. Он писал постоянно: в экспедициях вечерами у костра, в поезде, на вокзале и т. д. Ученый говорил, что у него рука устает писать, но голова никогда не устает мыслить. В своем домашнем рабочем кабинете А. Е. Ферсман писал преимущественно по ночам, так как днем был загружен организаторской деятельностью. По воспоминаниям современников, он не знал мук творчества, зато радость творчества познал вполне. «Что может быть прекраснее научного творчества!» — написал ученый.

А вот выписка из дневника Д. И. Менделеева:

«7 марта. Писал... 8 марта. Опять целый день писал. 10 марта. Утро целое писал. 25 марта. Труд, один труд... 5 апреля. Все писал и писал. 16 апреля. Писал, писал, писал... 22 мая. Пишу теперь стоя — лучше и пишется...»¹⁷

Противоречие творчества. Приведенных примеров достаточно, чтобы говорить о существовании в самой природе творчества внутренних причин, во многом являющихся движущей силой или ускорителем этого процесса.

¹⁵ Твардовский А. Э. Г. Казакевич // Собр. соч. М.: Худож. лит., 1978. Т. 5. С. 359.

¹⁶ Твардовский А. За далью даль // Собр. соч. 1967. Т. 3. С. 224.

¹⁷ Цит. по: Рачков П. А. Науковедение. М.: Изд-во МГУ, 1974. С. 145.

Они кроются в противоречии между быстротой воображения и медленностью воплощения, т. е. в разрыве между замыслом, законченной мыслью и медленностью ее литературного оформления. Мысли и образы преследуют творца, это его торопит, заставляет скорее закончить труд. А там новый замысел, и так без конца. «Обычно я могу назвать тот момент, когда возникает будущая книга,— пишет известный советский прозаик Г. Бакланов.— Она возникает целиком вся. Это счастливый момент. Сознание начинает работать с удивительной ясностью, словно вдруг прозреваешь. Впрочем, и слепнешь одновременно, потому что все остальное исчезает из поля зрения, видишь только этот, в тебе возникший мир...

... Так вот, возникает вещь сразу. Вся. И тут же хочется сесть и писать ее. Старый опыт ничему не учит, слова веришь, что напишется книга мгновенно»¹⁸. Конечно, эти строки отражают индивидуальные особенности писателя. Известны и противоположные случаи, когда писатель начинает книгу, не имея ясного плана.

Противоречие творчества как писателей, так и ученых в ряде случаев способствовало их исключительной работоспособности и настойчивости в реализации своих выводов. Мы подчеркиваем слово «способствовало», так как сводить причину трудолюбия ученого только к внутренним противоречиям творчества было бы грубой ошибкой. Хорошо известно, что именно внешне, в том числе социальные, факторы определяли невероятную работоспособность ученых. Множество примеров знает и советская наука, особенно в реализации жизненно важных для страны задач. Бывает и другой стиль работы — исключительно размеренный. Дж. Лондон говорил, что в годы широкого признания он ежедневно писал 1000 слов, после чего отдыхал и развлекался с друзьями, но в молодости писал «по первому парняпу», о чем свидетельствуют и статьи писателя и автобиографический роман «Мартин Иден».

Итак, мы полагаем, что в научном и художественном творчестве играют роль и внешние причины и внутренние противоречия, заложенные в самой природе творчества.

Какие же практические выводы следуют из всего сказанного, с какой целью автор затронул вопрос о внутрен-

¹⁸ Бакланов Г. Сюжеты рождает жизнь // Веч. Москва. 1982. 9 апр.

них противоречиях творчества? По этому поводу хотелось бы еще раз напомнить о многовековом опыте науки, согласно которому печатать нужно не только то, что содержит практические выводы. Иногда достаточно установить истину, даже если автор затрудняется найти для нее практическое применение. Это могут сделать другие!

Важно не только сделать открытие, но и понять его значение

История науки содержит много примеров, подтверждающих справедливость заголовка настоящего раздела. Более того, научное открытие может носить и случайный характер, но его оценка ученым никогда не бывает случайной — она зависит от опыта и таланта ученого. «Идеи носятся в воздухе», и нередко одно и то же открытие почти одновременно и независимо делают несколько ученых, однако истинным автором будет тот, кто правильно оценит его значение, его место в системе знаний, использует для дальнейшего прогресса науки.

Открытие Д. И. Менделеевым периодического закона. К середине XIX в. было известно 63 химических элемента, и, естественно, возникла проблема их систематики. Этому вопросу посвящали исследования ученые многих стран — но творцом периодического закона был признан только Д. И. Менделеев. История этого вопроса настолько поучительна, что на ней стоит остановиться. В 1829 г. немецкий химик И. В. Доберейнер попытался связать химические свойства элементов с их атомными весами, выделив тройки сходных элементов по свойствам («триады Доберейнера»), для которых среднее арифметическое атомных весов близко к атомному весу среднего члена триады (хлор, бром, йод; литий, натрий, калий и др.). Например, среднее арифметическое из атомных весов хлора и йода равно 81 — величине, близкой к атомному весу брома (79,9). Подобное направление в систематике элементов развивалось и в дальнейшем, однако оно не привело к фундаментальным результатам.

Значительным шагом вперед явилась классификация элементов французского профессора геологии А. Е. де Шанкуртуа, который в 1862 г. расположил элементы в порядке увеличения атомных весов по спирали, огибающей поверхность вертикального цилиндра. Элементы

с атомным весом, различающимся на 16 (или на число, кратное 16), оказались на одной вертикальной линии (литий и натрий, бериллий и магний и т. д.). Отсюда следовал вывод о связи химических свойств элементов с атомными весами. На этом основании М. Буабодран и А. Ланпаран писали о вкладе А. Е. де Шанкуртуа в открытие периодического закона, однако их не поддерживало большинство химиков. Английский химик В. А. Тилден отмечал по этому поводу, что автор имел представления о какой-то связи свойств элементов с атомным весом, но эти представления были весьма запутаны его собственными фантастическими идеями, и не было уверенности в том, что он действительно видел в этой зависимости что-нибудь похожее на периодичность.

Через два года после работы А. Е. де Шанкуртуа английский химик Д. А. Ньюлендс, расположив элементы в порядке возрастания атомных весов, установил сходство между каждым восьмым элементом. Найденную закономерность ученый назвал «законом октав» (по аналогии с музыкальной шкалой). Эта попытка систематики не встретила поддержки у современников, а один из химиков во время доклада Д. А. Ньюлендса в 1866 г. даже высмеял его, сказав, что успех был бы еще больше, если бы ученый расположил элементы по алфавиту. Позднее, правда, заслуги ученого были признаны, и в 1867 г. он получил за эти работы медаль Деви. Несомненно, что труды Д. А. Ньюлендса, как и И. В. Доберейнера и А. Е. де Шанкуртуа, занимают почетное место в предистории периодического закона.

И вот настал 1869 г., когда Д. И. Менделеев показал, что свойства элементов являются периодической функцией атомного веса. Закон был открыт, появилась первая редакция ныне всемирно известной таблицы Менделеева. В том же году, через несколько месяцев, независимо от статьи Д. И. Менделеева немецкий химик Л. Мейер опубликовал статью «Природа химических элементов как функция их атомного веса», в которой предложил периодическую систему, сходную с менделеевской. Л. Мейер рассматривал преимущественно физические свойства элементов и не сделал тех теоретических выводов и обобщений, которым наука обязана Д. И. Менделееву. Это не помешало ему в дальнейшем необоснованно оспаривать у Д. И. Менделеева приоритет в открытии периодического закона. Хотя и заслуги Л. Мейера в данной области были признаны, однако его роль оказалась много скром-

нее. Только гению Д. И. Менделеева было доступно оценить значение установленной закономерности как главного закона химии, который позволяет прогнозировать существование новых элементов. Уже в 1871 г. великий химик предсказал существование аналогов бора, алюминия и кремния. Вскоре они были открыты и получили наименование скандия, галлия и германия. Это явилось подлинным триумфом периодического закона и личным триумфом Д. И. Менделеева.

Академик И. В. Петрянов-Соколов, отмечая, что у Д. И. Менделеева были предшественники, писал: «Но великая тайна осталась для них недоступной... Все они хорошо знали химию, но этого было мало... Нужна была прозорливость гения, способного почувствовать великий порядок в видимом хаосе уже познанных свойств вещества. Нужна была непостижимая способность к обобщению, чтобы в бесконечном многообразии увидеть всеобъемлющую простоту закона. Нужна была могучая интуиция; продвигающая познание за пределы известного. Нужна и великая научная смелость. В науку должен был прийти Менделеев»¹. Отдавая должное предшественникам Д. И. Менделеева, в том числе Л. Мейеру, И. В. Петрянов-Соколов пишет: «Никто из них не смог подняться до возможности предсказания... Химики после Менделеева знали — где и как искать неизвестное. Он научил химию предвидеть»².

Для полноты картины отметим, что, как и многие гениальные открытия, периодический закон был не сразу воспринят всеми современниками. Такие крупные ученые, как Р. В. Бунзен, П. Т. Клеве и другие, даже пытались отрицать сам факт открытия Д. И. Менделеевым нового закона природы.

Открытие почвы В. В. Докучаевым. Термин «почва» существовал издавна, но им обозначали различные природные образования вплоть до городской мостовой. В конце 70-х годов XIX в. по поручению Вольного экономического общества изучением русского чернозема занялся преподаватель Петербургского университета геолог В. В. Докучаев.

С 1877 по 1882 г. он обследовал огромные пространства юга России — от Бессарабии до предгорий Урала и

¹ Петрянов-Соколов И. В. Закону Менделеева 100 лет // Водород — хром. М.: Наука, 1971. С. 8.

² Там же. С. 10.

от долины Оки до Черного моря и Северного Кавказа. К изучению чернозема ученый подходил не с каких-либо практических позиций (например, агрономических), а как натуралист-геолог, т. е. изучал чернозем как особое природное явление. В. В. Докучаев интересовался состав и свойства этой почвы, ее зависимость от рельефа, климата, растительности, подстилающих пород.

В результате В. В. Докучаев пришел к выводу, «что почва есть такое же самостоятельное естественноисторическое тело, как любое растение, любое животное, как любой минерал, что это естественноисторическое тело должно изучать прежде всего как таковое, не преследуя каких-либо утилитарных прикладных целей, что оно есть результат, функция совокупной взаимной деятельности следующих агентов-почвообразователей: климата данной местности, ее растительных и животных организмов, рельефа и возраста страны или абсолютной ее высоты, наконец, подпочвы (т. е. грунтовых материнских пород). Как всякое естественноисторическое тело, почва имеет свое прошлое, свою жизнь и генезис»³.

Подобный взгляд на почву явился крупным открытием, которое привело к возникновению новой естественноисторической науки о Земле — почвоведения. По мнению В. И. Вернадского, чернозем сыграл такую же роль в развитии почвоведения, как кальцит в кристаллографии, лягушка в физиологии и бензол в органической химии.

Создание новой науки о почве было подготовлено развитием естествознания. Предшественниками В. В. Докучаева называли русского ботаника Ф. И. Рупрехта, немецких ученых Ф. Фаллу и Г. Берендта и др. Б. Б. Полюнов писал, что в их трудах можно найти в отдельности почти каждое положение о почве, развитое в дальнейшем В. В. Докучаевым, но в этих трудах не было того синтеза, который осуществил В. В. Докучаев, установив сложное строение открытой им системы, создав представление о почвенном профиле, доказав принципиальное отличие почвы от материнской породы, рассмотрев почву как функцию ландшафта. «Такого представления о почве до Докучаева никто не давал. Такой почвы до Докучаева никто не знал», — говорил Полюнов⁴.

³ Докучаев В. В. К учению о зопах природы. СПб., 1899. С. 16.

⁴ Полюнов Б. Б. В. В. Докучаев и естествознание // Изв. АН СССР. Сер. геол. 1947. № 1. С. 107.

Не будет преувеличением сказать, что почвоведение стало одной из фундаментальных наук о Земле. «Именно здесь, в почвах, сосредоточена геологическая работа живого вещества; именно в почвах готовится тот материал континентальных и морских отложений, из которых в дальнейшем образуются новые породы. Но в то же время в почвах в наибольшей степени сосредоточены и те процессы, совокупность которых обуславливает эволюцию органического мира. Здесь разыгрываются многообразные формы борьбы за существование и приспособления организмов к изменяющимся условиям их жизни, создаются многообразные сообщества (биоценозы) и формируются новые виды многочисленных низших и высших растений. Этим определяется значение в естествознании и новой области явлений — почвенной пленки и новой, посвященной ей, науки — почвоведения», — писал Б. Б. Полынов в 1947 г.⁵

Глубокие исследования сущности почвообразовательного процесса позволили использовать почвоведение для решения самых различных практических вопросов в сельском хозяйстве (агрономическое почвоведение), лесоводстве (лесное почвоведение), мелиорации (мелиоративное почвоведение), дорожном строительстве (дорожное почвоведение и грунтоведение), медицине (санитарное почвоведение), при поисках полезных ископаемых и т. д.

Итак, понятие о черноземе, существовавшее до В. В. Докучаева, в общем отвечало выводам ученого, однако его предшественники не осознавали, что чернозем — всего лишь представитель нового типа природных систем, что эти системы сплошным плащом покрывают поверхность материков и подчиняются особым закономерностям, зная которые можно многое предсказать и предвидеть. Так, законы докучаевского почвоведения позволили составлять почвенные карты и на те территории, на которых специальных почвенных исследований не проводилось (например, советским ученым З. Ю. Шокальской была составлена первая почвенная карта Индии). Мы приходим к выводу, что в методологии Д. И. Менделеева и В. В. Докучаева имеются общие черты — оба ученых не только сделали открытие, но и поняли его огромное значение для науки, положили его в основу разработки обобщающей теории, прогнозирования, решения практических проблем.

⁵ *Полынов Б. Б. Избр. труды. М.: Изд-во АН СССР, 1956. С. 411.*

Открытие В. И. Вернадским геологической роли организмов. Научные открытия, как известно, по природе различны. Иногда они основаны на новом методе исследования. Этим путем шли изобретатели микроскопа и телескопа, ученые, открывшие радиоактивность и рентгеновские лучи. Важное значение в развитии науки имели и путешествия. Исследователей ждали неведомые материки и страны, новые виды животных, растений, минералов. Но бывает, что ученый не изобретает метод исследования материи, не обнаруживает новой области фактов, не совершает путешествий. Используя известные данные и делая из них логические выводы, он открывает глубокие законы природы. В новом свете предстает привычная картина мира, открываются широкие дали, возникают целые разделы науки.

Примером такого исследования служит учение В. И. Вернадского о геологической роли организмов. Вопрос этот к началу XX столетия казался окончательно выясненным, ему были посвящены многочисленные труды, накоплен огромный фактический материал. Все геологи отмечали, что организмы играли большую роль в геологической истории. В этом легко было убедиться, наблюдая мощные пласты каменных углей с остатками растений или целые горы известняков, состоящих из скелетов кораллов, губок и других животных, населявших былые моря. В классификации горных пород даже выделялась особая группа органогенных пород, созданных организмами. Организмам отводилось почетное место среди различных факторов, изменяющих лик нашей планеты. Вместе с тем считалось, что большинство явлений на Земле не связано с деятельностью растений и животных. При объяснении процессов, протекающих на земной поверхности, ведущая роль отводилась размыву, переносу, осаждению, окислению, гидролизу, коагуляции, адсорбции и другим механическим и физико-химическим явлениям. Именно с этими процессами связывали образование большинства осадочных горных пород (глин, песков, солей, лёсса и т. д.).

Этой, казалось бы, стройной и основанной на огромном фактическом материале картине учение В. И. Вернадского нанесло сильный удар. Ученый показал геологическую деятельность организмов в новом свете. Организмы оказались не одним из многих геологических факторов, а самой мощной геологической силой, действующей на земной поверхности. Эти представления

оформились в новую науку — биогеохимию, изучающую геохимическую роль жизни. Основные положения биогеохимии сформулированы В. И. Вернадским в 20-х годах в статьях и книгах «Биосфера» (1926 г.), «Очерки геохимии» (1927 г.).

В биогеохимических исследованиях В. И. Вернадского мы сталкиваемся с уже известной нам по трудам Д. И. Менделеева и В. В. Докучаева картиной. Явление (химические элементы, почвы, геологическая деятельность организмов) было в общих чертах известно, наблюдалось многими учеными, но его значение не было осмыслено, и это, естественно, не позволяло сделать те научные выводы, которые были по плечу только гениальным ученым.

Ряды миграции Б. Б. Полюнова. В 1913 г. американский геолог К. Х. Смит сравнил данные Ф. У. Кларка о среднем составе сухого остатка речных вод со средним составом изверженных и осадочных пород. К. Х. Смит разработал особый пересчет, позволяющий определить процент выноса окислов из пород при выветривании, если принять интенсивность выноса CaO за 100%. В результате получилось, что относительная растворимость окислов при выветривании резко различна. Если для CaO ее принять за 100%, то для Na_2O это будет уже 96,1, для MgO — 36,3, для K_2O — 11,9, для SiO_2 — лишь 3,7%.

К. Х. Смит не развивал свою методику и не использовал ее для разработки общей теории водной миграции элементов в верхней части земной коры. Эту задачу решил Б. Б. Полюнов. Он усовершенствовал метод К. Х. Смита, геохимизировал его и получил числа относительной интенсивности выноса элементов из коры выветривания. Все элементы ученый объединил в четыре группы, соответствующие фазам выветривания:

1-я фаза	Cl^-	100	2-я фаза	Ca	3,00
	SO_4^{2-}	57		Na	2,40
				Mg	1,30
				K	1,25
3-я фаза	SiO_2	0,20			
4-я фаза	Fe_2O_3	0,04			
	Al_2O_3	0,02			

Ряды миграции Б. Б. Полюнова имеют фундаментальное значение. Неожиданной оказалась, например, более высокая миграционная способность кальция по сравнению

нию с таковой магния и калия. Это противоречило данным о растворимости простых солей (соли калия, как известно, легче растворяются, чем соли кальция).

Таким образом, миграционная способность химических элементов в коре выветривания для важнейших элементов различается в тысячи и даже десятки тысяч раз. Поэтому если мы представим себе выветривание какого-либо массива изверженных пород, то, по Б. Б. Полюнову, в ходе этого процесса можно будет наметить ряд стадий. Вначале будут в основном вымываться хлор и сера, позднее кора выветривания освободится от большей части оснований (причем кальций и натрий она будет терять быстрее, чем калий и магний), еще позднее кора выветривания лишится большей части кремнезема силикатов и в ней останутся главным образом полуторвые окислы и кремнезем кварца. Подобные рассуждения привели Б. Б. Полюнова к установлению четырех стадий развития остаточной коры выветривания изверженных пород.

Различные и хорошо известные геологам формы остаточной коры выветривания (аллиты, каолиновая кора и т. д.) Б. Б. Полюнов рассматривает не как изолированные типы, а как стадии общего процесса, выражающегося в удалении из коры выветривания различных подвижных соединений, причем по мере развития этого процесса удаляются все менее и менее подвижные компоненты. В результате отчетливо выступает роль времени в формировании коры выветривания.

Большой талант ученого, огромный опыт исследования и знания в области геохимии процессов выветривания помогли Б. Б. Полюнову увидеть фундаментальное значение рядов миграции, найти в них ответ на коренные вопросы геохимии земной поверхности, заложить основы трех научных направлений — геохимии коры выветривания, геохимии континентальных отложений и геохимии ландшафта.

К обоснованию и анализу этих рядов Б. Б. Полюнов обращался неоднократно. Он показал, что группы элементов, входящие в отдельные ряды, характеризуют геохимию целых ландшафтных зон. Так, говоря о субтропических степях и пустынях Средней Азии, Б. Б. Полюнов писал, что в этой стране мигрируют в основном лишь элементы первой группы рядов миграции. «Миграция этих элементов накладывает яркий отпечаток и на почвы, и на местные воды, и на растительность и связывает все эти

„черты ландшафта“ между собой крепкой причинно-
тимой связью»⁶.

За прошедшие десятилетия исследования по геохимии ландшафта в нашей стране получили большое развитие. Как и предвидел ученый, удалось расшифровать геохимию многих ландшафтов. Ученики и последователи Б. Б. Полынова продвинули вперед теорию геохимии ландшафта и, что особенно важно, стали использовать эту науку при поисках рудных месторождений, для решения вопросов охраны окружающей среды, медицины и сельского хозяйства.

На примере трудов Смита--Полынова мы снова видим, что в науке важно не только сделать открытие, но и понять его значение, правильно оценить, определить место в решении актуальных проблем. К. Х. Смит, несомненно, сделал важное открытие -- разработал метод пересчета анализов, установил интенсивность водной миграции химических элементов при выветривании силикатных пород. Однако он не осмыслил значения своего открытия, не использовал его для установления фундаментальных положений геохимии.

О научной терминологии

Дискуссии по терминологическим вопросам нередко вызывают ироническое отношение в связи с тем, что термины придумывают сами ученые и основное значение имеют не термины, а то понятие, которое они обозначают. Поэтому обсуждение терминологии нередко представляет возможность, не расширяя по существу научную информацию, формально участвовать в развитии науки путем публикации статей, участия в дискуссиях и т. д. Такие дискуссии иногда бывают совершенно бесплодными, а порой и вредными, так как отвлекают внимание и силы ученых, создают видимость исследовательской деятельности там, где она на самом деле отсутствует. И все же игнорирование терминологических проблем, путаница в терминологии недопустимы.

История термина «геохимия». Этот термин предложил в 1838 г. крупный швейцарский химик К. Ф. Шёнбейн. В 1842 г. он писал: «Уже несколько лет тому назад я пуб-

⁶ Полынов Б. Б. Руководящие идеи современного учения об образовании и развитии почв // Почвоведение. 1948. № 1. С. 9.

лично высказал свое убеждение, что мы должны иметь геохимию, прежде чем может идти речь о настоящей геологической науке, которая ясно должна обращать внимание на химическую природу масс, составляющих наш земной шар, и на их происхождение по крайней мере столько же, сколько и на относительную древность этих образований и в них погребенных остатков допотопных растений и животных»¹.

В XIX в. термин «геохимия» не получил широкого распространения, он применялся для обозначения совокупности сведений о химическом составе земной коры и протекающих в ней химических процессах. Однако в ту эпоху энергично развивались науки о веществе земной коры, широко использующие химический анализ горных пород, руд, минералов и вод. Суммирование данных многих наук еще не дает нового научного направления, для этого необходим новый подход, новая методология. В эпоху К. Ф. Шёнбейна и позднее, в течение всего XIX в., такая методология отсутствовала, и понятно, что в то время не могла возникнуть особая наука — геохимия, о необходимости которой писал ученый.

В XX в. в науки о Земле стали проникать идеи и методы атомистики. Проводником такого подхода был В. И. Вернадский. Он заложил основы истории атомов Земли и присвоил ей термин, предложенный К. Ф. Шёнбейном. Таким образом, геохимия, по В. И. Вернадскому, — это «не химия Земли», не конгломерат химических данных петрографии, литологии, минералогии и т. д., а самостоятельная наука — с особой методологией, оригинальными задачами и методами исследования. Геохимия изучает геологические процессы на «атомарном уровне», историю атомов в земной коре и планете в целом.

Однако прежний смысл, вкладываемый в термин «геохимия», не исчез полностью. Как ни парадоксально, один из основоположников современной геохимии — американский ученый Ф. У. Кларк понимал предмет данной науки по К. Ф. Шёнбейну. ныне термин «геохимия» существует в трактовке В. И. Вернадского. Менее повезло в этом отношении термину «биосфера», внедрение которого в естественные науки также связано с именем В. И. Вернадского.

Значение термина «биосфера». В 1802 г. знаменитый французский биолог-эволюционист Ж. Б. Ламарк в книге

¹ Цит. по: Вернадский В. И. Избр. соч.: В 5 т. М.: Изд-во АН СССР, 1954. Т. 1. С. 20.

«Гидрогеология» вплотную подошел к понятию о биосфере, подробно рассмотрев влияние живых организмов на процессы, протекающие на земной поверхности. Идеи ученого на много опередили свое время, хотя он и не употреблял термин «биосфера», не сформулировал четко и отвечающего ему понятия. Заслуга в этом отношении принадлежит крупнейшему австрийскому геологу Э. Зюссу, который в 1875 г. в книге «Происхождение Альп» развил учение об оболочках Земли. Он выделил литосферу, гидросферу, атмосферу и биосферу — сферу жизни. Э. Зюсса интересовали преимущественно проблемы геологического строения крупных областей и всей планеты в целом. Главный труд его жизни так и назывался — «Лица Земли». Специально биосферой ученый не занимался. Лишь в первой четверти XX столетия на новой методологической (геохимической) основе гениальные исследования В. И. Вернадского создали стройное учение о биосфере как о сфере распространения жизни, особой оболочке нашей планеты. По В. И. Вернадскому, биосфера включает в себя нижнюю часть атмосферы (тропосферу), весь Мировой океан (на самых больших глубинах есть жизнь!), поверхность суши с ее ландшафтами и, наконец, часть твердой земной коры, в которой на глубинах в сотни и тысячи метров в подземных водах существует разнообразная микробная жизнь.

Свое учение о биосфере В. И. Вернадский изложил в ряде книг, оно составило главное содержание созданной им новой науки — биогеохимии, было главным предметом исследования 28 последних лет жизни ученого. В. И. Вернадский — признанный основатель учения о биосфере, и естественно, что именно по В. И. Вернадскому большинство ученых и трактуют термин «биосфера». Поэтому совершенно неоправданна его трактовка как совокупности живых организмов. В этом смысле термин «биосфера» используют некоторые географы, геологи и биологи. Встречается и более широкое, чем у В. И. Вернадского, понимание термина «биосфера». В нее включают всю осадочную оболочку земной коры, т. е. горные породы, даже если в настоящее время они не содержат живых организмов, образование которых происходило в биосфере В. И. Вернадского. Подробный анализ этой терминологической путаницы дан в трудах Н. Б. Вассоевича и А. Н. Иванова², которые настаивали на необходимо-

² См.: Вассоевич Н. Б., Иванов А. Н. К истории учения о био-

сти использования термина «биосфера» в понимании В. И. Вернадского.

Одно понятие — один термин. Рассмотренная ситуация не так редка, и можно было бы привести еще примеры, когда один и тот же термин используется для обозначения разных понятий. Такова судьба термина «ландшафт», для которого географы приводят по крайней мере три трактовки. Совершенно очевидно, что для обозначения каждого научного понятия должен использоваться один, и только один, термин, иначе ученые перестанут понимать друг друга, сильно осложнится информатика, увеличится возможность для псевдонаучных построений.

Какой же трактовке термина должно быть отдано предпочтение? Полагаем, что главное здесь — приоритет: предпочтение должно быть оказано автору научного понятия. Буквальное смысловое значение термина, напротив, не имеет первостепенного значения, так как специалисты быстро привыкают к терминологии и связывают с ней определенные научные понятия, а отнюдь не первоначальное смысловое значение терминов. Об этом свидетельствует вся история науки и вообще история языка. В этой связи напомним, что «чернила» могут быть и черными, и синими, и красными, что «электрон» по-гречески означает ягтарь, что «выветривание» отнюдь не работа ветра и т. д.

Сложнее решить вопрос, когда в науке уже получили широкое распространение различные трактовки одного и того же термина, когда приоритет конкретного ученого выражен недостаточно четко, когда в разных странах для обозначения одного и того же понятия используются разные термины. (Например, советские геохимики используют термин «кларк», предложенный А. Е. Ферсманом в 1923 г., а во многих зарубежных странах в аналогичном смысле говорят о «распространенности».)

О научной номенклатуре. Наиболее логичным решением данного вопроса является разработка рациональной номенклатуры, в которой термины передавали бы важнейшие особенности объекта. Такие термины известны и в химии, и в геологии, и в других науках. Нередко они связаны с народными терминами: «рассол» (в гидрохимии), «солончак» (в почвоведении) и т. д. Однако в большинстве случаев рациональная номенклатура не исполь-

сфере // Методология и история геологических наук. М.: Наука, 1977. С. 57–94.

зуется и термины часто основаны на случайных признаках. Например, в химии названия одних химических элементов связаны с их свойствами (причем отнюдь не самыми главными) — «барий» (тяжелый), «йод» (фиолетовый) и т. д., других — с названием страны («галлий», «германий», «скандий», «америций», «рутений» и т. д.), третьих — с фамилией ученого («фермий», «менделеевий», «эйнштейний» и т. д.), четвертых — с распространенностью («редкие земли») и т. д. Минералы также называются по разным признакам (по фамилии ученого-открывателя, по географическому распространению, цвету, твердости и другим свойствам).

С проблемой номенклатуры автор столкнулся при геохимической классификации ландшафтов. Естественно, хотелось разработать рациональную номенклатуру. Для крупных таксонов эта проблема решается сравнительно легко — путем использования «типологических» терминов. Таковы наименования «таежных», «степных», «пустынных» и прочих типов ландшафтов, «северных», «средних», «южных» семейств, «кислых», «кальциевых», «сернокислых» классов.

Сложнее вопрос о номенклатуре родов и видов, число которых очень велико. Наиболее логичным решением данного вопроса явилась бы разработка рациональной геохимической номенклатуры, при которой в названии видов ландшафта отражались его геохимические особенности. Однако практически этот путь неприемлем, так как названия ландшафтов получились бы очень громоздкими, трудно запоминаемыми. Поэтому при наименовании родов и видов ландшафтов целесообразно идти по пути других естественных наук, широко используя географический принцип и местные названия ландшафтов. Таким образом, в качестве единиц систематики в наших трудах стали фигурировать мурманские, каракумские и прочие ландшафты. Некоторые неудобства, неизбежные в начале пользования подобными терминами, потом быстро преодолеваются и, как показал опыт других наук, тот или иной термин уже ассоциируется не с конкретной местностью (Мурманским побережьем, Каракумской пустыней), а с определенными особенностями ландшафта. В этой связи достаточно напомнить о происхождении таких терминов, как «пермский период», «мусковит», «палыгорскит», «карст», «альпийские луга», «средиземноморский тип климата» и т. д. Теперь уже не удивляют пермские отложения в Австралии или карстовый рельеф в

Сибири. Можно не сомневаться, что со временем станут привычными каракумские ландшафты в Африке и полесские — в Западной Сибири.

Итак, рациональная номенклатура желательна, но не обязательна, во многих случаях она практически недоступна.

Теоретические и прикладные науки о Земле

Две группы наук. В комплексе наук о Земле важная роль принадлежит теоретическим, или фундаментальным, наукам, изучающим преимущественно верхнюю часть нашей планеты — литосферу, гидросферу, атмосферу и биосферу, их строение, состав, историю развития. К теоретическим геологическим наукам относятся стратиграфия, тектоника, петрография, минералогия, геохимия, гидрогеология и др. Все они в совокупности обозначаются иногда одним общим термином «геология» или синонимом — «геологические науки». В понятие «геологические науки» включают и комплекс прикладных наук: наука о поисках полезных ископаемых, угольная, нефтяная, рудничная, военная и другие геологии. Все эти прикладные науки не только используют теоретические основы геологии, но и развивают собственную теорию, имеющую отношение только к поискам, строительству и т. д. Существуют также теоретические и прикладные географические науки. Теоретические — ландшафтоведение, геоморфология, гидрология, климатология, океанология и т. д., а прикладные — инженерная, мелиоративная, рекреационная и прочие географии.

Велика роль геологии в развитии народного хозяйства. Успехи геологической службы СССР во многом определяются правильным соотношением между теоретическими и прикладными науками: в СССР широким фронтом развиваются теоретические геологические науки, что создает базу для прикладных наук и последующего внедрения их рекомендаций в практику.

Аналогичное положение сложилось и в других отраслях знания. К теоретическим наукам относятся математика, физика, химия, ботаника, зоология и т. д., а примерами прикладных служат сельскохозяйственное, дорожное, автомобильное и прочее машиностроение, химическая

технология производства удобрений, красок, лекарств, растениеводство, лесоводство, луговое хозяйство, животноводство и т. д.

Возникновение теоретических и прикладных наук — историческая необходимость. Они неизбежно появляются на определенной стадии развития науки, в которой обособляются эти две противоположные и вместе с тем тесно связанные между собой группы наук, причем каждой теоретической науке соответствует несколько прикладных.

Прикладные науки всегда тесно связаны с практикой, результаты их исследований подлежат непосредственному внедрению в производство или в другую область практической деятельности. По степени связи с производством, по практической отдаче оцениваются и уровень развития прикладной науки, и ее эффективность. Связь с практикой — главный критерий эффективности исследований прикладной науки.

Связь теоретических наук с практикой сложнее, нередко она носит опосредованный характер, через прикладные науки: теоретическая наука → прикладная наука → производство. Это не исключает и прямых связей: теоретическая наука → производство.

Таким образом, связь с практикой в теоретических науках многообразна: одни результаты научных исследований находят непосредственное применение, другие связаны с практикой через прикладные науки, а третьи пока не находят практического применения и могут быть полезны лишь в перспективе.

Итак, объективное различие теоретических и прикладных наук несомненно, но в чем состоит сущность этого различия, не случайно ли оно? Анализ этого вопроса имеет не только познавательное значение, от его решения во многом зависит организация науки, эффективность научных исследований, успех их практического приложения.

Критерий Полюнова. В статье «Руководящие идеи современного учения об образовании и развитии почв» Б. В. Полюнов отметил, что почвоведение является теоретической естественнонаучной дисциплиной, т. е. дисциплиной, «способной обслуживать не одну определенную, а ряд различных отраслей и вопросов народного хозяйства и социального благоустройства... Именно в этом автор видит одно из самых существенных различий между

так называемыми теоретическими и прикладными науками»³.

Используя критерий, предложенный Б. Б. Полыновым, можно сказать, что прикладные науки обслуживают конкретную отрасль народного хозяйства (сельское хозяйство, разведка полезных ископаемых, автомобилестроение, текстильное производство и т. д.), в то время как теоретические науки решают вопросы, в которых заинтересованы многие отрасли хозяйства. Например, специалисты по поискам и разведке полезных ископаемых, по нефтяной, угольной, рудничной и прочей прикладной геологии используют в своей работе сведения о составе горных пород, накопленные петрографией, о свойствах минералов, добытые минералогией, о законах миграции химических элементов, установленные геохимией. Аналогично инженеры разного профиля нуждаются в одних и тех же физико-химических константах, характеризующих материалы, в расчетных формулах и т. д. Все эти задачи решены в теоретических науках — математике, физике, химии.

Получив соответствующие данные из справочников и руководств, инженеры могут сосредоточить свои силы на решении специальных задач. Если бы не было теоретической науки ботаники, агрономы, лесоводы и другие специалисты, решая конкретную задачу, вынуждены были бы повторять сходные исследования, касающиеся общих особенностей развития растений, закономерностей их роста, химического состава, физических свойств и т. д., т. е. дублировать друг друга.

Следовательно, при решении практических вопросов в различных областях человеческой деятельности возникают общие научные проблемы, изучение которых составляет предмет теоретических наук. Иначе говоря, в науке сложилось своеобразное «разделение труда», которое позволило выделить общие проблемы, «вынести их за скобку» и решать самостоятельно в качестве предмета особой теоретической науки. Основы разделения наук на теоретические (фундаментальные) и прикладные заложены, следовательно, в том, что один и тот же научный закон используется для решения самых различных практических задач в достаточно далеких друг от друга сферах человеческой деятельности (промышленность, сельское хозяйство, здравоохранение, военное дело и т. д.).

³ Полынов Б. Б. Избр. труды. М.: Изд-во АН СССР, 1956. С. 423.

Организация теоретических и прикладных наук имеет специфические особенности, игнорирование которых может значительно затормозить научно-технический прогресс. Особенно опасно, когда теоретическая наука попадает в положение прикладной. Это может задерживать ее развитие, и тем больше, чем сильнее будет нарушена объективная закономерность развития науки. Поэтому необходимо продолжать разрабатывать научные критерии разграничения обеих групп наук. Критерий Б. Б. Полянова не имеет всеобщего характера, возможны и отклонения от него, однако он, несомненно, отражает важную особенность в развитии науки и в ряде случаев может быть успешно использован для решения практического вопроса: относится данная наука к теоретическому знанию или к прикладному? Вероятно, существуют и другие критерии, позволяющие различать теоретические и прикладные науки. Их выявление, по нашему мнению, составляет одну из задач философии. Проблема «теоретические и прикладные науки» должна стать предметом систематических исследований. Учитывая огромные средства, которые наша страна отпускает на научные исследования, это становится абсолютной необходимостью.

Относительная самостоятельность развития теоретической науки. В этих науках в результате логики развития научного мышления на основе внутренних противоречий, присущих науке как особой форме сознания, обычно возникают разделы, непосредственно не связанные с практическими приложениями. Нередко подобные разделы составляют ядро теоретической науки, и роль их в развитии науки и практики колоссальна, хотя на первых порах они могут казаться «случайными», «несущественными» и, конечно, «далекими от практики».

Так, еще в начале XIX в. было открыто явление отклонения магнитной стрелки при прохождении электрического тока, которое современникам вряд ли могло показаться чем-либо иным, как не своеобразным научным наблюдением. Однако благодаря этому открытию в дальнейшем получила развитие электротехника с ее огромными практическими приложениями.

Открытие в XX в. атомной энергии вначале также имело лишь теоретический интерес, и даже самим физикам казалось, что эта энергия не получит практического применения. Теоретический анализ, гениальность ученого позволяют порой предвидеть практическое значение подобных открытий. Так, В. И. Вернадский одним из пер-

вых понял огромное практическое значение атомной энергии. Еще в 1910 г. на общем собрании Российской Академии наук он говорил, что здесь «открылись источники энергии, перед которыми по силе и значению бледнеют сила пара, сила электричества, сила взрывчатых химических процессов»⁴. Ученый считал, что ни одно государство не может относиться безразлично, каким путем, кем и когда будут использованы находящиеся в его владении источники лучистой энергии.

А в 1922 г. его слова звучали уже вполне современно: «Мы подходим к великому перевороту в жизни человечества, с которым не может сравниться все, им раньше пережитое. Недалеко время, когда человек получит в свои руки атомную энергию, такой источник силы, который даст ему возможность строить свою жизнь, как он захочет. Это может случиться в ближайшие годы, может случиться через столетие. Но ясно, что это должно быть. Сумеет ли человек воспользоваться этой силой, направить ее на добро, а не на самоуничтожение? Дорос ли он до умения использовать ту силу, которую неизбежно должна дать ему наука? Ученые не должны закрывать глаза на возможные последствия их научной работы, научного процесса. Они должны себя чувствовать ответственными за последствия их открытий. Они должны связать свою работу с лучшей организацией всего человечества»⁵.

Таким образом, важной особенностью и общественной функцией теоретических наук является изучение проблем дальнего поиска, т. е. таких, которые в данный момент еще не поставлены практикой, но вытекают из логики научного исследования. Эти проблемы подготовлены всем предшествующим развитием науки и могут быть полезны человечеству в дальнейшем. В нашей стране уделяется огромное внимание этой особенности теоретических наук, развитию перспективных проблем. Президент Академии наук СССР М. В. Келдыш подчеркивал в 1966 г., что наука должна обеспечивать более далекие перспективы технического прогресса, к которым он относил новые технические способы преобразования энергии и ее передачи, атомную энергетику, проблему управляемого термоядерного синтеза.

«Важно обеспечивать опережающее развитие поиско-

⁴ Вернадский В. И. Задача дня в области радия // Избр. соч. 1954. Т. 1. С. 623.

⁵ Вернадский В. И. Очерки и речи. Пг., 1922. С. 31.

вых фундаментальных исследований, добиваться быстрой материализации научных идей в народном хозяйстве и других областях человеческой деятельности», — сказано в новой редакции Программы КПСС⁶.

Указанная особенность теоретических наук определяет и подход к их планированию, которое существенно отличается от планирования прикладных наук. Излишняя регламентация, требование заранее определить результаты работы и практическую отдачу могут затруднить планирование исследований дальнейшего поиска.

Возникновение теоретических и прикладных наук. На заре человеческого общества необходимость измерения Земли, лечения людей, определения сроков полевых работ и т. д. вызвала к жизни геометрию, медицину, астрономию и другие прикладные науки. Б. В. Гнеденко, известный математик, академик АН УССР, считает, что в глубокой древности вся математика была прикладной.

В дальнейшем выяснилось, что при решении различных практических задач возникают общие проблемы. В связи с определением площадей и объемов родилось представление о геометрических фигурах, об общих приемах вычисления их размеров. В результате геометрия из прикладной стала теоретической наукой, которая уже не ограничивалась измерением Земли, а обслуживала и другие отрасли человеческой деятельности.

Еще первобытный человек использовал всевозможные «камни» для постройки жилища, для наковечников копий и т. д. Позднее люди научились искать руды металлов, соль и другие полезные ископаемые. При решении различных практических задач потребовалось знание общих свойств горных пород и минералов, условий их залегания, закономерностей размещения. Так зародились геологические теоретические науки.

Изучение растений также началось с решения практических вопросов — надо было отличать съедобные растения от несъедобных, лекарственные от ядовитых. Появились зачатки прикладной науки о растениях. Но постепенно выяснилось, что изучение любых растений включает в себя общие проблемы, которые стали со временем предметом теоретической науки — ботаники.

Таким образом, на ранних этапах наука в основном эволюционировала от прикладного характера к теорети-

⁶ Материалы XXVII съезда Коммунистической партии Советского Союза. М.: Политиздат, 1986. С. 168.

ческому. Но по мере роста производительных сил все большую роль играло и развитие теоретической науки непосредственно из нужд практики (минуя стадию прикладной науки). Так возникли в СССР мерзотоведение и гидрогеология.

На большей части территории Сибири и Дальнего Востока распространена вечная (многолетняя) мерзлота. С вечной мерзлотой имеет дело агроном и инженер-строитель, геолог-разведчик и горный инженер, добывающий полезные ископаемые, строитель железных и шоссейных дорог, врач и многие другие специалисты. Огромное практическое значение многолетней мерзлоты уже свыше 100 лет назад отмечали русские ученые. Однако только в годы Советской власти началось планомерное изучение вечной мерзлоты как особого явления природы. Энтузиастами в этой области стали известный исследователь Сибири академик В. А. Обручев и геолог М. И. Сумгин. Сравнительно быстро оформилась новая теоретическая наука — мерзотоведение (геокриология). К исследованиям были привлечены геологи, биологи, географы, почвоведы и другие специалисты. В Московском государственном университете им. М. В. Ломоносова началась подготовка специалистов-мерзловедов. Теоретические исследования были тесно связаны с практикой. Постепенно возникло и прикладное мерзотоведение, например инженерное. Так, правильные организационные меры помогли развитию новой теоретической науки. Наша страна стала лидером в изучении многолетней мерзлоты.

Чем дальше развивается человеческое общество, тем большее значение приобретает проблема воды. Во многих странах испытывают ее недостаток. Это сдерживает развитие сельского хозяйства, освоение месторождений полезных ископаемых. В решении проблемы водоснабжения важную роль играют подземные воды. Но подземные воды — это также ценное минеральное сырье (йод, бром, поваренная соль и т. д.), лечебное средство (минеральные воды), фактор формирования и разрушения рудных месторождений, причина многих аварий на шахтах и рудниках (затопление), засоления почв в орошаемых районах. Наконец, выявилось, что во многих районах СССР на глубине залегают целые бассейны горячих и перегретых вод, которые могут быть использованы для строительства тепловых электростанций, для теплофикации населенных пунктов, парников и т. д. Естественно, что с подземными водами имеют дело строители разного профи-

ля, горные инженеры, инженеры-химики, геологи, врачи, агрономы, энергетики и многие другие специалисты. Следовательно, в соответствии с критерием Б. Б. Полюпова гидрогеология относится к теоретическим наукам. Именно так понимал задачи этой науки один из ее основателей и организаторов в СССР — академик Ф. П. Саваренский.

В СССР гидрогеология развивается как теоретическая наука, что обеспечивает широкий фронт исследований, подготовку специалистов, многообразное ее практическое приложение. Крупные советские ученые-гидрогеологи через ООН (ЮНЕСКО) оказывают помощь развивающимся странам в изучении ресурсов подземных вод, передают им богатый опыт, накопленный в Советском Союзе. Интересно, что во многих зарубежных странах гидрогеология долгое время рассматривалась как прикладная наука («поиски на воду»), теоретические исследования развивались слабо, подготовка специалистов широкого профиля не производилась.

По мере развития естествознания все большее значение приобретает и третий путь возникновения теоретических наук — их зарождение на базе других теоретических наук.

Одной из важных причин служит появление оригинального метода исследования, открывающего новую область фактов. Так, изобретение микроскопа позволило обнаружить мир микробов, заложить основы микробиологии, разработать целые разделы в петрографии и минералогии. Другая причина — развитие «гибридных» наук на стыке разных отраслей естествознания. При этом идеи и методы одной науки глубоко проникают в другую. Подобным путем в начале XX столетия на стыке геологии и химии развилась геохимия. Этот путь рождения наук особенно характерен для XX в., когда резко нарушилась былая обособленность отраслей знания. Обычно «гибридное происхождение» находит отражение в самом названии науки (геофизика, геохимия, биогеохимия, биофизика, биохимия, биофизическая химия, гидрогеохимия, бионика, геохимия ландшафта и др.). Нетрудно убедиться в общей тенденции этого процесса — проникновении методов математики, физики и химии в биологические, геологические, географические и другие науки.

Наконец, теоретические науки возникают в результате анализа уже известных фактов с новых позиций. Именно на этом пути произошел переворот во взглядах

на природу. В хорошо известных фактах ученые смогли увидеть проявление таких глубоких и оригинальных закономерностей, которые оставались скрытыми или даже представлялись абсурдными большинству современников. Ярким подтверждением служит создание теории относительности А. Эйнштейном, почвоведения В. В. Докучаевым и биогеохимии В. И. Вернадским.

Достижения физики, химии, биологии, геологии и других теоретических наук создали условия для возникновения новых прикладных наук. Изучение законов миграции химических элементов в земной коре (теоретическая геохимия) явилось фундаментом для прикладной геохимии, предметом которой служат геохимические поиски полезных ископаемых, геохимия процессов загрязнения окружающей среды. Формируются новые разделы прикладной геохимии, имеющие тенденцию оформиться в самостоятельные науки (геохимия городов и т. д.). Успехи теоретической геофизики привели к разработке радиометрических, магнитометрических, сейсмометрических, гравиметрических, электрометрических и прочих геофизических методов поисков и разведки полезных ископаемых. Так родилась прикладная наука — разведочная геофизика.

В стадии становления находится прикладная наука о микробиологических методах добычи полезных ископаемых — результат развития теоретической дисциплины геологической микробиологии.

Еще резче этот процесс выражен в физике и химии, где на глазах одного поколения зародились десятки новых прикладных наук, вызванных к жизни успехами ядерной физики, радиоэлектроники, кибернетики, физической химии и других теоретических наук.

Все это свидетельствует о тесной связи между теоретическими и прикладными науками, о том, что границы между обеими группами наук не всегда достаточно определены и в целом здесь имеет место типичное диалектическое взаимодействие. Особо следует подчеркнуть, что для обеих групп наук характерно существование самостоятельной теоретической основы, так как без теории не может существовать ни одна наука. Однако естественно, что в прикладных науках теории имеют более специализированный характер. Например, геохимия изучает общие законы миграции химических элементов в земной коре, а прикладная геохимия — законы образования ореолов рассеяния рудных месторождений. Аналогично тео-

ретическая математическая наука — теория вероятностей — находит широкое применение в экономике, биологии, геологии и т. д. В связи с этим развились прикладные науки: экономическая статистика, биологическая статистика и т. д. Все они имеют самостоятельную теорию, показывающую, как преломляются общие законы теории вероятностей при изучении социальных, биологических и других процессов.

Вещество, энергия, информация в геохимии

В XIX в. окончательно сформировались представления об энергии. Законы сохранения вещества и превращения энергии стали фундаментальными обобщениями естествознания. Вещественно-энергетическая картина мира осталась незыблемой в течение 100 лет. Но в середине XX столетия выявилась ее недостаточность, возник новый аспект исследования — информационный. Понятие «информация» приобрело новое содержание и значение. Рассмотрим эту особенность методологии естественных наук на примере геохимии.

Миграция атомов. Предметом геохимии служит история атомов нашей планеты, а в последние годы — и планет Солнечной системы, относящихся к земной группе. При этом главное внимание геохимиков привлекают законы миграции атомов в различных системах земной коры. Естественно, что при таких задачах большое методологическое значение приобрела проблема видов миграции химических элементов, которой уделяли внимание и В. И. Вернадский и А. Е. Ферсман. Особенно детально разработал данный вопрос А. Е. Ферсман, посвятивший анализу миграции второй том своей четырехтомной «Геохимии». Ученый дал детальный анализ факторов миграции, охарактеризовал различные геохимические процессы — магматические, гидротермальные, гипергенные. А. Е. Ферсмана в основном привлекали физико-химические особенности этих процессов. В качестве самостоятельных типов А. Е. Ферсман выделил механическую миграцию (механогенез), галогенез (отложение солей), диагенез, гидрогенез, техногенез, биогенез и др. Однако общие принципы классификации типов миграции А. Е. Ферсман не рассматривал. Огромной заслугой

В. И. Вернадского было выделение биогенной миграции (биогенеза по А. Е. Ферсману) — геохимической работы живых организмов. На этой основе им была создана био-геохимия, разработано учение о биосфере. Таким образом, в первой трети XX столетия в геохимии сложилось представление о многообразии видов миграции химических элементов и, естественно, первоочередной стала задача их систематизации. К этому вопросу автор подошел на основе представления о формах движения материи, разработанных Ф. Энгельсом, при этом полагая, что отдельным формам движения должны соответствовать и особые виды миграции атомов. Ф. Энгельс, как известно, различал пять форм движения материи: механическую, физическую, химическую, биологическую и социальную. В последние десятилетия стали говорить также о ядерно-физической, кибернетической, геологической, географической и других формах движения материи. Однако вопрос оказался дискуссионным; в частности, существование геологической и географической форм движения вызвало сомнения.

Науками о Земле изучаются все формы движения материи, установленные Ф. Энгельсом. Изучая эрозионную деятельность рек, работу ветра, ледников, складчатость, мы в основном сталкиваемся с механическим движением. При круговороте воды, расплавлении и застывании горных пород на первое место выступают физические явления. Химическая форма движения проявляется в накоплении солей в озерах, формировании руд металлов из гидротермальных растворов и т. д. Наконец, образование угольных залежей, органогенных известняков, почв и многие другие явления — результат процессов, в которых ведущую роль играют закономерности, связанные с деятельностью организмов, биологической формой движения.

Каждая высшая форма движения содержит в себе еще и низшие, которые имеют подчиненное значение и не определяют сущности данного процесса. Так, при накоплении углей происходят и механические перемещения, и физические явления (выделение тепла), и сложные химические превращения (органические соединения растений → гумусовые вещества угля). Однако сущность углеобразования заключается в биологической форме движения материи. Никакие законы механики, физики и химии не смогут объяснить, почему на Земле угольные месторождения появились только в конце девонского периода палеозойской эры, т. е. около 350 млн лет назад,

и почему, например, их нет в докембрийских отложениях. Механическая, физическая и химическая среда в то время была той же (температура, давление, вода и т. д.), но эволюция организмов (биологическая закономерность) еще не привела к созданию форм, которые могли бы послужить источником для образования угля.

Во второй половине XIX в., когда Ф. Энгельс разрабатывал представление о формах движения материи, физика достаточно четко отделялась от химии (хотя уже в то время зародилась физическая химия!). В XX в. было изучено строение атома, выяснилась физическая природа химических процессов, физическая химия выдвинулась в качестве теоретической основы химии, развились химическая физика и квантовая химия. Все это затрудняет проведение резкой границы между физическими и химическими процессами и приводит к необходимости выделять единый физико-химический вид миграции. Поэтому виды миграции химических элементов можно классифицировать так: механическая, физико-химическая, биогенная, техногенная.

Самая сложная, техногенная миграция связана с социальной формой движения (экспорт и импорт, строительство и т. д.)¹. Она определяется закономерностями, изучаемыми общественными науками, но может изучаться и методами естественных наук, в том числе и геохимии: как и всякой сложной форме движения, техногенной миграции присущи и более простые процессы — биогенные, физико-химические, механические.

Представление о видах миграции может быть использовано при геохимической классификации различных систем. Так, в зависимости от вида миграции целесообразно выделять три основных ряда геохимических ландшафтов:

абиогенные, для которых характерны только механическая и физико-химическая миграции;

биогенные с ведущим значением биогенной миграции и подчиненным — физико-химической и механической (таежные, степные, тундровые и прочие ландшафты);

культурные (техногенные), своеобразие которых определяется техногенной миграцией и в которых протекают более простые процессы.

Энергетическая характеристика миграции. Вплоть до начала 30-х годов XX в. основное внимание геохимиков

¹ См.: Белин А. П. Социальная форма движения. М.: Наука, 1982.

привлекали процессы изменения вещества. Одновременно происходящее изменение энергии отмечалось лишь в общей форме и не подвергалось детальному анализу. Наиболее глубоко энергетика земной коры, преимущественно в связи с радиоактивностью и деятельностью организмов, в эти годы была охарактеризована В. И. Вернадским. Общие особенности энергетики процессов выветривания сформулировал Б. Б. Полюнов, интересные построения в области энергетики земной коры связаны с именами В. М. Гольдшмидта, Ван Хайза и других ученых.

Намечая в середине 30-х годов этапы изучения геохимических процессов, А. Е. Ферсман выделил особый энергетический этап, начавшийся в 1930 г. Во введении к третьему тому «Геохимии» ученый писал, что энергетический подход к анализу динамически развивающихся процессов природы является конечной целью его исканий. Ученый проделал грандиозную работу в этом направлении, заложил основы геотермодинамической теории, многие положения которой имеют основополагающий характер. Таким образом, энергетический подход к миграции элементов в земной коре был характерен уже для начального этапа развития геохимии.

С 50-х годов широкое распространение получил термодинамический анализ геохимических процессов. Во многом этому способствовали труды Д. С. Коржипского и его школы (В. А. Жариков, А. А. Маракушев и др.). Оригинальные и глубокие идеи об источнике энергии геохимических процессов были высказаны Н. В. Беловым и В. И. Лебедевым. Многими учеными разрабатывается энергетика осадкообразования (И. П. Тимофеев, А. В. Щербаков и др.).

При анализе энергетики земной коры особенно важно изучать процессы, сопровождающиеся выделением свободной энергии, так как за счет нее совершается химическая работа. Как показал В. И. Вернадский, главным источником свободной химической энергии в биосфере служат биохимические (главным образом микробиологические) процессы разложения органических веществ. В ходе этих процессов выделяются такие химически активные вещества, как углекислый газ, сероводород, аммиак, разнообразные органические соединения и др. Чем энергичнее разложение органических веществ, тем интенсивнее геохимические процессы. Наиболее энергично это разложение в илах теплых морей и почвах гумидных тропиков, но органические вещества разлагаются и в холодных глу-

боковых илах, и в горизонтах подземных вод, и во многих других обстановках **биосферы**.

Богатство биосферы свободной энергией определяет ее важную геохимическую особенность — **неравновесность**. В соответствии со вторым законом термодинамики процессы направлены в сторону равновесия, которое, однако, не достигается, так как в результате разложения органических веществ и других процессов система постоянно обогащается свободной энергией. Особенно неравновесны почвы и илы мелководных водоемов (рек, озер, шельфа), менее неравновесны глубоководные илы, глубокие водоносные горизонты, но поскольку там есть жизнь, то и эти системы принципиально неравновесны.

В глубоких частях земной коры — в гидротермальных и магматических системах, а также в верхней мантии — равновесие распространено шире, но и там протекают процессы, сопровождающиеся выделением свободной энергии. Поэтому можно сказать, что для земной коры в целом характерно сосуществование экзоэнергетических и эндоэнергетических процессов, выделение свободной энергии, неравновесность систем, которая уменьшается с глубиной.

Выделение свободной энергии, неравновесность определяют существование в системах земной коры (особенно в биосфере) химически активных веществ с противоположными свойствами. И в этом проявляется общий закон развития — закон единства и борьбы противоположностей.

Информационные процессы. Понятие «информация» приобрело большое значение в середине XX в. Этот термин и даже само понятие, конечно, не новые, но то значение, которое информация приобрела в системе наук, оказалось и новым и неожиданным. В науку вошли такие понятия, как «информационный процесс», «информационная система». Теперь ставится вопрос о том, что ни вещества, ни энергии, не связанных с информационными процессами, не бывает. В дискуссию о природе информации включились философы. По мнению академика А. И. Берга, понятие «информация» имеет такое же фундаментальное значение, как «вещество», «энергия». Не энергия, а информация выйдет в XX в. на первое место в мире научных и практически действенных понятий, отмечают ученые. Знаменательно, что с самого начала проблема информации разрабатывается на количественной основе с использованием ряда разделов математики,

кибернетики и с применением вычислительной техники.

Этот переворот в естествознании стал одним из характерных элементов научно-технической революции, и понятно, что в той или иной степени он оказывает влияние на развитие всех естественных и общественных наук, в том числе и наук о Земле. Выяснилось, что при изучении систем земной коры необходим и информационный подход. Нельзя сказать, чтобы ранее полностью игнорировалась эта сторона вопроса. Когда, например, путешественники прошлого говорили об однообразии пустыни и богатстве (разнообразии) природы тропиков, по существу, имелось в виду различное количество информации в этих ландшафтах, так как в самой общей форме понятие «информация» близко к понятию «мера разнообразия». Ныне этот «информационный подход» можно применять сознательно, используя хорошо разработанный аппарат теории информации и кибернетики.

Термин «информация» ранее использовался в смысле «передача сведений», «совокупность знаний» и т. д. Однако «передача сведений» теперь трактуется лишь как частный случай информации, понятие о которой в широком смысле интерпретируется на основе категорий различия, степени разнообразия системы. В этом смысле говорят о качестве информации, выделяя наиболее сложную — социальную, менее сложную — биологическую и наиболее простую — информацию в неживой природе. Информационные процессы включают в себя сбор, хранение, передачу, переработку и выдачу информации. Например, хранение социальной информации происходит в памяти людей, в книгах, на фотографиях, грампластинках и т. д., а ее передача осуществляется с помощью устной речи, печати, радио, телевидения и т. д.

Любой живой организм хранит в себе последственную информацию, носителем которой являются гены в хромосомах клеточных ядер. Под влиянием внешних условий, например ионизирующих излучений, эта информация может меняться, а с помощью размножения — перерабатываться и передаваться по наследству. Наконец, она может захорониться в геологических напластованиях в форме ископаемой флоры и фауны. Эта информационная характеристика отдельного организма может быть перенесена на живое вещество в целом — живые организмы существуют в информационном поле.

Менее очевиден информационный характер физико-химических и механических процессов («информация в

неживой природе»). Некоторые авторы отмечают, что в объектах неживой природы отсутствует переработка информации, хотя получение, хранение и передача ее имеют место. Кроме того, в системах неживой природы информации много меньше, чем в живых организмах и тем более в человеческом обществе.

Нетрудно убедиться, что в основе выделения видов информации лежит понятие о формах движения материи, что еще больше подчеркивает фундаментальное значение понятия об информации, об информационных процессах.

Воздействие циркулирующей информации на поведение системы называется управлением (А. А. Ляпунов). Огромна роль управления в биологических и особенно в социальных системах, где оно выполняет функцию «спускового крючка», «толчка», с помощью которого осуществляются грандиозные процессы изменения вещества и энергии (строительство, освоение новых территорий и т. д.). «Информационность системы выражается в том, что незначительное воздействие приводит к освобождению большого количества энергии», — отмечают Э. Н. Елисеев и Л. Д. Кисловский². В статье «Несколько слов о ноосфере» В. И. Вернадский писал, что он не понимает, как мысль, не будучи материей, может вызывать огромные изменения. Здесь великому натуралисту явно не хватало современных понятий об информации, информационных процессах, управлении. Он как бы предчувствовал развитие этого направления науки.

Особенно большое значение приобрели информационные процессы в человеческом обществе, или, используя понятийный аппарат геохимии, в ноосфере, техногенных системах, техногенной миграции. Чем сложнее форма движения материи (вид миграции), тем большую роль играют информационные процессы. В техногенных системах происходит и изменение вещества и изменение энергии, но сущность данных систем часто определяется именно информационными процессами. Приведем один пример — в аудитории читается лекция, доклад, происходит обсуждение какого-то вопроса. Здесь, несомненно, имеет место механическое движение (лектор ходит, слушатели иншут и т. д.), протекают физико-химические и биологические процессы (люди дышат, т. е. окисляют органические соединения, при этом выделяется тепло и т. д.).

² Методология исследования развития сложных систем. Л.: Наука, 1979. С. 227.

Однако понять происходящее невозможно с позиций анализа изменения вещества и энергии. Сущность заключается в информационном процессе — только познав его, мы поймем, зачем собралась эта масса людей.

Три основных вопроса геохимического исследования. Итак, в отличие от недавнего прошлого теперь, изучая любой процесс, следует ставить три основных вопроса:

1. Как изменяется в нем вещество?
2. Какова энергетическая характеристика процесса, в какой форме выделяется или поглощается энергия (в тепловой, химической, механической, световой, электрической и др.) и в каких количествах?
3. Как при этом изменяется информация?

Системный подход в науках о Земле

Изучение объекта исследования как сложного целого (системы) было свойственно еще античной науке, следовательно, системный подход насчитывает более 2000 лет. Он широко использовался в общественных и естественных науках, в том числе в науках о Земле. Классическим примером служат труды В. В. Докучаева, который в конце XIX столетия открыл две природные системы: почву и ландшафт, заложив тем самым основы почвоведения и ландшафтоведения.

Другой характерный пример — творчество И. В. Гёте, который, по словам В. И. Вернадского, мыслил синтетически. «Он считал, что нельзя разделить природные явления на независимые друг от друга части без вреда для получаемого вывода. Надо брать природу как целое»¹. Далее В. И. Вернадский поясняет особенность системного подхода: «Синтетическое изучение объектов природы — ее естественных тел и ее самой как „целого“ — неизбежно вскрывает черты строения, упускаемые при аналитическом подходе к ним, и дает новое. Этот синтетический подход (т. е. системный. — А. П.) характерен для нашего времени в научных и философских исканиях. Он ярко проявляется в том, что в наше время грани между наука-

¹ Вернадский В. И. Мысли и замечания о Гёте как натуралисте // Избранные труды по истории науки. М.: Наука, 1981. С. 282.

ми стираются; мы научно работаем по проблемам, не считаясь с научными рамками»².

В середине XX столетия произошел качественный скачок в развитии системного подхода — оформилась и стала быстро развиваться новая отрасль знания — общая теория систем. Последняя тесно связана с другими науками, вызванными к жизни научно-технической революцией, в первую очередь с кибернетикой и теорией информации. «Создание общей теории систем и кибернетики, т. е. создание наук, обобщающих мысли и идеи о сложных системах, можно расценивать как реакцию на растущую разобщенность конкретных естественных и технических наук», — пишут Э. Н. Елисеев и Л. Д. Кисловский³. Системному анализу посвящена обширная литература (многие тысячи названий!), выходят специальные журналы (в том числе периодический сборник в нашей стране «Системные исследования»). В Вене функционирует Международный институт прикладного системного анализа, в работе которого участвуют и советские ученые, в Академии наук СССР существует Комитет по системному анализу (КСА). Большое внимание уделяется системному анализу и в науках о Земле. Так, Институт геологии и геохронологии докембрия АН СССР организовал исследования по методологии развития сложных систем. Был создан «невидимый коллектив», в который, помимо сотрудников названного института, вошли представители других институтов АН СССР, АН УССР, АН КиргССР, Московского и Львовского университетов, института «Энергосетьпроект».

Одна из главных задач системного подхода — изучение структуры системы, т. е. совокупности ее составных частей и способов связи между ними. При этом в каждой системе важно выделять главные части и связи, определяющие своеобразие данной системы, учитывать, что система — это не просто единство, а единство противоположностей. Отсюда связь системного подхода с диалектическим материализмом, его диалектичность. Иначе говоря, изучая систему, необходимо установить главные, противоречивые ее части, показать, как взаимодействие этих частей определяет функционирование систем, их развитие, сущность. Забегая вперед, отметим, что из трех систем,

² Там же. С. 288—289.

³ Методология исследования развития сложных систем. Л.: Наука, 1979. С. 224.

которые рассмотрены ниже, для биосферы этот вопрос оказалось решить легче, чем для земной коры и ноосферы.

В системном анализе при изучении связей главное внимание уделяется не их физической природе, обязательной действию гравитационных, электростатических, ядерных и прочих сил, а тому пониманию связи, которое подробно обосновано кибернетикой. Это в первую очередь понятия о прямой и особенно об обратной связи.

Прямую связь можно изобразить символами $A \rightarrow B$, т. е. одно явление A (причина) влияет на другое B (следствие). Такая связь широко распространена в природе, ее примером служат влияние солнечного излучения на процессы земной поверхности (обратным влиянием можно пренебречь), влияние радиоактивного распада на концентрацию в земной коре свинца, аргона и других продуктов распада (последние не влияют на радиоактивность земной коры).

Символом обратной связи служит $A \rightleftharpoons B$, т. е. не только явление (событие, причина) A влияет на B , но и следствие B , в свою очередь, оказывает влияние на A . На языке кибернетики это формулируется как воздействие управляемого процесса на управляющий орган или как влияние выходного сигнала системы на ее рабочие параметры. Если результат процесса усиливает его и система удаляется от исходного состояния, то такая обратная связь называется положительной. Например, появление ледников увеличивает лучеиспускание с их поверхности и способствует дальнейшему охлаждению, увеличению оледенения. Селевые потоки в горах, снежные лавины по мере движения вовлекают все новые массы камней, грязи, снега, усиливая тем самым свое действие. Здесь часто действует экспоненциальный «закон лавины».

Если результат процесса ослабляет его и стабилизирует систему, восстанавливает ее исходное состояние, то обратная связь отрицательна. Такая связь способствует устойчивости системы, ее саморегулированию. В результате отклонение от стационарного состояния вызывает в системе такие процессы, которые возвращают ее в исходное состояние.

Во многих системах можно выделить структурный центр, т. е. главную ее часть, определяющую своеобразие системы в целом. В Солнечной системе таким центром является Солнце, в организме высокоорганизованных животных — мозг, в природном ландшафте — раститель-

ный покров и т. д. С установления и изучения центра начинается исследование системы. Автор назвал это положение принципом централизации.

Таким образом, при характеристике земной коры, биосферы и ноосферы необходимо выявить характерные для них прямые и обратные связи (положительные и отрицательные), установить центры этих систем.

Земная кора. Еще в XVII столетии великий французский математик и философ Р. Декарт в «Началах философии» (1644 г.) развил идею о том, что наша планета в прошлом была маленькой звездой, остывание которой привело к образованию нескольких оболочек. В центре сохранилось огненное ядро, а самая поверхностная оболочка состоит из камней и рыхлых пород, частично залитых морями и океанами. В начале XVIII столетия немецкий философ и математик Г. Лейбниц и итальянский аббат А. Муро также полагали, что Земля в прошлом была расплавленным шаром, остывание которого привело к образованию твердой каменной коры. Под ней продолжает бушевать огненная стихия, дающая о себе знать в вулканических извержениях. В XVIII столетии уже многие ученые разделяли представления о твердой земной коре и расплавленном ядре планеты. Ценный вклад в эту концепцию внесли М. В. Ломоносов и шотландский геолог Д. Геттон. Заключенное выражение данные идеи нашли в космогонической гипотезе Капта—Лапласа, которая в том или ином варианте дошла до начала XX в. Так, профессор Петербургского университета Д. И. Соколов писал в 1889 г.: «Земля наша представляет шарообразное тело, состоящее из твердой скорлупы и огненно-жидкого ядра»⁴.

Представления о твердой земной коре, под которой располагается горячая расплавленная силикатная масса — магма, хорошо отвечали имеющимся фактам. Они объясняли повышение температуры с углублением в толщу земной коры, образование гранитов и других изверженных пород, несомненно являющихся продуктами застывания силикатного расплава. О том же, казалось бы, говорили изливания жидкой лавы при вулканических извержениях, рудные месторождения, образовавшиеся в глубинах из горячих вод, выходы таких вод на земную поверхность в вулканических районах.

В первой половине XX столетия космогоническая ги-

⁴ История геологии. М.: Наука, 1973. С. 57.

гипотеза Канта—Лапласа утратила свое значение, но и пришедшие ей на смену представления американского астронома Д. Джинса (1916 г.) и других ученых приводили к выводу о первоначальном огненно-жидком состоянии планеты и формировании при ее остывании твердой горы. Однако геофизические исследования начала XX столетия установили, что наша планета в основном твердое тело, для которого характерны лишь отдельные магматические очаги. И все же термин «земная кора» закрепился в науке, хотя в него стали вкладывать новое содержание. Современное понятие о земной коре связано с работами югославского ученого А. Мохоровичича, который, изучая в 1909 г. распространение сейсмических волн Хорватского землетрясения, установил, что на глубине нескольких десятков километров скорость волн скачкообразно увеличивается. Дальнейшие исследования показали, что данный скачок на материках происходит на глубине от 30 до 70 км, на дне океанов — 5—15 км. По имени ученого эту границу стали именовать границей Мохоровичича (сокращенно — Мохо или просто М), считая ее нижней границей земной коры. В районе Москвы последняя имеет мощность около 45 км, на Памире — 70, восточнее Курильской гряды на дне Тихого океана — 10, в некоторых участках дна Северного Ледовитого океана — 5 км и т. д.

По сейсмическим же данным, в пределах земной коры было выделено три слоя: верхний вулканогенно-осадочный (развитый не повсеместно), средний — «гранитный» (или «гранитно-метаморфический»), распространенный на материках, но отсутствующий на дне океанов, и нижний — «базальтовый». Мощность этих слоев, как и земной коры, в целом варьирует. Термины «гранитный» и «базальтовый» не следует понимать буквально, т. е. что слои состоят из гранитов и базальтов. Просто скорость прохождения сейсмических волн в этих слоях отвечает примерно составу гранитов и базальтов. Геологические наблюдения, данные бурения дают информацию о вулканогенно-осадочном и верхней части «гранитного» слоя. Широкое распространение базальтовых лав, поступающих с больших глубин, позволяет предполагать реальность и «базальтового» слоя, хотя его состав во многом и гипотетичен.

Ниже земной коры сейсмометрия выделяет несколько слоев: верхнюю, среднюю и нижнюю мантию, земное ядро. В основном наша планета — твердое тело, но в верх-

ней мантии с глубин 50—200 км распространен вязкий (частично расплавленный) слой — так называемая астеносфера. Ранее полагали, что астеносфера распространена повсеместно, но детальные исследования показали, что под древними ядрами материков — щитами — она местами отсутствует. В жидком состоянии, вероятно, находится и внешняя часть земного ядра на глубинах 2900—5120 км.

Земную кору и твердую верхнюю мантию, т. е. твердый надастеносферный слой, многие авторы предлагают именовать литосферой. Как мы убедились, один и тот же термин нередко употребляется для обозначения разных понятий. Так получилось и в данном случае — многие геологи литосферой именуют только твердую земную кору, исключая из нее верхнюю мантию (выше астеносферы). Имеется и обратное предложение: расширить границы земной коры за счет надастеносферной мантии — перидотитового слоя. В дальнейшем к земной коре мы будем относить верхнюю часть планеты до границы Мохора, включая в кору не только ее преобладающую твердую часть, но также Мировой океан и атмосферу. Под литосферой будем понимать всю верхнюю твердую оболочку планеты (до астеносферы). Характерная особенность литосферы состоит в том, что она содержит также подземные воды и газы.

Анализ земной коры с системных позиций представляет большой интерес. Особенно важно установить те главные противоположные процессы, взаимодействие которых обеспечивает целостность земной коры как системы, увидеть в этих процессах механизм обратной связи, саморегулирования и тем самым подойти к кибернетике земной коры.

Масштабы геологических процессов поражают воображение. Напомним о горообразовании, поднимающем на высоту многих километров осадки морского дна, о работе рек, за несколько миллионов лет превращающих крупные горные страны в равнины, о вулканизме, землетрясениях, пыльных бурях, работе организмов, с которой связано накопление мощных толщ известняков, углей и других горных пород. Таким образом, на протяжении всей геологической истории совершалась грандиозная работа, естественно требовавшая затрат энергии. Следовательно, возникает и проблема энергетики земной коры.

Солнечной энергии наша планета обязана важными процессами. Существуют и внутренние источники энергии, расположенные в самой земной коре и мантии.

В первую очередь это радиоактивный распад урана, тория, калия и других элементов. Роль этого источника в ходе геологического времени постепенно убывала, так как за миллиарды лет существования Земли часть содержащихся в ней радиоактивных элементов распалась. Все же и в современную эпоху тепло, выделяемое ими, значительно. Существуют и другие внутренние источники энергии.

Но если в земную кору непрерывно поступает энергия, то понятно, что эта система в целом неравновесная, хотя в отдельных ее частях и возможно достижение равновесия. Выражением неравновесности и являются работа рек, горообразование, трансгрессии и регрессии морей, землетрясения, существование жизни.

Не только энергия, но и вещество поступает в земную кору извне. Особенно большое значение имеет миграция газов, паров, жидкой магмы из мантии. Меньшую роль играет поступление вещества из космоса, преимущественно в форме метеоритов. С другой стороны, земная кора отдает вещество и энергию в космос и мантию. Поэтому земная кора — это не только неравновесная, но и открытая система.

Каковы же противоположные процессы, взаимодействие которых определяет функционирование этой системы, какие из них главные? К противоположным процессам относятся сжатие и растяжение. Сжатие, как отметил член-корреспондент АН СССР И. И. Кропоткин, охватывает около 95% поверхности земной коры, с ним связана складчатость. Горизонтальное сжатие горных пород столь велико, указывает ученый, что при проходке туннелей и шахт от стенок выработок отскакивают куски горных пород, перегибаются железные балки. Растяжение особенно характерно для рифтов — участков, где происходит раздвижение блоков земной коры, а местами и излияние на поверхность глубинной магмы (из мантии). Рифты обнаружены в осевых частях срединно-океанических хребтов, но известны они и на материках — в Восточной Африке, Западной Европе, на Байкале и в других местах.

Во все геологические эпохи протекали процессы поднятия отдельных участков земной коры, приводящие к образованию возвышенных равнин и горных стран, и опускания, когда формировались впадины, частично затоплявшиеся морями.

За последние десятилетия установлено, что литосфера состоит из отдельных плит, передвигающихся по поверх-

ности астеносферы. Установлено, что свыше 200 млн лет назад Африка, Южная Америка, Австралия, полуостров Индостан, Антарктида составляли единое целое, образуя гигантский материк Гондвану. В Северном полушарии также существовал крупный материк Лавразия, расколовшийся на плиты.

Согласно тектонике плит, в рифтах срединно-океанических хребтов по глубинным разломам из мантии поступает магма, образующая при застывании новую океаническую кору. Это зона спрединга — рождения литосферной плиты. Вновь возникшая плита со скоростью 1–10 мм/год (100–1000 км за 100 млн лет) перемещается по поверхности астеносферы к зонам сжатия, или субдукции, где она засасывается по глубинному разлому в мантию. В зоне субдукции происходит складчатость, расположены очаги землетрясений. Таким образом, в зонах спрединга и субдукции развиваются противоположные процессы.

К противоположным процессам относятся осадкообразование и эрозия поверхности материков, многие другие геологические процессы. Следовательно, противоположных процессов много, они грандиозны по своим конечным результатам, но какие из них являются тем главным «механизмом», который обеспечивает развитие земной коры? Теперь напомним, что с позиций кибернетики развитие основано на механизме положительной обратной связи, когда результат процесса усиливает его и система удаляется от первоначального состояния. Естественно предположить, что положительная обратная связь характерна и для земной коры, что, установив ее, мы ближе подойдем к пониманию закономерностей развития коры. В этом состоит важность применения положений кибернетики к исторической геологии.

Вероятно проявление в земной коре и отрицательной обратной связи, которая должна находить выражение в явлениях устойчивости, стабилизации, саморегулирования. Например, проявление отрицательной обратной связи видно в усилении эрозии с возрастанием высоты гор (результат процесса — горообразование — приводит к его ослаблению — размыву гор). Проявление отрицательной обратной связи следует искать и в периодичности развития, которая была установлена для земной коры наряду с ее прогрессивной эволюцией. Так, в ходе геологической истории неоднократно повторялись эпохи складчатости и горообразования (байкальская, каледонская, герцинская, киммерийская и альпийская складчатости).

Периодически повторялись большие трансгрессии морей (талассофильные эпохи) и регрессии (геократические эпохи). Во второй половине мелового периода (около 100 млн лет назад) значительная часть нашей страны западнее Енисея была затоплена морями, которые отсутствовали в самом конце мелового периода (около 70 млн лет назад). В начале следующего палеогенового периода снова произошла грандиозная трансгрессия. Периодически повторялись эпохи вулканизма, сухих и влажных климатов, крупных оледенений (они, например, установлены в конце докембрия, палеозоя и кайнозоя). Поскольку повторяемость развивается на фоне необратимого развития земной коры, то, как это неоднократно отмечалось, правильнее говорить не о цикличности, а о циклоидальности развития земной коры и отдельных ее частей (циклоида — траектория движения точки, находящейся на ободе движущегося колеса). Нетрудно убедиться, что в этом находит конкретное выражение общий закон диалектического развития — по спирали.

В фанерозое продолжительность крупных геологических циклов близка к галактическому году (время обращения Солнца вокруг центра Галактики примерно 180—220 млн лет). Установлены и более короткие тектонические циклы — продолжительностью 88 ± 22 млн лет; 44 ± 11 ; 22 ± 5 ; $5,5 \pm 2$ млн лет и т. д. По Д. В. Рундквисту, последовательность процессов аналогична в циклах различной продолжительности — от всей геологической истории (миллиарды лет) до мелких циклов. Это положение ученый назвал геогенетическим законом: в каждом относительно коротком цикле устанавливаются те же основные особенности эволюции, что и в крупном цикле, захватывающем больший отрезок времени. Рундквист установил действие этого закона в развитии минералов, формаций пород, магматизма, эндогенных месторождений. Так, известно, что общая тенденция развития магматизма на Земле состоит в эволюции от основных форм, которые господствовали в раннем архее, к кислым и щелочным. Но и в развитии отдельных интрузий гранитоидов ранние фазы являются более основными, а поздние — более кислыми. Подобная же закономерность характерна для отдельных вулканических циклов, например для палеозойского вулканизма Казахстана и Урала, мезокайнозойского — Дальнего Востока и Карпат.

Периодичность, повторяемость — характерная особенность проявления отрицательной обратной связи. Поэтому

и истории земной коры вполне вероятен и этот тип связи, определение которой должно помочь пониманию причин неоднократной повторяемости складчатости, магматизма, горообразования, трансгрессий и регрессий морей.

Многие ученые подчеркивают, что развитие земной коры в целом направлено в сторону накопления информации, т. е. увеличения сложности и разнообразия, уменьшения энтропии (роста негэнтропии). Д. В. Рундквист показал это на примере эндогенного рудообразования: в более ранние эпохи, например в докембрии, формировались преимущественно сравнительно однообразные метаморфогенные и собственно магматические месторождения, в фанерозое — весьма разнообразные гидротермальные месторождения. При этом усложнялся минеральный состав руд, росло содержание металлов в рудах. Эта закономерность прослеживается и в более частных случаях, например в эволюции рудообразования, связанного с гранитоидами.

Возрастание сложности и разнообразия процессов не носит монотонный характер, в отдельные эпохи происходят скачки в накоплении информации.

Уменьшение энтропии и рост сложности не происходят самопроизвольно, для этого необходим приток энергии извне. Непрерывное поступление в земную кору солнечной, радиоактивной и других видов энергии определяет не только неравновесность систем земной коры, их богатство свободной энергией, но и увеличение сложности и разнообразия, т. е. рост информации.

Биосфера. Легче понять процессы в звездах, чем природные явления, которые окружают нас на земной поверхности, т. е. в биосфере, писал свыше 50 лет назад английский астрофизик А. Эддингтон. В то время это скорее воспринималось как парадокс, но в наши дни уже можно говорить о замечательном предвидении ученого. Конечно, и звезда, и биосфера как объекты научного исследования неисчерпаемы; ученые всегда будут открывать в них новые явления и закономерности. Но мы можем сравнивать природные системы по разнообразию форм существования материи, по уровню ее организации. С этих позиций звезды более простые системы, чем биосфера. Действительно, в глубинах звезд температура составляет десятки миллионов градусов, здесь нет твердых и жидких тел, химических соединений, нейтральных атомов. Материя представлена раскаленной плазмой из электронов, протонов и других частиц. На земной поверхности иная

картина: температура не превышает первых десятков градусов, давление колеблется около 1 атм. В этой холодной системе обнаруживаются свободные электроны, нейтроны, протоны и другие частицы, но их количественная роль уже невелика. Основная масса протонов и нейтронов заключена в атомных ядрах, которые еще в звездную стадию существования земной материи «обросли» электронами, образовав нейтральные атомы и ионы. Но свободные атомы и ионы также не основная форма существования материи в биосфере. Здесь господствуют сложнейшие ассоциации атомов: тысячи природных неорганических соединений — минералов и миллионы органических соединений.

Следовательно, биосфера как особая природная система отличается исключительным разнообразием форм существования материи, различным уровнем ее организации — от свободных элементарных частиц, атомов, ионов, химических соединений до исключительно сложных и разнообразных тел — живых организмов. Параллельно с усложнением материи росло и ее разнообразие — количество информации в пределах отдельных форм. Если число основных элементарных частиц измеряется единицами, атомов на Земле — десятками, то количество видов живых организмов составляет миллионы. И все частицы, атомы, минералы, организмы и т. д., находясь в постоянном круговороте, взаимодействуют друг с другом.

Все это позволяет рассматривать биосферу как исключительно сложную природную систему, значительно более сложную, чем удаленное от нас на 150 млн км Солнце или еще неизмеримо более далекие звезды.

В 1944 г. В. И. Вернадский писал: «Мы знаем, что, во-первых, жизнь неразрывна от окружающей среды и что эта окружающая среда не есть от нее независимая бесформенная ей чуждая среда космическая, как это в середине XIX в. думал К. Вернар (1813—1878), а в начале XX в. К. А. Тимирязев. Жизнь космической среде чужда, но она неразрывно связана с определенным строением земной оболочки — с чем-то целым и ограниченным — с биосферой, генетически с жизнью связанной и ею в значительной степени создаваемой»⁵.

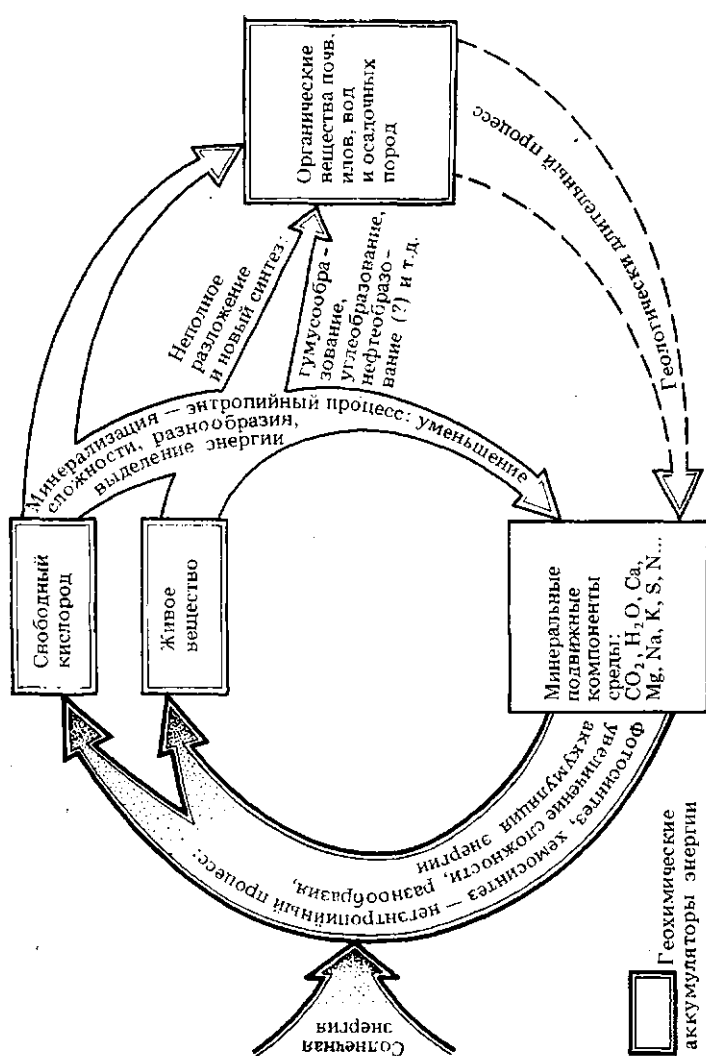
Совокупность организмов биосферы или какой-либо ее части, выраженную в единицах массы, энергии, а сейчас

⁵ Вернадский В. И. Мысли и замечания о Гёте как натуралисте // Избранные труды по истории науки. С. 288.

можно добавить — и информации, В. И. Вернадский предложил именовать живым веществом. При таком подходе роль живых организмов в земной коре предстала в совершенно новом свете. В. И. Вернадский писал, что на земной поверхности нет химической силы более постоянно действующей, а потому и более могущественной по своим конечным последствиям, чем живое вещество, т. е. организмы, взятые в целом. Эти идеи ученого, легионы в основу биогеохимии, не сразу были по достоинству оценены современниками, они порой встречали и возражения. В первой половине XX столетия биогеохимия развивалась медленно. В то время для ее прогресса много сделали Я. В. Самойлов и А. П. Виноградов — непосредственные ученики В. И. Вернадского и Г. Б. Польшов — его последователь. И только в последние десятилетия биогеохимические идеи В. И. Вернадского получили широкое распространение и всеобщее признание. Это произошло преимущественно в связи с остро вставшей проблемой окружающей среды, так как выяснилось, что учение о биосфере — теоретическая основа решения данной исключительно важной проблемы.

Биологический круговорот атомов. На земной поверхности при участии солнечного света в зеленом листе из углекислого газа и воды и других простейших минеральных соединений воздуха и почвы или воды Мирового океана образуются сложные, богатые энергией органические соединения (фотосинтез). С позиций геохимии особенно существенно, что при фотосинтезе возникают сильный окислитель — свободный кислород и сильный восстановитель — различные органические соединения (исходные вещества фотосинтеза — углекислый газ и вода — на земной поверхности без участия растений не являются ни окислителями, ни восстановителями).

Атомы углерода, водорода и кислорода при фотосинтезе заряжаются энергией, становятся геохимическими аккумуляторами энергии. Эта их роль в земной коре грандиозна. Свободный кислород В. И. Вернадский назвал самым могучим химическим деятелем на Земле. Он сильный окислитель, настоящий «геохимический диктатор», определяющий пути миграции и концентрации многих химических элементов. Другие геохимические аккумуляторы — углерод и водород — входят в состав органических веществ, являющихся в земной коре сильными восстановителями. Так, нейтральная по окислительно-восстановительным условиям среда (углекислый газ+вода)



Аккумуляция и минерализация органических веществ, формирующие биологический круговорот атомов

в результате фотосинтеза разделилась на две противоположности: сильноокислительную среду со свободным кислородом и сильновосстановительную с органическими соединениями. Следовательно, с энергетической точки зрения образование живого вещества — это процесс поглощения солнечной энергии, которая в потенциальной форме аккумулирована в свободном кислороде и органических соединениях (сжигая последние, мы можем быстро эту энергию извлечь).

Теперь рассмотрим образование живого вещества с информационных позиций. В растениях синтезируется огромное количество различных органических соединений: углеводов, белков, жиров и др. Животные, некоторые растения и большая часть микроорганизмов неспособны синтезировать органические соединения из углекислого газа и воды. Используя белки, жиры, углеводы и другие вещества растений, они создают новые белки, жиры, углеводы своего тела.

Так возникает огромное разнообразие органических соединений биосферы, число которых измеряется сотнями тысяч и миллионами. Значит, образование живого вещества приводит к резкому росту химической информации — «информационному взрыву». Для сравнения отметим, что число известных в биосфере неорганических соединений — минералов — измеряется тысячами и вряд ли намного превысит 10 тыс. Но пожалуй, еще важнее, что при образовании живого вещества происходит качественное изменение информации, возникает более сложный ее вид — биологическая информация. Она еще более разнообразна.

Итак, при образовании живого вещества происходит аккумуляция энергии, увеличивается разнообразие, т. е. растет информация, возникает новый более сложный ее вид — биологическая информация. При этом увеличивается упорядоченность, сложность, организация биосферы, растет негэнтропия, уменьшается информационная и термодинамическая энтропия.

Но в биосфере протекает и противоположный процесс — разрушение сложных органических соединений, превращение их в простые минеральные вещества: углекислый газ, воду, аммиак и т. д. Этот процесс минерализации протекает в самих растениях, которые при дыхании окисляют органические вещества до углекислого газа и воды. Однако фотосинтез энергичнее дыхания, и поэтому растения в целом являются накопителями органиче-

ских веществ. Животные энергичнее минерализуют органические вещества и еще энергичнее — микроорганизмы. Благодаря деятельности микроорганизмов остатки животных и растений быстро минерализуются, превращаясь в углекислый газ и воду и т. д., которые частично снова используются для фотосинтеза. При минерализации происходит освобождение той энергии, которая поглотилась при фотосинтезе, количество информации уменьшается. Энергия освобождается частично в виде тепла (вспомним о разогревании недостаточно высушенного сена), но главным образом в виде химической энергии, носителями которой являются природные воды. Обогащаясь такими продуктами минерализации органических веществ, как углекислый газ, гумусовые кислоты, аммиак и т. д., воды становятся химически высокоактивными, они разрушают (выветривают) горные породы, выполняют в земной коре большую химическую работу.

При разложении органических веществ резко уменьшается химическая информация. Действительно, все разнообразие органических соединений живых организмов в ходе разложения превращается в небольшое число простых минеральных соединений: углекислый газ, воду и т. д. Правда, при этом образуются и сложные органические соединения гумусового типа, но они все же менее разнообразны и к тому же постепенно сами разлагаются до углекислого газа и воды. Еще важнее, что при разложении органических веществ уничтожается более сложная биологическая информация со всем ее колоссальным разнообразием (любые виды растений и животных после смерти превращаются в углекислый газ, воду и т. д.).

Противоположные процессы образования (биогенной аккумуляции) и разрушения (минерализации) органических веществ не могут существовать один без другого, они вместе образуют единый биологический круговорот атомов. Это частное проявление общего закона развития — закона единства и борьбы противоположностей.

В биологическом круговороте продолжительность отдельных циклов весьма различна. Например, в лесном ландшафте часть атомов углерода, заключенная в древесине, окислится до углекислого газа только после смерти деревьев, т. е. через десятки или сотни лет. В степях и лугах круговорот углерода протекает быстрее. Наконец, если часть органического вещества будет захоронена в осадочных породах и превратится в уголь, окисление которого произойдет только через несколько геологических

периодов, круговорот углерода растянется на миллионы лет.

Эволюция биологического круговорота в ходе геологической истории. Биологический круговорот атомов протекает миллиарды лет — с момента зарождения на Земле жизни. По мере усложнения ее форм происходила и эволюция круговорота. В архее и протерозое поверхность суши, вероятно, была покрыта лишь микроорганизмами и водорослями, представляла собой примитивную пустыню. Около 350 млн лет назад, в конце девонского периода палеозойской эры, на Земле появились первые леса. Так, в течение длительной эволюции в условиях теплого климата и хорошего увлажнения растения на континентах выработали способность накапливать путем фотосинтеза большое количество органических веществ. Это, несомненно, был качественно новый, прогрессивный этап в развитии биосферы, он определил большую роль живого вещества в миграции атомов.

Однако возникло новое противоречие: чем больше накапливалось в ландшафте живого вещества, т. е. чем сильнее была биогенная аккумуляция, тем больше разлагалось мертвых остатков растений и животных, тем энергичнее была противоположная ветвь биологического круговорота — минерализация. В почву поступало много углекислого газа, органических кислот, почвенные воды становились кислыми. Таким кислым водам не могли противостоять самые прочные горные породы, они постепенно выветривались. В результате в почвах развивалось кислое выщелачивание, из них вымывались необходимые для питания растений подвижные соединения кальция, калия, магния, фосфора, серы, меди, цинка и других элементов. В палеозойских лесах стали формироваться сильно выщелоченные кислые малоплодородные почвы, развивалось резкое минеральное голодание растений. Следовательно, чем лучше растения были обеспечены водой, светом и теплом, тем сильнее было кислое выщелачивание — хуже минеральное питание. Так прогресс биологического круговорота привел к противоречию между световым и минеральным питанием растений — растения сами стали ухудшать условия своего существования.

Это новое грозное противоречие в развитии растительного мира, вероятно, послужило одной из движущих сил эволюционного процесса — естественный отбор действовал в направлении его разрешения. Эволюционным путем могла выработаться способность растений поглощать из

почвы больше кальция, магния, натрия и других катионов. В результате часть катионов закреплялась в телах организмов и не выщелачивалась из почвы, а после смерти растений попадала в ее верхние горизонты, откуда снова поглощалась растениями.

Почти 250 млн лет понадобилось растительному миру, чтобы выработать эту способность и частично разрешить возникшее противоречие: в середине мелового периода мезозойской эры, т. е. около 100 млн лет назад, голосеменные растения сменились покрытосеменными, которые с большей энергией поглощали питательные вещества из почвы, содержали больше золы и, следовательно, лучше, чем голосеменные, противостояли выщелачиванию. Однако полностью разрешить данное противоречие растительный мир не смог: и в современную эпоху во влажном климате тропиков и умеренной полосы происходит кислотное выщелачивание почв, ухудшение минерального питания растений.

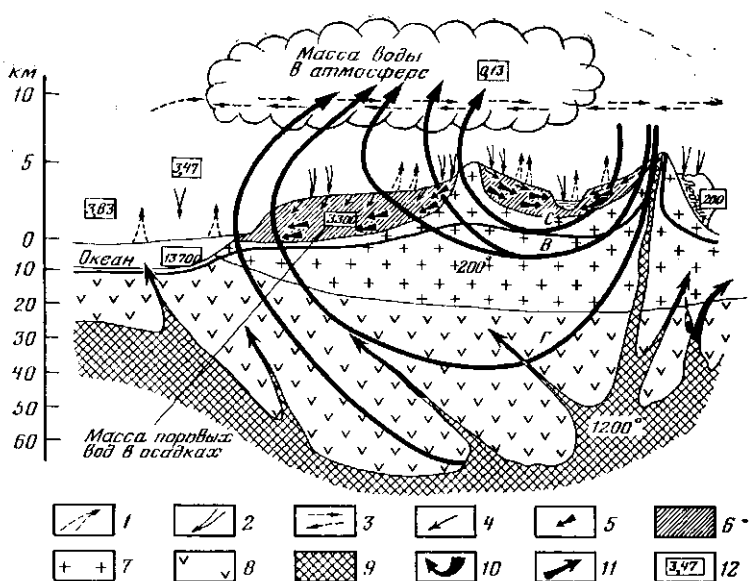
В засушливом климате возникло другое противоречие — между световым и водным питанием растений, на которое указал крупный советский ботаник В. А. Келлер. Чтобы улучшить световое питание — фотосинтез, растение увеличивает площадь своих зеленых органов. Поэтому в ходе эволюции растительный мир выработал большую листовую поверхность, стремясь поглотить как можно больше солнечного света для создания большого количества органических веществ. Но развитие листовой поверхности, столь необходимое для фотосинтеза, вызывает сильное испарение с поверхности листьев, т. е. затрудняет водоснабжение. Следовательно, чем больше растение развивает листовую поверхность, чем лучше оно питается углекислым газом, тем труднее ему обеспечить себя водой. Так возникло противоречие между питанием углекислым газом и водой. Оно, вероятно, также служило мощным фактором эволюции растительности в условиях засушливого климата. В процессе разрешения данного противоречия появились многочисленные ксерофитные черты в растительном покрове: редукция листьев (у саксаула), их кожистость, колючки, восковой налет и т. д. Но и этого оказалось недостаточно.

Круговорот воды. Биологический круговорот атомов является лишь одной из форм круговорота веществ. Другая его форма — круговорот воды между океаном и материками: испарение воды с поверхности океана — перенос водяных паров воздушными течениями на материк —



Противоречие в развитии растительного покрова, возникшее в конце девонского периода палеозойской эры

конденсация паров и выпадение осадков в виде дождя и снега — поверхностный (реки) и подземный сток воды снова в океаны. На отдельных отрезках этого грандиозного процесса осуществляются менее крупные круговороты в пределах материков, стран, ландшафтов. Это и летний

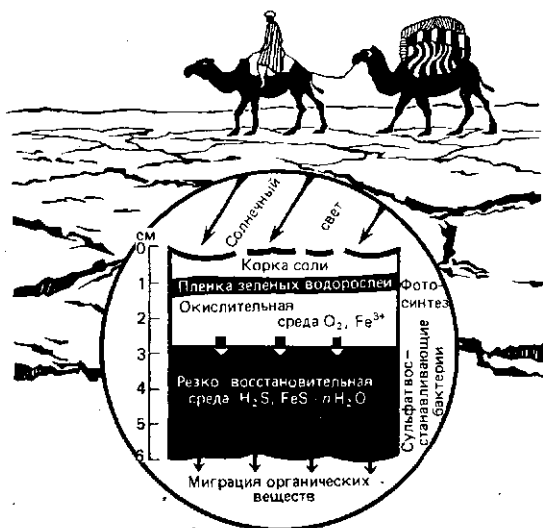


Круговорот воды

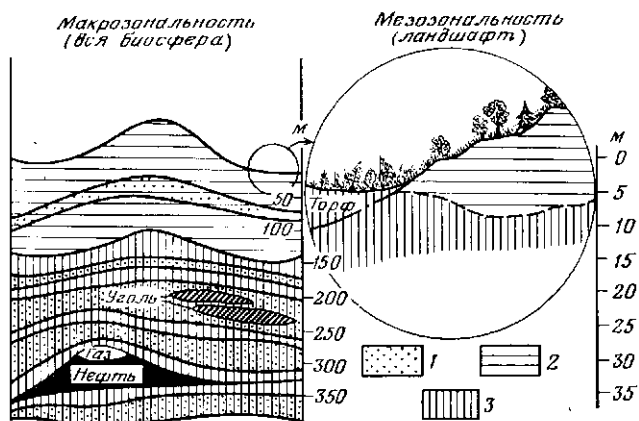
1 — испарение воды; 2 — выпадение осадков; 3 — перенос водяного пара на расстояние; 4 — инфильтрация вод в ландшафте; 5 — поверхностный и грунтовый сток (выше местных базисов дренирования); 6 — осадочные породы (грунтовые и артезианские воды); 7 — «гранитный» слой (трещинные и жилные воды); 8 — «базальтовый» слой (трещинные и жилные воды); 9 — верхняя мантия и очаги магмы; 10 — циклы водных круговоротов: С — сезонных и других кратковременных, В и Г — вековых и геологических; 11 — первичные и другие воды мантии и земной коры; 12 — масса воды (в 10^{20} г)

ливень после сильного испарения, и, наконец, совсем уже маленький круговорот, когда в почные часы выпадает роса, которая испаряется с наступлением утреннего тепла.

Круговороты и поступательное развитие. Непрерывное поступление солнечной энергии обеспечивает непрерывность круговоротов, представляющих собой характерную форму миграции атомов в биосфере. Термин «круговорот» неудачен, так как отвечает образу замкнутого движения по кругу — метафизической концепции развития. Однако реальные круговороты противоречат этой концепции, ибо они не замкнуты, каждый новый цикл не повторяет предыдущий, природа изменяется, не все атомы включаются в новые циклы круговорота. Поступательное развитие совершается через систему круговоротов, изучение которых подтверждает диалектическую концепцию развития по



Шоровый солончак в пустыне



Окислительно-восстановительная зональность в ландшафте и биосфере в целом
 1 — водоносные горизонты; 2 — окислительная среда; 3 — восстановительная среда

спирали, а не метафизическую конценцию развития по кругу. Эту особенность земной коры подчеркнул еще в начале XX в. немецкий ученый А. Липк. Он отметил, что символом круговорота вещества на земной поверхности является не круг, а циклоида. А. Липк писал о неполной обратимости круговорота веществ и подчинении круговорота поступательному развитию. В дальнейшем идеи А. Липка развили Б. Б. Польнов.

Окислительно-восстановительные процессы как единство противоположностей. В биосфере этим процессам принадлежит исключительная роль, с ними связаны наибольшие превращения энергии. Рассмотрим один частный пример. Представим себе шорный солончак — котловину в Средней Азии, поверхность которой покрыта белой, слепящей глаз коркой соли, главным образом сульфатов и хлоридов натрия. Отсутствие воды, сильная жара, соль не благоприятствуют жизни, и на поверхности солевой корки растительности нет. Но в котловинах близко залегают соленые грунтовые воды, достигающие по капиллярам нижней части солевой корки. Солнечный свет проникает через корку, и в рассоле развиваются зеленые водоросли. В ходе фотосинтеза они выделяют кислород, в связи с чем в самом верхнем слое солончаковой почвы господствует резко окислительная среда. Этот слой имеет бурый цвет от соединений трехвалентного железа. Но так как условия для жизни водорослей не очень благоприятны (рассол), мощность слоя с окислительной средой местами достигает всего 1—2 см. После отмирания водорослей их остатки поступают в нижележащий горизонт, но самих водорослей здесь уже нет, фотосинтез отсутствует. Нет и свободного кислорода. Поэтому микроорганизмы, разлагающие остатки водорослей, используют для окисления органических веществ кислород, входящий в состав сульфатов, нитратов, гидроокислов железа. В результате эти соединения восстанавливаются, в почве появляется сероводород, двухвалентное железо, т. е. развивается резко восстановительная среда с сильным запахом сероводорода. Почва становится черной в результате образования коллоидного минерала гидротроилита ($\text{FeS} \cdot n\text{H}_2\text{O}$). Следовательно, благодаря биологическому круговороту появились резко окислительная (кислород) и резко восстановительная (сероводород) среды, обе они порождены одной причиной и тесно связаны между собой.

Шорный солончак в пустыне — это модель системы, в которой окислительные и восстановительные среды,

представляя собой противоположное единство, порождены одной причиной — биологическим круговоротом атомов. Сходные явления, но в более грандиозных масштабах протекают и в более крупных системах и в земной коре в целом. Особенно наглядны эти зависимости при их историческом анализе.

Многие геологи пришли к выводу, что в ранние этапы геологического развития Земли (ранее 3—2 млрд лет назад) обстановка на ее поверхности была восстановительной, свободный кислород отсутствовал, в атмосфере преобладали углекислый газ, метан, аммиак, вода. С появлением зеленых растений в результате фотосинтеза атмосфера стала очищаться от углекислого газа и постепенно приобрела азотно-кислородный состав, т. е. стала окислительной. На земной поверхности возник новый тип химических реакций — окисление свободным кислородом. Это привело к окислению сульфидов изверженных пород и накоплению в водах и осадочных породах сульфатов (например, гипса — $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$, мирабилита — $\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$ и др.). Двухвалентное железо переходило в трехвалентное, и в ландшафтах появились хорошо нам известные красные, бурые, коричневые, желтые почвы и породы, окраска которых вызвана различными оксидами и гидроокислами железа. В поверхностной зоне произошло окисление двухвалентного марганца, трехвалентного ванадия, четырехвалентного урана и других элементов.

При фотосинтезе не только появляется сильный окислитель — свободный кислород, но и возникают органические вещества — сильные восстановители. После смерти растений и животных их остатки попадают в болотные почвы, на дно водоемов, где в условиях недостатка кислорода, в результате работы микроорганизмов, создаются резко восстановительные условия. Сульфаты, гидроокислы железа и другие соединения здесь легко восстанавливаются, появляются сероводород, метан, сульфиды и прочие восстановленные соединения.

На участках прогибания земной коры органические остатки попадают на большие глубины, где постепенно трансформируются в уголь и нефть. Но уголь, нефть и другие органические вещества — не инертная масса, это пища для микроорганизмов. Там, где в земных глубинах органические соединения соприкасаются с водой, развивается микробная жизнь, резко восстановительная среда. Теперь мы хорошо знаем, что сероводород, Fe^{2+} и другие продукты восстановительных реакций появляются в под-

земных водах преимущественно в результате деятельности микроорганизмов.

Следовательно, аналогично шпоровому солончаку работа живого вещества создала на земной поверхности резко окислительные условия и противоположные им — резко восстановительные в болотах, илах и особенно в земных глубинах (водопосных горизонтах).

Так, в ходе геологической истории в результате биологического круговорота единая слабовосстановительная среда, господствовавшая в земной коре в глубоком докембрии, разделилась на две противоположности — резко окислительную и резко восстановительную.

Автор пришел к выводу, что восстановительные условия в подземных водах, появление в них сероводорода, осаждение сульфидов металлов являются следствием развития резко окислительных условий на земной поверхности: резко восстановительная среда возникла в ходе геологической истории на определенном этапе эволюции земной коры в связи с эволюцией жизни.

Развитие понятия о биосфере. Итак, в результате геологической работы живого вещества за миллиарды лет сильно изменился состав атмосферы, осадочной оболочки, во многом и гидросферы. Поэтому в историческом разрезе атмосфера (тропосфера), гидросфера и верхи литосферы — это не внешние независимые среды существования живых организмов, они вместе с живым веществом образуют единую развивающуюся систему — биосферу.

Биосфера — чрезвычайно сложная динамическая большая система со всеми ее особенностями, установленными кибернетикой и теорией информации. Целостность биосферы поддерживается с помощью различных механизмов, среди которых ведущее значение имеет круговорот атомов в двух его основных, уже известных нам формах: биологического круговорота и круговорота воды.

Системы биосферы изучаются науками, достаточно далекими друг от друга по методам и руководящим идеям, нередко относящимся к различным отраслям естествознания. Например, почвоведение по официальной классификации относится к биологическим наукам, литология и гидрогеология — к геологическим, океанология — к географическим. Что же общее между почвой, осадочными породами, Мировым океаном, подземными водами, позволяющее объединить эти системы в единое целое? Общей является геохимическая работа живого вещества.

В познании биосферы геохимия занимает одно из пер-

вых мест. Это связано не только с тем, что современное понятие о биосфере возникло на геохимической основе и первое развернутое учение о биосфере принадлежит основоположнику геохимии В. И. Вернадскому. Ведущая роль геохимических идей и методов в изучении биосферы отражает важную особенность современного естествознания — изучение сложных явлений на атомно-молекулярном уровне. Именно так изучает биосферу геохимия, которую интересует судьба атомов в этой оболочке.

В. И. Вернадский выдвинул положение, составляющее один из основных законов геохимии. Его можно именовать законом Вернадского и сформулировать следующим образом: миграция химических элементов в биосфере осуществляется или при непосредственном участии живого вещества (биогенная миграция), или же она протекает в среде, геохимические особенности которой (кислород, углекислый газ, сероводород и т. д.) преимущественно обусловлены живым веществом — как тем, которое в настоящее время населяет данную систему, так и тем, которое действовало на Земле в течение всей геологической истории. Мы подчеркиваем слово «преимущественно» и не отрицаем влияния на миграцию элементов в биосфере абиогенных геохимических факторов (химического состава пород заведомо небиогенного происхождения, влияния вулканизма и т. д.). Однако роль всех этих факторов в общем второстепенна по сравнению с суммарным влиянием живого вещества.

Итак, для биосферы характерны разные формы движения материи, но сущность данной системы определяется высшей формой — работой живого вещества. Примат живого вещества до В. И. Вернадского ученые не понимали, отводя главную роль неорганическим процессам. Идеи ученого были восприняты не сразу, но постепенно биогеохимия завоевывала все новые и новые позиции. Ныне учение о биосфере нашло широкое признание, выявилось его огромное практическое значение.

Если биосфера представляет собой целостную систему, то очевидно, что во всех ее частях должны протекать какие-то единые, общие процессы. Как показал автор, геохимическое единство биосферы определяется процессами разложения органических веществ, сопровождающимися выделением энергии. Действительно, и в почвах, и в плах, и в поверхностных водах, и в глубоких водоносных горизонтах живые организмы (преимущественно микробы) разлагают органическое вещество, выделяя

аккумулированную в нем солнечную энергию. В результате в окружающую среду поступает тепло и химическая энергия, выполняющая большую работу. Таким образом, для всех систем биосферы характерны процессы разложения органических веществ с освобождением химической энергии. Носителями этой энергии по преимуществу являются природные воды.

Отсюда становится понятным сходство геохимических классификаций почв, илов, кор выветривания, водоносных горизонтов и поверхностных вод. Действительно, все эти системы характеризуются одинаковыми или близкими термодинамическими условиями: температурой, давлением, в них развивается биологический круговорот атомов, характерна водная среда в качестве основной среды миграции. По существу, классифицируются природные воды в их различных формах. Поэтому, отмечая существование в биосфере отдельных систем, необходимо не только подчеркивать их различия, но и выявлять то общее, что их объединяет в одну категорию природных образований.

Неравновесность биосферы. Биосфера исключительно богата свободной энергией, препятствующей установлению равновесия. Резкая неравновесность характерна для многих ее частей, но особенно наглядна она в живых организмах, природных водах и почвах.

Перенесемся мысленно в лесные дебри Южной Америки, в Амазонию, где во влажной и теплой атмосфере тропиков круглый год исключительно интенсивно работают микроорганизмы. Многие реки этой страны от обилия растворенных органических веществ имеют воду черного цвета, а один из крупнейших притоков Амазонки — Рио-Негро так и переводится с испанского — «черная река». Органические вещества поступают в реки из соседних болот. Но речная вода богата и свободным кислородом, поступившим из атмосферы или за счет фотосинтеза водных растений. Так, в одной природной системе присутствуют и сильные окислители (свободный кислород) и сильные восстановители (органические вещества). В соответствии с законами термодинамики в воде все время идет окисление органических веществ — система стремится к равновесию. Но оно никогда не достигается, поскольку новые массы кислорода поступают из воздуха и в результате фотосинтеза, а органические вещества — из соседних болот.

То, что наблюдается в черной тропической реке, характерно и для других систем биосферы — почти везде

здесь видна неравновесность: и в реках тайги и тундры, которые тоже имеют коричневую (от гумуса) воду, и в черноземной почве, где гумус соприкасается с кислородом воздуха в порах почвы, и т. д.

В целом биосфера — неравновесная система, хотя на отдельных участках возможно и равновесие (например, в соляных озерах, где между дошной солью и рассолом есть динамическое физико-химическое равновесие).

Накопление энергии и дифференциация вещества в биосфере. За миллиарды лет живое вещество трансформировало, превратило в химическую работу огромное количество солнечной энергии. Через живое вещество бесчисленное число раз прошли атомы почти всех химических элементов. Поглощаясь живым веществом, они «заряжались энергией», становились «геохимическими аккумуляторами солнечной энергии», а покидая его, отдавали эту энергию окружающей среде, выполняли химическую работу.

Геохимический эффект деятельности каждого живого организма бесконечно мал, также бесконечно мала длительность его жизни в аспекте геологического времени. Однако этих величин бесконечно много, и они действуют практически в течение бесконечно большого промежутка времени. В итоге мы получаем величину конечную и грандиозную — геохимическую работу живого вещества. Аналогичные соотношения широко распространены в природе, абстрактным выражением их являются математические операции дифференцирования и интегрирования.

Согласно Б. Б. Подынову, переоценка геологической роли организмов в какой-то степени была связана с привычкой судить о роли того или иного агента по его массе. А масса живого вещества по сравнению с неорганическими соединениями земной коры ничтожна. Об этом даст наглядное представление сравнение В. М. Гольдшмидта: если литосферу представить в виде каменной чаши весом 13 фунтов, то гидросфера, заключенная в этой чаше, весила бы 1 фунт, атмосфера соответствовала бы весу медной монеты, а живое вещество — почтовой марке. Однако энергетически это несравнимые объекты: живое вещество постоянно создается и уничтожается. В каждом акте биологического круговорота живое вещество поглощает солнечную энергию и выделяет ее в форме, способной совершать химическую работу. Поэтому для оценки геохимической работы живого вещества необ-

ходимо суммировать все то количество живых организмов (главным образом растений), которое существовало на Земле за геологическую историю. Общая масса живого вещества за это время превысила неорганическую массу земной коры! А если учесть, что живое вещество — это чрезвычайно активная «действующая масса», то станет понятной и грандиозная энергетическая роль живого вещества на Земле.

В биосфере солнечная энергия не только трансформируется в химическую потенциальную энергию органических соединений и минералов, она расходуется также на перемещение веществ, их дифференциацию. Биосферу можно рассматривать как гигантский химический комбинат, в котором смесь элементов (изверженные горные породы, морская вода) разделяется с образованием новых, более простых соединений. К ним относятся залежи поваренной соли (NaCl), состоящие из двух основных элементов — натрия и хлора, известняки (кальций, углерод, кислород), бокситы (алюминий, железо, кислород, водород) и т. д.

Дифференциация нарастала в ходе геологического времени, так как в современную эпоху в земной коре имеются месторождения, образовавшиеся в биосфере архей, протерозоя, палеозоя, мезозоя и кайнозоя. Следовательно, в мезозое дифференциация была меньше, в палеозое — еще меньше и т. д. Дифференциацию можно проследить и на истории отдельных элементов. Например, в магматических породах содержание кислорода колеблется лишь от 42,5 (ультраосновные породы) до 48,7 (гранитоиды). В биосфере же появляются системы, резко обогащенные кислородом, причем особенно важно подчеркнуть их качественное своеобразие — богатство свободным кислородом, которого не было в мантии и магмах земной коры. Если среднее содержание кислорода в литосфере (кларк) принять за единицу, то кларк концентрации для ультраосновных пород составит 0,8, для гранитоидов — 1,03, но для живого вещества — уже 1,5, а для гидросферы — 1,8. С другой стороны, в биосфере есть системы, резко обедненные кислородом, что также чуждо земным глубинам. Так, кларк концентрации кислорода в атмосфере равен 0,5, в бурых углях — 0,6, в каменных углях — 0,3.

Непрерывное поступление в биосферу солнечной энергии и ее преобразование в энергию геохимических про-

цессов привели к прогрессивной дифференциации химических элементов и их концентрации.

Накопление информации и «информационные взрывы». Дифференциацию веществ можно трактовать и с информационными позициями, так как дифференциация ведет к увеличению разнообразия, т. е. росту информации.

Палеонтологи установили, что в ходе эволюции число видов резко возрастало. И хотя за время геологической истории немало видов вымерло (особенно в «эпохи великих вымираний», например в конце палеозоя и мезозоя), все же появилось еще большее их количество. Это легко проследить и на флоре и на фауне.

Рост информации не представлял собой монотонную восходящую кривую, так как для последней были характерны резкие максимумы — «информационные взрывы» в эпохи бурного развития новых прогрессивных групп организмов. Такой «информационный взрыв» произошел, например, в начале палеозоя (около 600 млн лет назад), когда резко увеличилось число видов морских беспозвоночных животных. В середине мелового периода (около 100 млн лет назад) «информационный взрыв» был отмечен в растительном царстве — появились покрытосеменные растения с их исключительным видовым разнообразием. Но если прирост информации передается ломаной линией с отдельными «пиками» («взрывами»), то увеличение общего количества информации, несомненно, представляло плавную восходящую кривую. Отметим, что количество информации и количество живого вещества отнюдь не близкие понятия. Живого вещества на Земле во влажных и теплых условиях мезозоя было больше, чем в современную эпоху с ее широким развитием ледниковых щитов, пустынь и высокогорий. Однако, учитывая разнообразие современных условий, и в том числе огромное количество видов организмов, следует признать, что четвертичный период характеризуется большей биологической и неорганической информацией, чем влажный и теплый мезозой.

В ходе геологической истории происходило и захоронение информации, так как в настоящее время мы обнаруживаем в осадочных породах остатки флоры и фауны всех предшествующих периодов.

Итак, по мере развития биосферы и аккумуляции солнечной энергии происходила дифференциация вещества, росло число видов организмов, усложнялась их структу-

ра, т. е. увеличивалась неорганическая и органическая (биологическая) информация. Это положение можно назвать законом прогрессивного развития биосферы. С его действием необходимо считаться при палеогеографических реконструкциях: в прошлые геологические эпохи биосфера была менее разнообразной.

Внешние факторы и внутренние законы развития биосферы. Основным источником энергии процессов, протекающих в биосфере,— Солнце находится за ее пределами. Чем больше солнечной энергии получают системы биосферы, тем больше (при достаточном увлажнении) образуется живого вещества, тем интенсивнее биологический круговорот и все подчиненные ему процессы (почвообразование, выветривание и т. д.).

Внешними по отношению к биосфере являются и другие источники энергии: извержения вулканов, поднятия и опускания земной коры, горообразование, наступление ледников и т. д. Вместе с тем эти факторы приводят в движение мощные внутренние механизмы биосферы — круговорот воды и особенно биологический круговорот атомов. Поэтому, хотя основной источник энергии для процессов, протекающих в биосфере, внешний, биосфера в целом и ее отдельные подсистемы развиваются по внутренним, им присущим законам, на основе внутренних противоречий.

Подсистемы биосферы. Каждая сложная система включает в себя структурные единицы — подсистемы. Характерны они и для биосферы. Однако далеко не все «составные части» являются специфическими структурными единицами биосферы. Например, к ним не относятся электроны, протоны и нейтроны, так как они существуют во всех известных системах космоса. Не отвечают данному критерию атомы и молекулы, минералы и горные породы — они распространены и в земной коре, и в мантии, и на других небесных телах — метеоритах, Луне. Не является структурной единицей биосферы и вода, которую мы обнаруживаем в земных глубинах (гидротермальные растворы). Но живые организмы — структурные единицы биосферы; они составляют неотъемлемую часть этой системы, выполняют в ней определенные функции и не встречаются в других системах. Напомним, что живые организмы — это и аккумуляторы солнечной энергии, и механизмы превращения ее в химическую энергию, и хранилища, и передатчики информации.

Живые организмы не изолированы от неорганической

«коспой» материи, они образуют вместе с ней особые системы, которые В. И. Вернадский называл биокосными. Это подсистемы биосферы, в которых живое вещество и неорганическая материя проникают друг в друга. Сама биосфера — наиболее крупная биокосная система.

Первая биокосная система — почва, как мы уже знаем, была открыта В. В. Докучаевым в конце XIX столетия. В докучаевском понятии о почве явно сказался системный подход, столь характерный для кибернетического мышления второй половины XX столетия и столь чуждый эпохе становления почвоведения. Открытие почвы явилось толчком для нового направления научной мысли, появления новых наук. Сейчас, через 100 лет после работ В. В. Докучаева, мы можем глубже, чем современники, оценить его достижения, хотя и они отдавали должное великому натуралисту.

Напомним, что сам термин «почва» не был новым ни в русском, ни в иностранных языках, как не был новым и термин «почвоведение» — наука о почве. Однако до В. В. Докучаева, как это подчеркнул Б. Б. Полюнов, под почвой понимались самые различные образования — плахотный слой, и рыхлые продукты разрушения горных пород, и вообще любая земная поверхность вплоть до городской мостовой⁶.

Для ученых XIX столетия основным было понятие об агрегатном состоянии вещества — твердом, жидком и газообразном. Отдельно изучалась твердая фаза горных пород, отдельно — подземные и поверхностные воды, отдельно — живые организмы, атмосфера и т. д. С этих позиций в общем рассматривалась и самая верхняя часть земной коры — почва, которая считалась продуктом разрушения горных пород.

Понадобился гений В. В. Докучаева, чтобы увидеть в почве не «рыхлые продукты разрушения горных пород», а особое природное образование, особую систему, в которой живые организмы, твердые, жидкие и газообразные вещества тесно между собой связаны и взаимообусловлены. В. В. Докучаев подчеркнул и необходимость изучения связей между отдельными агрегатными состояниями материи в почве, определил почву как совокупность этих связей, как сложное динамическое образование, говоря современным языком, как особую сложную динамическую систему.

⁶ См.: Полюнов Б. Б. Избр. труды. М.: Изд-во АН СССР, 1956. С. 660.

Говорить, что почва — это «рыхлые продукты разложения горных пород», так же неверно и односторонне, как сказать, что почва — это «водный раствор», или «подземный воздух», или «микроорганизмы». Все они составляют часть почвы, но только их взаимодействие определяет существование этой системы. Такой новый подход оказал огромное влияние на развитие естествознания и привел к расцвету русского почвоведения, завоевавшего ведущее место в мировой науке. В первой трети XX в. уровень развития почвоведения в зарубежных странах определялся тем, в какой степени они освоили докучаевские идеи. Русская методика изучения почв («профильный подход»), русские «системные» термины — «чернозем», «подзол», «солонец», «солончак», «глей», «солонь» и др. — стали международными.

Идея В. В. Докучаева о почве как особом природном теле (биокосной системе) послужила толчком для нового подхода к природе Земли вообще. В наши дни можно говорить не о единственной биокосной системе — почве, как во времена В. В. Докучаева, а о множестве таких систем. В их число входит кора выветривания — понятие, которое наиболее глубоко было разработано Б. Б. Полюновым⁷. К биокосным системам относятся илы материковых и океанических водоемов. Аналогом почвообразовательного процесса в илах является диагенез, основы изучения которого были заложены в трудах Н. М. Страхова⁸. Наконец, к биокосным системам того же порядка, что и почва, относятся водоносные горизонты, которые стали рассматриваться в качестве особых систем лишь в 60-х годах XX в. Установление понятий об этих новых биокосных системах — коре выветривания, илах, водоносных горизонтах — тесно связано с понятием о почве, с докучаевскими традициями в естествознании, с развитием его идей. Как и почвы, эти биокосные системы характеризуются определенным профилем, который расчленяется на горизонты, и многими другими общими чертами. Для всех названных биокосных систем характерна единая геохимическая сущность, заключающаяся в процессах разложения органических веществ микроорганизмами. Ведущая роль именно этих процессов в почвообразовании определяется тем, что в результате разложения

⁷ Полюнов Б. Б. Кора выветривания. Л.: Изд-во АН СССР, 1934.

⁸ Страхов Н. М. Основы теории литогенеза. М.: Изд-во АН СССР, 1960—1963. Т. 1—3.

органических веществ выделяется энергия в химически активной (работоспособной, «действенной» по В. И. Вернадскому) форме. Действительно, рассматриваемые процессы определяют поступление в почвенные, иловые и прочие растворы таких химически активных соединений, как углекислый газ, сероводород, органические кислоты. В результате воды «заряжаются энергией», биокосные системы становятся неравновесными. С этим связана и резкая геохимическая дифференциация данных систем — их расчленение на горизонты. Так, почвы гораздо разнообразнее, чем исходные горные породы, в связи с чем можно сказать, что биокосные системы не только богаты энергией, неравновесны, но и богаты информацией.

Сущность геохимических процессов в разных биокосных системах одина. Например, окисление протекает и в почвах, и в илах, и в коре выветривания, и в водоносных горизонтах. Микробиологическое восстановление сульфатов с образованием сероводорода характерно для засоленных почв, илов, соленых озер, океанических и морских илов, глубоких водоносных горизонтов.

Из сказанного не следует, что биокосные системы тождественны друг другу. У почв, так же как у илов, водоносных горизонтов и т. д., имеются своеобразные, только ей присущие особенности, дающие право на выделение данной системы в качестве особого образования. Однако необходимо подчеркнуть их общие черты, на которые долгое время не обращали должного внимания.

Отметим еще одну сторону рассматриваемого вопроса. Процессы в почвах являются моделью более грандиозных процессов, протекающих в других системах земной коры, в том числе в биосфере в целом. Выше это было показано на примере порового солончака. Поэтому изучение почв, и в частности их окислительно-восстановительной зональности, позволяет анализировать многие процессы, протекающие в корах выветривания, артезианских бассейнах и других системах. Удобство почв как модели состоит в том, что окислительно-восстановительная зональность в них проявляется в пределах 1–2-метровой толщи, в то время как зональность в коре выветривания распространяется на десятки метров, а в артезианских бассейнах — на километры и десятки километров. Этим во многом определяется большое значение почвоведения для развития многих наук о Земле, в первую очередь для геологии и географии.

Между почвой и другими биокосными системами,

с одной стороны, и биосферой — с другой, существует еще одна категория промежуточных систем. Это ландшафты. Как и в случае с почвой, сам термин «ландшафт» существовал уже в начале XIX столетия, но современным его пониманием наука обязана В. В. Докучаеву. В конце своей жизни он писал: «Не подлежит сомнению, что познание природы — ее сил, стихий, явлений и тел — сделало в течение 19-го столетия такие гигантские шаги, что само столетие нередко называется веком естествознания, веком натуралистов. Но всматриваясь внимательно в эти величайшие приобретения человеческого знания — приобретения, можно сказать, перевернувшие наше мировоззрение на природу вверх дном, особенно после работ Лавуазье, Лайеля, Дарвина, Гельмгольца и др., нельзя не заметить одного весьма существенного и важного недочета... Изучались главным образом отдельные тела — минералы, горные породы, растения и животные — и явления, отдельные стихии — огонь (вулканизм), вода, земля, воздух, в чем, повторим, паука и достигла удивительных результатов, но не их соотношения, не та генетическая, вековечная и всегда закономерная связь, какая существует между силами, телами и явлениями, между мертвой и живой природой, между растительными, животными и минеральными царствами, с одной стороны, человеком, его бытом и даже духовным миром — с другой. А между тем именно эти соотношения, эти закономерные взаимодействия и составляют сущность познания естества, ядро истинной натурфилософии, — лучшую и высшую прелесть естествознания»⁹. Эта цитата свидетельствует и об известной ограниченности мировоззрения великого ученого. Он был стихийным диалектиком, рассматривая природу в ее развитии, видел связи между отдельными явлениями. Но как большинство натуралистов своего времени, ошибался, считая, что законы природы распространяются на общественные отношения. В. В. Докучаев переоценивал значение географической среды в развитии общества, находясь на позициях географического детерминизма (вульгарного географизма), истоки которого восходят к трудам античных ученых Гиппократ, Страбон и др. Эти идеи развивали французские ученые-материалисты XVIII в. (Ш. Монтескье и др.), ученые XIX в. (Э. Реклю, Л. И. Мечников, Ф. Ратцель, Г. Бокль).

⁹ Докучаев В. В. К учению о зонах природы. СПб., 1899. С. 5.

Мысль В. В. Докучаева о том, что географическая среда составляет целое, была гениальной и революционной. По сути дела, как и за 20 лет до этого, В. В. Докучаев, применив системный подход, открыл новую систему, которую мы теперь именуем ландшафтом, и тем самым заложил основы науки о ландшафтах.

Ландшафт включает в себя почву, кору выветривания, живые организмы, поверхностные и грунтовые воды, илы водоемов, приземную атмосферу, он состоит из биокосных тел и сам представляет собой биокосную систему более высокого порядка.

Если ученые в XIX в. еще недостаточно изучали связи между явлениями природы, то общественная практика на каждом шагу напоминала о необходимости учета тех связей, о которых писал В. В. Докучаев. Еще в античную эпоху, когда народы Средиземноморья начали вырубать горные леса, сказались нежелательные последствия этой деятельности: смыв почв на склонах, обмеление рек в течение большей части года и разрушительные наводнения в период дождей. Здесь была нарушена естественная связь между почвами, лесом и водами, и за это природа «отомстила» в форме «непредвиденных последствий хозяйственной деятельности», как их именовал Ф. Энгельс. История человечества изобилует подобными примерами: распахали почву в степи — выросли овраги, сбросили отходы фабрик в реку — погибла рыба, вырубали саксаул в песках — они засыпали оазис и т. д.

Таким образом, опыт хозяйственной деятельности показал, что земная поверхность — не собрание отдельных, независимых друг от друга природных тел, как это представлялось метафизическому мышлению, а сложная система — ландшафт, состоящий из атмосферы, горных пород, вод, организмов, комплекс, все части которого тесно между собой связаны. Достаточно подействовать хотя бы на одно звено ландшафтной цепи (например, лес), чтобы произошли изменения в других звеньях (почвы, воды), изменился ландшафт в целом. Для того чтобы избежать непредвиденных последствий хозяйственной деятельности, правильно использовать землю, воды, леса, руды и другие природные ресурсы, необходимо знать законы, управляющие ландшафтом. Нужна особая наука, призванная создать теорию преобразования природного ландшафта в новый — культурный. Такая теория особенно актуальна в нашу эпоху, ибо прогресс техники привел в движение огромные силы, которые могут превратить пустыню в цве-

тущий сад и, наоборот, в случае бесконтрольного применения сделать из цветущего сада пустыню.

Все это показывает большое практическое значение науки о ландшафтах. Она была необходима уже в античном обществе, однако тогда не существовало условий для ее развития. Прежде чем изучить ландшафт в целом, требовалось изучать его части — атмосферу, горные породы, воды, растения, животных. Возможность познания ландшафта возникла только в конце XIX в., когда достигли определенного уровня развития ботаника, метеорология, геология, минералогия.

Если уровень естествознания в конце XIX в. позволял изучать ландшафт, то социальные условия не благоприятствовали этому и, что особенно важно, практическому применению новой науки. Действительно, практическое значение науки о ландшафтах состоит в создании рациональной системы использования природных ресурсов. При этом ландшафт рассматривается как целостная система. Использование его почв, лесов, вод, полезных ископаемых должно быть тесно между собой увязано, чтобы одна область хозяйства не вредила другой. Однако частная собственность на землю, леса, воды, недра, анархия производства затрудняла решение этой задачи. Положение резко изменилось после Великой Октябрьской социалистической революции.

В Советском Союзе достигнуты значительные успехи в изучении тайги, степей, тундры, пустынь и других ландшафтов, наметились новые области практического применения этой науки. Создалась благоприятная обстановка и для развития теории ландшафта. Как и во многих других отраслях знания, прогресс осуществляется в результате внедрения в науку о ландшафтах идей и методов физики и химии. Так, в 40-х годах нашего столетия на грани учения о ландшафтах и геохимии возникло новое научное направление — геохимия ландшафта, которое изучает миграцию химических элементов в ландшафте. Создателем этого направления был Б. Б. Полюнов.

В СССР геохимия ландшафта развивается быстро, большой интерес к ней проявляется и за рубежом. Эта наука нашла применение при поисках рудных месторождений: установлено, что в тундре, тайге, влажных тропиках, пустынях искать рудные месторождения надо по-разному, с учетом геохимических особенностей этих ландшафтов. Геохимия ландшафта также стала одной из

теоретических основ решения проблем окружающей среды, нашла применение в медицине и сельском хозяйстве.

В СССР в качестве самостоятельных наук и научных направлений оформились также геохимия почв, кор выветривания, поверхностных вод (гидрохимия), подземных вод (гидрогеохимия), океана. Во всех этих науках видное место занимают биогеохимические идеи В. И. Вернадского.

Структура, центр и обратные связи биосферы. Структурными элементами биосферы являются биокосные системы, о которых мы только что говорили. Но и биосфера в целом разделяется на две подсистемы. В верхней части биосферы, куда проникает солнечный свет, возможен фотосинтез и зеленые растения из углекислого газа, воды и других минеральных соединений образуют сложные органические соединения. Эта зона включает в себя ландшафты суши и освещенную часть океана. Академик Е. М. Лавренко предложил именовать ее фитосферой (фитогееосферой). В нижнюю часть биосферы солнечный свет не проникает, там фотосинтез невозможен и образование живого вещества из минеральных соединений практически не имеет значения. Это область подземных вод на материках, темные глубины морей и океанов; автор книги предложил именовать ее редусферой.

Большой научный и практический интерес представляет вопрос о центре биосферы, т. е. такой ее части, которая играет ведущую роль, определяет своеобразие биосферы в целом, «управляет» этой сложной системой. Нетрудно доказать, что центром служат ландшафты суши, а точнее, лесные ландшафты. Это объясняется тем, что именно здесь сосредоточена основная масса живого вещества планеты — главного геохимического агента биосферы. Именно в ландшафтах протекают те процессы разложения органических веществ, которые формируют химический состав поверхностных и грунтовых вод, чей сток глубоко влияет и на процессы, протекающие в морях и океанах. Очевидно, к центру биосферы следует отнести и верхние горизонты океана, т. е. фитосферу в целом. С этих позиций особенно наглядно огромное практическое значение такой науки, как география, в частности ландшафтоведения, основное внимание которого сосредоточено именно на поверхности нашей планеты. Ландшафт — «клеточка биосферы», для которой характерны внутренние противоречия этой системы в целом. Вместе с тем ландшафт невелик по размерам, легкодоступен для

исследования, что определяет большое методологическое значение ландшафтоведения, геохимии ландшафта. Полагая, что здесь возможна аналогия с политической экономией. Как известно, К. Маркс доказал, что товар является той клеточкой капитализма, изучая которую можно вскрыть основные противоречия данной системы. Механизм обратной связи очень характерен для биосферы, но с кибернетических позиций она еще слабо изучена. Поэтому ограничимся несколькими примерами, подчеркнув необходимость такого подхода. Положительные обратные связи характерны для всех биокосных систем. Например, они ярко выражены в процессе зарастания озер, хорошо изученном геоботаниками. Напомним, что в лесной зоне у берега, в мелководье, поселяется особая водолюбивая флора. В середине озера нередко растут водоросли («тина»). Характерны для озер и различные животные. После отмирания организмов растительные и животные остатки минерализуются лишь частично, определенное их количество превращается в «глиной озерный ил» — сапрпель. В итоге дно озера повышается, у берега оно мелеет и новые поколения высших растений продвигаются от берега к центру озера. Конечно, эффект такого обмеления и зарастания за один год незначителен, но за сотни и тысячи лет озерная ванна может полностью заполниться сапрпелем, озеро — исчезнуть, превратиться в другой ландшафт — болото. Значительная часть торфяных болот Европейской России содержит под слоем торфа сапрпель, т. е. это бывшие озера. В чем же здесь проявился механизм положительной обратной связи? В том, что результат зарастания — накопление сапрпеля приводит к обмелению озера, т. е. усиливает зарастание, в результате чего система удаляется от исходного состояния, развивается.

Положительные обратные связи ярко выражены и в степном почвообразовании: травы энергично поглощают из почвы фосфор, серу, калий, которые после разложения растительных остатков накапливаются в верхнем горизонте почвы («биогенная аккумуляция»). В ходе смены поколений трав ранее малоплодородная или совсем бесплодная горная порода превращается во все более плодородную почву, богатую биологически важными элементами — азотом, фосфором, калием и др. Известны и другие примеры положительной обратной связи, но задачу изучения биосферы мы видим в установлении данного механизма в развитии всех биокосных систем, чтобы на

этой основе понять, как развивается биосфера, в чем состоит механизм ее эволюции.

Отрицательные обратные связи также характерны и для отдельных биокосных систем и для биосферы в целом. Еще в начале XX столетия известный шведский химик С. Аррениус обратил внимание на роль вулканизма в развитии жизни на Земле: поступление углекислого газа в атмосферу при вулканических извержениях делает климат более теплым и улучшает воздушное питание растений — фотосинтез. Геолог Д. Н. Соболев в 20-х годах отмечал связь вулканизма и углеобразования: он полагал, что энергичное поступление углекислого газа в атмосферу в эпохи вулканизма вело к развитию растительности и накоплению углей. Высокое содержание углекислого газа в атмосфере должно было также благоприятствовать усилению выветривания и кислому выщелачиванию металлов из почв и кор выветривания. С вулканизмом коррелировалось и карбонатообразование в морях и океанах. Член-корреспондент АН СССР А. Б. Ронов сформулировал основной закон карбонатакопления в фанерозое: количество карбонатных осадков прямо пропорционально интенсивности вулканизма и площади внутриматериковых морей.

Автор наметил следующую связь между вулканизмом и миграцией элементов в биосфере: поступление углекислого газа в атмосферу при извержении вулканов → усиление фотосинтеза и энергичное разложение органических остатков → формирование мощной коры выветривания и вынос из нее металлов → углеобразование в болотах → интенсивный вынос железа из болот → осаждение железных руд и белых каолиновых глин → накопление карбонатных осадков в морях. В чем же здесь проявляется механизм отрицательной обратной связи? Очевидно, в том, что поступление углекислого газа в биосферу приводит к накоплению известняков и углей, в результате чего содержание углекислого газа в атмосфере понижается и биосфера стабилизируется, возвращается в исходное состояние — с более низким содержанием углекислого газа в атмосфере, ослабленным карбонатакоплением и углеобразованием.

Выявление механизма отрицательной обратной связи также очень важно — таким путем постигаются причины устойчивости биокосных систем и биосферы в целом, а это необходимо в решении вопросов охраны природы, защиты окружающей среды от загрязнения.

Роль биосферы в земной коре. Разложение органических веществ и поступление свободной химической энергии в биосферу продолжают непрерывно миллиарды лет — с момента появления жизни на Земле. Эти процессы направлены на уменьшение энтропии, увеличение дифференциации, разнообразия, сложности биосферы. Поэтому биосфера значительно более сложная и дифференцированная система, чем залегающие глубже слои земной коры и верхняя мантия.

В начале XX столетия связь между глубокими слоями земной коры и биосферой представлялась прямой. Полагали, что магматизм, складчатость, горообразование и другие эндогенные процессы влияют на выветривание горных пород, осадкообразование, деятельность подземных вод и прочие процессы биосферы. Обратное влияние биосферы на глубокие слои земной коры не рассматривалось. Однако за последние десятилетия накапливаются факты об обратном характере связей — о том, что и биосфера влияет на глубины земной коры.

Все большее признание находит концепция большого круговорота веществ, рассматривающая тектонические процессы, магматизм, осадкообразование и эволюцию жизни как звенья единого процесса развития земной коры и верхней мантии. «...В „земную кору“ входит несколько геологических оболочек — биосфера, стратисфера, метаморфическая и гранитная оболочка. Все они когда-то в течение геологического времени находились на земной поверхности, были биосферами. Все они генетически между собой связаны, взятые в целом, представляют одно явление», — писал В. И. Вернадский в 1939 г.¹⁰ По представлениям ученого, гранитная магма и граниты — это «былые биосферы», продукт переплавления осадочных пород.

В 1944 г. В. И. Вернадский еще определеннее высказал свою мысль: «...и вулканические явления, и процессы горообразовательные оказываются проявлениями земной коры, а не внутренности планеты. Жизнь ... играет в этих процессах огромную роль»¹¹. В настоящее время происхождение гранитов трактуется с разных позиций, учитывается и механизм, предложенный В. И. Вернадским, с той поправкой, что в гранитообразовании, помимо материала осадочных пород, участвуют и газожидкие раст-

¹⁰ Вернадский В. И. Избр. соч. М.: Изд-во АН СССР, 1954. Т. 1. С. 547.

¹¹ Вернадский В. И. Мысли и замечания о Гёте как натуралисте // Избранные труды по истории науки. С. 285.

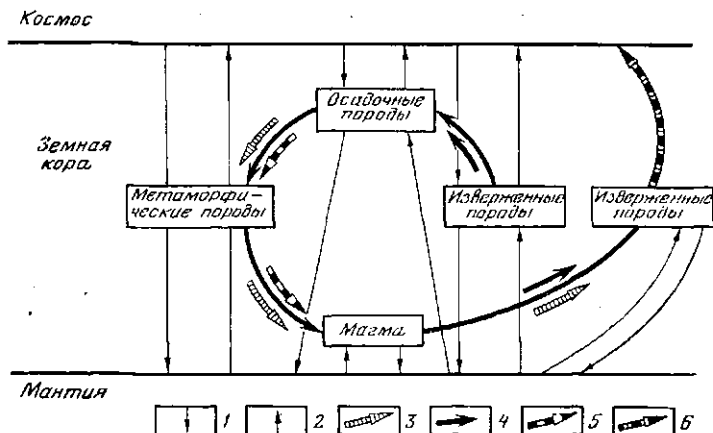
воры (флюиды), поступающие из базальтового слоя или ма́гматии. Участие осадочных пород в формировании гранитного слоя позволило говорить о большом круговороте веществ в земной коре, который аналогично другим круговоротам следует понимать как форму поступательного развития — циклоиду или спираль: по мере развития земной коры происходило наращивание гранитного слоя, этого порождения биосферы. Мощности его в архее были меньше, чем в современную эпоху. По формам движения материи (видам миграции) в земной коре, следовательно, можно выделить три подсистемы:

1. Биосферу, в которой развиваются живые организмы и где ведущую роль играет живое вещество.

2. Мегабиосферу (по Н. Б. Вассоевичу), где ведущее значение имеют неорганические формы движения материи — физическая и химическая. Живое вещество здесь отсутствует, но его продукты в виде известняков, углей, нефти и т. д. имеются. К мегабиосфере относятся стратосфера и более высокие горизонты атмосферы, глубокие горизонты осадочных пород, лишённые жизни, многие метаморфические породы и граниты («былые биосферы» по В. И. Вернадскому).

3. Нижний, базальтовый слой земной коры, который, по имеющимся представлениям, вылавился из мантии и, значит, непосредственно не связан в своем происхождении с биосферой. Однако не исключается, что и породы этого слоя частично являются былыми биосферами (если верна концепция тектоники плит о засасывании и переплавлении литосферных плит в зонах субдукции).

Рассмотрим большой круговорот с информационными позициями. При переплавлении осадочных пород разнообразие уменьшается: возникает более или менее однородный расплав — магма. Тепловое хаотическое движение атомов и молекул при этом увеличивается, энтропия системы возрастает. При остывании магматических очагов в определенной последовательности кристаллизуются изверженные породы, например диориты → гранодиориты → граниты. Разнообразие при этом увеличивается, информация растёт. Ещё разнообразнее гидротермальные процессы, которые распространены выше магматических очагов. С этими процессами связано формирование гидротермальных месторождений. Одни ученые подчеркивают связь этих процессов с магматизмом, считая их постмагматическими, другие — с верхней частью земной коры, осадочной оболочкой, т. е. с биосферой. Новейшие данные гово-



Большой круговорот

1 — поглощение вещества и энергии из космоса и мантии; 2 — поступление вещества и энергии в космос и мантию; 3 — выделение энергии в ходе большого круговорота; 4 — рост информации (разнообразия); 5 — уменьшение информации (разнообразия); 6 — начало нового цикла круговорота

рят, что правы те и другие — гидротермальные месторождения полигенетичны, вода и металлы в них поступают нередко из осадочной толщи, но не исключаются и магматические источники. Но если мы вспомним, что, согласно концепции большого круговорота, сама гранитная магма — бывшие биосферы, то опосредственная связь значительной части гидротермальных процессов с биосферой становится очевидной. И только для гидротермальных месторождений, обязанных своим происхождением базальтовому слою и верхней мантии, связь с биосферой менее вероятна или, во всяком случае, не установлена.

Наибольшее разнообразие и уменьшение энтропии характерно для биосферы с ее миллионами видов организмов, большим числом месторождений полезных ископаемых, ландшафтов, почв и других биокосных систем. По сравнению с гранитным и базальтовым слоями биосфера характеризуется не только появлением новых видов информации, но и резким увеличением ее общего количества («информационный взрыв»).

В земной коре, следовательно, одни процессы идут с накоплением энергии, увеличением разнообразия, дифференциации, усложнением, уменьшением энтропии (с ростом энергии и информации), а другие — с выделением

энергии, увеличением энтропии, уменьшением разнообразия, сложности и информации. И здесь мы снова имеем дело с проявлением основного закона диалектики. Обе категории противоположных процессов характерны и для биосферы, и для глубоких частей земной коры, по первые явно преобладают в биосфере, а вторые — в глубинах.

В гранитном слое наряду с биосферными источниками энергии большое значение приобретают радиоактивный распад и другие глубинные энергетические факторы. Значит, материя и энергия биосферы тем или иным путем взаимодействуют с внутренней энергией Земли, веществом глубинного происхождения. Поэтому большой круговорот не замкнут и в нижней части, так как там продукты биосферы испытывают влияние глубинных факторов, в том числе вещества и энергии мантии.

Свыше четверти века назад автор пришел к выводу, что при разработке общей теории геологии нельзя игнорировать существование глубоких связей между развитием жизни на Земле, осадкообразованием, тектоническими явлениями и магматизмом. Именно в этих связях — между биосферой и глубокими слоями земной коры — мы видели один из основных законов геологии, а сами процессы, протекающие в земной коре, считали различными проявлениями единого грандиозного по длительности и сложности процесса ее развития.

За прошедшие годы получены новые подтверждения реальности большого круговорота. Особенно подчеркивается круговорот газов: в биосфере при осадкообразовании поглощаются углекислый газ (известняк и др.), вода (глины), кислород, азот (органическое вещество) и т. д., которые снова превращаются в газы при погружении осадочных толщ, их метаморфизме, переработке магматизмом (вулканизм и др.). Таково грандиозное дыхание земной коры.

Итак, между тектопо-магматическими циклами и осадкообразованием вероятна обратная связь. Мы предполагаем, что осадочные породы, образовавшиеся в рифе и начале палеозоя, были метаморфизованы и гранитизированы в процессе каледонского магматизма и орогенеза, осадки, накопившиеся в девоне и нижнем карбоне, — в герцинском цикле и т. д. Иначе говоря, особенности протерозойского осадкообразования должны были найти отражение в байкальской металлогении, особенности докембрийского и нижнепалеозойского — в каледонской, палеозойского — в герцинской и т. д.

Данная концепция находит приверженцев. «Осадконакопление в биосфере все более подвергалось влиянию жизни. Это привело к резким концентрациям новых веществ в осадочной оболочке, в ее отдельных частях. Важнейшие последствия в процессы ультраметаморфизма, древние толщи осадочных пород становятся потенциально рудоносными. В этом кроется одна из причин возникновения металлогенических провинций в земной коре», — пишет Г. В. Войткевич¹². С подобных позиций трактовал рудообразование и А. И. Тугаринов, согласно которому появление гидротермальных урановых месторождений связано с предшествующим накоплением осадочной рудосной формации.

Так как в ходе геологической истории дифференциации осадочных пород и биосферы в целом росла, то естественно, что в каждом последующем тектоно-магматическом цикле перерабатывались более дифференцированные осадки. А это, в свою очередь, должно было увеличивать разнообразие тектонических процессов и рудообразования. Поэтому первопричина увеличения сложности и разнообразия глубинных систем земной коры, возможно, состоит в развитии биосферы, прогрессивном накоплении в ней солнечной энергии. Объяснить прогрессивное развитие глубинных систем за счет радиоактивных источников энергии трудно, так как количество радиогенного тепла со временем уменьшалось.

Итак, особенности металлогении складчатых областей, общую эволюцию металлогении необходимо увязать с эволюцией осадкообразования, накоплением в углях, глинах и других осадочных породах солнечной энергии.

Системный подход к земной коре ставит вопрос и о центре (или центрах) этой системы, т. е. о такой ее части, которая имеет ведущее значение, определяет функционирование системы в целом. Существует ли один центр или их несколько? Вероятно, правомерно говорить о верхнем и нижнем центрах. Первый — это биосфера, которая уже несколько миллиардов лет поглощает солнечную энергию и на основе механизмов биологического и других круговоротов превращает ее в энергию геохимических процессов. Нижним центром земной коры, возможно, является верхняя мантия или нижние слои земной коры с очагами «корового магматизма».

¹² Войткевич Г. В., Закруткин В. В. Основы геохимии. М.: Высш. шк. 1976. С. 309.

Очевидно, установление центров земной коры, управляющих ее механизмом, выявление относительной роли биосферного, мантийного и других центров составляет важную задачу наук о Земле.

Все сказанное позволило автору говорить о законе прогрессивного развития земной коры, охватывающем как биосферу, так и глубокие слои коры: земная кора представляет собой большую сложную динамическую систему с обратными связями. Непрерывное поступление в нее солнечной и глубинной энергии Земли определяет направленное развитие данной системы, в ходе которого увеличиваются ее сложность и разнообразие, неравновесность, накапливается свободная энергия, уменьшается энтропия.

Техногенез

Геохимическую работу человечества А. Е. Ферсман называл техногенезом. В результате техногенеза биосфера изменилась, ее В. И. Вернадский назвал «ноосфера» — сфера разума. «Ноосфера есть новое геологическое явление на нашей планете», — писал ученый¹. Специфика постановки вопроса о ноосфере состоит в том, что она рассматривается как особый этап развития планеты. По сравнению с биосферой для ноосферы характерна высшая форма движения материи — социальная. Однако с философских позиций концепция ноосферы, как подчеркивает философ А. П. Белик, разработана слабо. В дальнейшем мы будем в основном использовать термины «техногенез» и «техногенные системы», как получившие широкое распространение и признание в геохимии. Отметим, что в 1985 г. в Иркутске в Сибирском институте геохимии имени А. П. Виноградова под руководством академика Л. В. Талусона состоялось первое всесоюзное совещание по геохимии техногенеза.

Как и в биосфере, в техногенных системах протекает биологический круговорот атомов, причем человек стремится ускорить обе его ветви — и образование живого вещества (в том числе фотосинтез), и его минерализацию. К этому направлены все мероприятия по повышению урожайности, мелиорации и т. д. Человек вовлекает в

¹ Вернадский В. И. Несколько слов о ноосфере // Химическое строение биосферы Земли и ее окружения. М.: Наука, 1965. С. 329.

биологический круговорот элементы, давно из него вышедшие. Десятки и сотни миллионов лет прошли с тех пор, как сформировались гигантские залежи угля. Все это время углерод был почти неподвижен. Но за последние 100 лет громадные массы угля были извлечены из земных недр, сожжены, и углерод начал новые странствия. Он снова соединился с кислородом, вошел в состав углекислого газа атмосферы.

Образование углекислого газа за счет окисления органических веществ протекало на Земле и без участия человека, в этом процессе он «шел вслед за природой». Сжигая миллиарды тонн угля и нефти, человек только ускорил окисление углерода.

Орошая пустыни, создавая искусственные водохранилища, используя воды артезианских бассейнов, человек вмешивается и в круговорот воды.

Во второй группе процессов человек осуществляет реакции, несвойственные биосфере, получает вещества, никогда в ней не существовавшие и часто неустойчивые. К ним, например, относятся металлургические процессы, при которых в свободном виде получают железо, алюминий, цинк, кобальт и другие металлы.

Разрешение противоречий биосферы. Напомним, что в биосфере растительный мир не смог разрешить противоречие между накоплением органической массы и минеральным питанием: как и сотни миллионов лет назад, ныне во влажном климате развитие большой растительной массы приводит к кислому выщелачиванию почв, минеральному голоданию растений. Химизация сельского хозяйства, особенно применение минеральных удобрений, позволяет бороться с кислым выщелачиванием, полностью обеспечить культурные растения и домашних животных необходимыми химическими элементами. В сухом климате человечество научилось разрешать противоречие между световым и водным питанием растений. Этой цели служит искусственное орошение, которое дает возможность получать высокие урожаи в степях и пустынях.

Хорошо известно, как разнообразны сорта культурных растений и породы домашних животных, как быстро осуществляется селекция, как продуктивны порой новые сорта и породы. Причина этого видится не только в искусственном отборе, но и в сочетании его с той геохимической обстановкой, которую сначала бессознательно, а позднее и сознательно создает человек для культурных растений и домашних животных. Изучив их потребности,

он дает им все необходимое и разрешает то противоречие, которое сдерживало развитие жизни в течение сотен миллионов лет.

Энергетика техногенеза. В середине XX в. в энергетике произошел качественный скачок: помимо видов энергии, характерных для биосферы, человек овладел новым ее видом — атомной энергией. Все это определяет еще большую неравномерность техногенных систем и процессов. Только здесь характерны неравновесные системы, содержащие и свободный кислород, и свободные металлы, взрывчатые вещества, многие искусственные, крайне неустойчивые химические соединения, искусственные радиоактивные элементы, ядерное горючее.

Огромное расходование энергии в техногенезе приводит к еще более резкой, чем в биосфере, дифференциации веществ, получению сверхчистых продуктов, разделению изотопов, т. е. процессам, нехарактерным для биосферы. Все это свидетельствует о негэнтропийных тенденциях техногенной миграции.

Усиливаются и энтропийные процессы. Часть используемой энергии производит работу, но часть в соответствии со вторым законом термодинамики неизбежно обесценивается и выделяется в виде тепла. Это определяет разогревание техногенных систем по сравнению с биосферой. Эффект такого разогрева пока невелик, однако в перспективе возможно значительное разогревание — на несколько градусов для всей поверхности планеты. Это может привести к таянию льдов Гренландии и Антарктиды, затоплению приморских низменностей, смещению природных зон и другим явлениям, значение суммарного эффекта которых оценить пока трудно.

Информационные процессы. Для техногенеза характерны те же виды информации, что и в биосфере, но основное значение приобретает новый ее вид — социальная. Намного увеличивается скорость передачи информации, растет ее разнообразие (печать, радио, телевидение и т. д.). Развитие ноосферы сопровождается «информационным взрывом».

Увеличение разнообразия техногенных систем происходит как за счет расходования колоссального количества текущей энергии биосферы, так и той энергии, которая была аккумулирована за миллиарды лет ее существования (главным образом в горючих ископаемых). Биосфера не знала многих свободных металлов, полимерных материалов, которые с каждым годом все больше и больше

входят в наш быт и технику, множества других производств, без которых немыслима современная цивилизация. В целом техногенные системы гораздо разнообразнее биосферы. Итак, эволюция техногенеза сопровождалась резким ростом информации, появлением новых ее видов, новых способов хранения, переработки и передачи.

С «информационным взрывом» связана огромная скорость процессов техногенеза. Действительно, свыше миллиона лет в первобытном обществе влияние человека на биосферу было невелико, и только несколько тысячелетий назад, геологически совсем недавно, человек стал важным геологическим фактором. Деятельность человечества возрастала быстро, и в XX в. оно превратилось в главную геологическую силу на поверхности Земли. Следовательно, первое существенное отличие техногенных систем от биосферы — огромное ускорение развития: устойчивое состояние биосферы в отдельные периоды продолжалось десятки миллионов лет (например, во влажных тропиках мезозоя), в то время как биосфера изменяется за десятилетия и столетия. Так, за столетие, с середины XIX в., мировое потребление углерода, железа, марганца, никеля увеличилось в 50–60 раз, ванадия, алюминия, молибдена — в 200–1000 раз и т. д.

Внешние факторы и внутренние законы развития техногенных систем. Как и для биосферы, для этих систем характерны мощные внешние факторы, от которых зависит их существование. Это в первую очередь космический фактор — солнечная энергия, но также полезные ископаемые, почвы и прочие естественные производительные силы. Однако, изучая их, нельзя понять законы техногенеза. Внешние факторы приводят в движение мощные внутренние «механизмы» (противоречия), которые определяют сущность техногенеза, его развитие. Это законы исторического материализма, законы социальной формы движения². Но поскольку для техногенных систем характерны и все низшие формы движения, они должны изучаться также методами естественных наук, в том числе геохимии.

Уровни организации техногенеза. Для техногенеза характерны различные уровни организации: от наиболее простых систем — техногенных (культурных, антропогенных) ландшафтов до всей области планеты, охватяе-

² См.: Белик А. П. Социальная форма движения. М.: Наука. 1982.

пой техногенной миграцией. К техногенным системам относятся города, сельские местности, курорты и т. д., геохимия которых должна стать предметом специальных исследований, особенно в связи с проблемой охраны природной среды. Объектом геохимии техногенеза могут быть и еще более крупные системы — ранга отдельных экономических районов, целых стран, группы стран и т. д. Естественно, что при изучении этих вопросов геохимия тесно соприкасается с общественными науками. Отметим, что первые шаги в данном направлении связаны с именем А. Е. Ферсмана.

Среди техногенных систем есть близкие аналоги природных систем, к которым, например, относятся некоторые культурные почвы — распаханнные черноземы и др. Но есть и принципиально новые системы, которых не было в биосфере, например города. Иерархия техногенных систем по уровням организации не разработана, но, несомненно, на этой основе возможно выделение самостоятельных научных направлений. Так, в стадии становления геохимия городов, которая в связи с ее огромным практическим значением должна в ближайшие годы получить значительное развитие. К другим направлениям отнесится геохимия оазисов (орошаемых территорий в пустынях и степях), осушаемых территорий, дорожных ландшафтов, водохранилищ и т. д. При геохимической систематике техногенных систем, очевидно, необходимо учитывать все виды миграции, но высшие таксоны следует выделять на основе социально-экономических критериев, а низшие — по особенностям биогенной, физико-химической и механической миграции.

Оптимизация техногенеза. При данном уровне развития производительных сил вполне возможно оптимальное использование окружающей среды, когда, с одной стороны, получается хозяйственный эффект, а с другой — не происходит загрязнения среды, обеспечивается рост производительных сил до уровня, недоступного в природе. Важнейшая практическая задача геохимии и других наук состоит в установлении оптимальных техногенных систем для различных природных районов. Так, оптимальному культурному ландшафту присущи положительные геохимические особенности многих природных ландшафтов. Например, оазис сочетает преимущество пустыни (изобилие тепла и света, плодородие почв) с положительными качествами лесного ландшафта (изобилие воды). В лесной зоне в противоположность пустыне выпадает

много атмосферных осадков, однако недостаток химических элементов в почвах снижает продуктивность сельского хозяйства. Используя минеральные удобрения, подкормку животных, осушая болота, мобилизуя внутренние ресурсы ландшафта, человек обеспечивает растения и домашних животных необходимыми элементами, т. е. создает культурный ландшафт с оптимальным геохимическим режимом, в котором сочетаются положительные качества как лесного ландшафта (изобилие влаги), так и степного (плодородие почв).

В оптимальном культурном ландшафте могут быть созданы геохимические условия, вообще в природе не встречающиеся. Например, после осушки торфяных болот возникает почва, в которой значительное количество органического вещества в виде торфа сочетается с резко окислительной средой, что не имеет места в биосфере.

Оптимальный культурный ландшафт должен быть наилучшим в гигиеническом отношении, не быть загрязненным. Современная гигиена выработала требования к составу воды, пищи, воздуха, оптимальные нормы потребления различных соединений. В природном ландшафте эти условия и нормы часто не достигаются: если местные продукты питания полностью обеспечивают человека одной группой химических элементов, то другие могут находиться в недостатке, а некоторые в избытке. В культурном ландшафте, использующем природные ресурсы не только данного района, но и других, часто отдаленных, возникает возможность создания оптимальных условий для жизни человечества. Таким образом, в одном культурном ландшафте можно создать благоприятные условия, характерные для многих природных ландшафтов, и, наоборот, в нем могут отсутствовать неблагоприятные особенности, свойственные данному природному ландшафту.

Наконец, культурный ландшафт должен удовлетворять эстетическому запросу — быть красивым.

К сожалению, теории культурного ландшафта и, в частности, его геохимия разработаны слабо, хотя необходимость подобного исследования очевидна. На смену старым противоречиям в культурном ландшафте приходят новые, которые служат движущей силой его развития. Задача состоит в том, чтобы изучить эти специфические противоречия.

Обратные связи и центр. В техногенных системах огромное значение приобретает обратная связь, осуществ-

ляемая в процессе передачи информации. Это управляемые системы.

Исключительно характерны (и часто нежелательны) положительные обратные связи. Например, в прошлом вырубка лесов с целью распашки почв часто приводила к их эрозии и росту оврагов, т. е. уничтожению пашни. Это заставляло вырубать новые массивы леса, что еще более усиливало эрозию почв и оврагообразование. В наше время подобные явления стали еще более распространенными, к ним относятся загрязнение окружающей среды, пыльные бури и наводнения и т. д. В связи с этим явление механизма положительных обратных связей особенно актуально, так как только на этой основе возможно решение проблемы окружающей среды. Для преодоления многих нежелательных явлений необходимо усиливать роль отрицательных обратных связей, позволяющих стабилизировать систему, сделать ее саморегулируемой, оптимальной.

Техногенные системы по своей сущности в большей степени, чем системы биосферы, представляют собой централизованные системы. Для их нормального функционирования, для оптимизации необходим центр, из которого осуществляется управление. Однако многие системы децентрализованы, т. е. имеют много центров, причем каждый из них выполняет функции управления независимо от другого. Отсутствие единого центра управления, единого плана, учитывающего не только интересы отдельных отраслей производства, но и всего общественного производства в целом, и приводит к ослаблению роли отрицательных обратных связей, к «непредвиденным последствиям», загрязнению среды и т. д. Поэтому с системных позиций централизация техногенных систем и, в частности, культурных ландшафтов составляет одну из самых важных практических задач организации территории: в каждом культурном ландшафте или группе ландшафтов должны быть самостоятельные центры управления, регулирующие взаимоотношения между частями, решающие задачи оптимизации окружающей среды.

Принцип природного моделирования. В последние десятилетия, когда выявилось огромное значение проблемы окружающей среды, началось быстрое изучение техногенной миграции. К сожалению, слабое развитие данного раздела геохимии в прошлом не привело к разработке теории, которая создала бы достаточную базу для решения практических вопросов в современную эпоху. Однако пас-

сивно ожидать, когда такая теория будет разработана, было нельзя, и естественно, что наука пошла по хорошо известному пути аналогий, построения моделей, использования опыта смежных разделов науки. Так было установлено, что моделью техногенной миграции от локального источника (предприятия, города и т. д.) может служить разрушающееся рудное месторождение с характерными для него ореолами рассеяния. Это позволило использовать при изучении техногенеза хорошо разработанную теорию геохимических поисков рудных месторождений.

Вторая модель техногенной миграции связана с геохимией ландшафта. Методологию и конкретные методы изучения природных ландшафтов оказалось возможным использовать и при изучении техногенных (культурных, антропогенных) ландшафтов.

В качестве одного из центральных понятий геохимии техногенеза автор выдвинул техногенную геохимическую аномалию, под которой понимается участок с повышенным или пониженным содержанием химических элементов (относительно местного природного геохимического фона). Появление техногенных аномалий связано с деятельностью рудников, заводов, электростанций, транспорта и т. д., причем каждый такой объект может рассматриваться как эпицентр техногенной аномалии.

В середине 30-х годов в нашей стране геофизики и геохимики (Н. И. Сафролов и др.) разработали весьма эффективные геохимические методы поисков месторождений полезных ископаемых, которые ныне приобрели очень большое практическое значение во всем мире. Эти методы основаны на выявлении и оценке геохимических аномалий в почвах, корках выветривания, осадочных и других горных породах, водах, атмосфере, растительности. Теория этого вопроса, изложенная в трудах В. Л. Барсукова, С. В. Григоряна, Л. Н. Овчинникова, Н. И. Сафролова, А. А. Саукова, А. П. Соловова и других геохимиков, составляет содержание особого раздела прикладной геохимии. Такие природные аномалии, образующиеся на участках разрушающихся месторождений полезных ископаемых, могут служить моделью техногенных аномалий. Размеры техногенных аномалий колеблются в очень широких пределах. Рационально различать глобальные аномалии, охватывающие весь земной шар или большую его часть. Их примером служит повышенное содержание углекислого газа в атмосфере в результате сжигания угля и нефти.

Региональные техногенные аномалии распространяются на части материков, отдельные страны, области, зоны, провинции. Они, например, возникают в результате массового применения минеральных удобрений, ядохимикатов. Локальные техногенные аномалии связаны с конкретным эпицентром (рудником, заводом и т. д.), их радиус не превышает десятков километров. К числу локальных аномалий относятся и повышенные содержания металлов в почвах и водах вокруг некоторых металлургических комбинатов. Пространство, занимаемое локальной аномалией, именуется техногенным ореолом рассеяния.

В связи с проблемой загрязнения окружающей среды все техногенные аномалии можно разделить на полезные, вредные и нейтральные. К первому типу относятся аномалии, улучшающие окружающую среду. Их примером служит повышенное содержание кальция в районах известкования кислых почв. На создание положительных аномалий направлено йодирование поваренной соли в районах развития эндемического зоба, фторирование питьевой воды в городах с широким распространением кариеса, применение молибденовых, борных, цинковых и других микроудобрений, кобальтовой и прочей подкормки домашних животных.

К вредным относятся аномалии, ухудшающие условия существования человека, растений и животных. Эти аномалии привлекают большое внимание в связи с загрязнением атмосферы в городах, отравлением рек ртутью и т. д. Особенно катастрофическое положение создается в некоторых густонаселенных районах США, Японии, ФРГ. До сих пор эти вопросы рассматривались преимущественно с позиций биологических наук, в связи с чем законы образования аномалий изучены недостаточно. Здесь открывается большое поле деятельности для геохимиков, особенно специалистов по геохимии ландшафта. Нейтральные техногенные аномалии не оказывают определенного влияния на здоровье.

Как и в теории геохимических поисков, техногенные аномалии можно разделить на литохимические (в почвах, породах, строительных), гидрогеохимические (в водах), атмогеохимические (в атмосфере) и биогеохимические (в организмах). Последние, в свою очередь, представлены фито-, зоо- и антропогеохимическими аномалиями. Вредные аномалии в организме человека, например наблюдавшиеся в некоторых местах Японии повышенные концентрации кадмия и ртути, являются, естественно, самы-

ми опасными. Известны новые болезни, получившие специальные наименования, — «болезнь Минамата» от избытка ртути в среде (по названию местности, где она впервые была установлена).

Техногенными зонами выщелачивания именуются участки, в которых под влиянием техногенной миграции происходит выщелачивание подвижных элементов. Подобные зоны возникают при вскрытии рудных тел и угольных пластов, богатых пиритом. Окисление пирита кислородом, проникающим в шахту, приводит к образованию серной кислоты, которая выщелачивает металлы (в том числе разрушает металлические предметы в шахтах). Кислый водоотлив шахт — важная и сложная проблема многих рудных районов. Подобные зоны возникают и при добыче полезных ископаемых методом подземного выщелачивания. С геохимических позиций соответствующие явления изучены слабо, что опять-таки грозит нежелательными последствиями (загрязнением среды или неполным извлечением полезного компонента). Процессы техногенного выщелачивания должны быть объектом специального исследования.

Итак, использование прикладной науки о геохимических поисках полезных ископаемых, а также геохимии ландшафта позволяет строить модели техногенной миграции.

Техногенные системы, биосфера и земная кора. Несомненно, часть процессов в техногенных системах направлена в ту же сторону, что и в биосфере и в земной коре. Например, никель и хром концентрируются в породах мантии. В земной коре они преимущественно рассеиваются, еще большее рассеяние наблюдается в биосфере и максимальное — в техногенезе, где быстро отрабатываются месторождения хромовых и никелевых руд. Тенденция к рассеянию в техногенезе характерна и для большинства других химических элементов.

С ходом геологического времени возрастала работоспособная («действенная» по В. И. Вернадскому) энергия биосферы, и эту же тенденцию мы наблюдаем в техногенезе, где не только используются огромные энергетические ресурсы биосферы (уголь и др.), но и работают такие небюсферные источники энергии, как атомная энергия.

Развитие Земли, несомненно, сопровождалось усложнением структуры ее верхней части, увеличением разнообразия. Все это мы теперь объединяем в понятие «пи-

«формация», и, следовательно, можно написать следующий ряд увеличения информации и усложнения ее качества: мантия → земная кора → биосфера → техногенные системы (ноосфера).

Наряду с таким унаследованным развитием в ноосфере наблюдаются противоположные тенденции, «отрицающие» процессы биосферы и земной коры. Так, для земной коры и биосферы характерна концентрация меди, свинца, цинка, серебра, ртути и других металлов. Все они образуют крупные месторождения, которые усиленно разрабатываются. То, что природа накопила за сотни миллионов лет, например залежи угля, человечество рассеивает за сотни лет. В техногенезе обратные связи приобретают ведущее значение, причем положительные обратные связи явно преобладают над отрицательными.

С этим, с одной стороны, связана быстрая эволюция культурных ландшафтов, а с другой — загрязнение окружающей среды, непредвиденные последствия хозяйственной деятельности. Следовательно, в будущем можно предвидеть усиление роли отрицательных обратных связей, повышающих устойчивость и самоорганизацию систем. Это позволяет наметить последовательность эволюции связей за время геологического и исторического этапа: прямая связь → положительная обратная связь → отрицательная обратная связь.

Конечно, все три вида связи существовали уже на первых этапах развития биосферы, но роль их была неодинаковой. Со временем связи совершенствовались, возросла роль сначала положительных, а позднее и отрицательных обратных связей. Это способствовало усилению целостности, устойчивости, самоорганизации биосферы и техногенных систем.

Мерилом развитости систем служит их информационная характеристика: в более развитой системе структура сложнее, связи совершеннее, качество информации выше, разнообразие больше. В ней больше накапливается действенной (работоспособной) энергии, система более неравновесна. Иначе говоря, чем развитее система, тем больше в ней негэнтропийных процессов.

Хорошим критерием развитости является степень совершенства связей. Например, в пустыне, где живого вещества мало и биологический круговорот ослаблен, химический состав грунтовых вод сравнительно мало зависит от почвенных процессов, кора выветривания слабо свя-

зана с почвой. Во влажных тропиках, где энергично работает живое вещество, наблюдается тесная зависимость грунтовых вод от почв и коры выветривания, коры выветривания от почв. Следовательно, влажные тропики — более развитый ландшафт, чем пустыня.

Если в ходе изменения систем растет количество и качество информации, накапливается действенная энергия, уменьшается энтропия (растет негэнтропия), то такое изменение можно назвать прогрессивным геохимическим развитием. Оно часто происходит при неизменных внешних условиях — при стабильном климате, тектоническом покое и т. д. (например, постепенное становление растительного покрова на участке обнажившегося морского дна при регрессии моря или при зарастании эоловых песков).

При регрессивном геохимическом развитии усиливаются энтропийные процессы — уменьшаются сложность, разнообразие, неравновесность и т. д. Так, образование пояса гор на юге Азии в период альпийской складчатости привело к иссушению климата Центральной Азии и превращению степей и саванн миоцена в современные пустыни, т. е. к регрессивному развитию. Регрессивное развитие вызывается также похолоданием (наступлением тундры на лес), развеванием песков, засолением почв и т. д. Внутренние противоречия системы также могут быть причиной регресса (например, заболачивание тайги). За время геологической истории преобладало прогрессивное развитие земной коры и биосферы.

Итак, в биосфере и техногенных системах по мере прогрессивного развития усиливаются как энтропийные, так и негэнтропийные процессы, скорость их также возрастает. Для техногенеза особенно специфично уменьшение энтропии (рост негэнтропии). «Ни в одной системе космоса мы не встречаемся с такими реакциями, которые бы шли столь очевидно в разрез с законом энтропии», — писал А. Е. Ферсман о техногенезе³. Однако здесь нет нарушения второго закона термодинамики, так как уменьшение энтропии (рост негэнтропии) компенсируется колоссальным увеличением энтропии в биосфере и земной коре (сжигание горючих ископаемых, отработка рудных месторождений и т. д.).

Осуществляя техногенную миграцию, человечество

³ Ферсман А. Е. Геохимия. Л.: ОНТИ Химтеорет, 1937. Т. 3. С. 433.

еще плохо изучило ее законы, те новые явления, которые стали возникать на нашей планете. Что же принесла человечеству новая геохимия Земли? Что она сулит ему в обозримом будущем? Эти вопросы затрагивают интересы всего населения земного шара, тесно связаны с материальным и духовным уровнем жизни людей, с их здоровьем и долголетием. Это еще раз подчеркивает важность геологического, географического и геохимического анализа деятельности человечества.

Геохимические барьеры

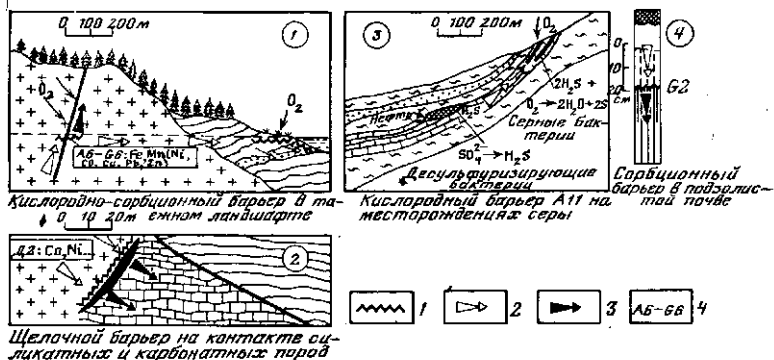
В науках о Земле много внимания уделяется широко распространенным географическим и геологическим обстановкам, охватывающим большую часть земной коры. Это Мировой океан, гранитные массивы, ландшафтные зоны и т. д. Однако опыт самой науки и потребности практики показали, что необходимо изучать и границы между обстановками, занимающие ничтожную часть земной коры. Среди этих границ наибольшее значение имеют геохимические барьеры, понятие о которых автор сформулировал в 1961 г. Это участки земной коры, в которых на коротком расстоянии происходят резкое уменьшение интенсивности миграции химических элементов и, как следствие, их концентрация. Конечно, на участке барьера тоже имеются определенные геохимические обстановки, но они сменяют друг друга на коротком расстоянии. Таким образом, здесь играет роль размер: обстановки занимают большое пространство, барьеры — малое. Поэтому на картах обстановки характеризуются контурами, барьеры — линиями. В коре выветривания, например, горизонты (обстановки) имеют мощность, измеряемую метрами, а резкие границы между горизонтами — барьеры — сантиметрами. Однако барьеры могут иметь ширину, измеряемую метрами и сотнями метров (например, в водоносных горизонтах), но тогда и обстановки измеряются километрами и десятками километров. Следовательно, важна не абсолютная ширина барьера, а ее соотношение с размерами примыкающих геохимических обстановок.

Аналогично понятиям о макро- и микроклимате, макро-, мезо- и микрорельефе рационально говорить о макро-, мезо- и микробарьерах. Так, зона смещения пресных речных вод с солеными морскими в дельтах представляет собой макробарьер шириной в сотни и тысячи метров

(при длине рек и размерах морских акваторий в тысячи километров). Рудные тела в водоносных горизонтах артезианских бассейнов имеют ширину десятки и сотни метров (мезобарьер). Рудные прожилки мощностью несколько сантиметров и миллиметров относятся к микробарьерам.

Геохимические барьеры формируются на дне морей, океанов, в речных долинах, подземных водах, почвах и т. д. Причины их образования различны: понижение температуры и давления, смещение вод, изменение горных пород, по которым мигрируют воды, и т. д. Однако при всем разнообразии геологических условий формирования барьеров их геохимическая сущность часто одинакова, число видов невелико.

Обращаясь к понятию «геохимический барьер», следует отметить, что здесь речь идет не о новом, впервые открытом явлении. То, что теперь именуем геохимическим барьером, несомненно, привлекало внимание исследователей и ранее, в частности при изучении условий образования минералов и руд. Это особенно относилось к тем трудам, где трактовались процессы осаждения элементов из вод. Близким к геохимическим барьерам было представление Л. В. Пустовалова о «зонах геохимического противоречия» в илах. Правда, ученый не отмечал в качестве характерного признака этих зон концентрацию элементов (что обязательно для барьеров). По Л. В. Пустовалову, данные зоны означают то, что А. Е. Ферсман называл зоной гипергенеза. Однако ранее все эти явления концентрации элементов рассматривались изолированно, как частные случаи, как предмет разных наук: минералогии, литологии, почвоведения, науки о рудных месторождениях и т. д. Вместе с тем в почвах, в илах морей и океанов, в корах выветривания, в водоносных горизонтах артезианских бассейнов, в горячих подземных водах зон разломов и в других системах земной коры протекают сходные процессы концентрации элементов, что и позволило установить общие типы таких процессов, сформулировать понятие о геохимическом барьере, которое мы отнесем к фундаментальным понятиям геохимии. Это понятие заслуживает философского анализа. В «геохимическом барьере» особенно следует подчеркнуть момент изменения — ту зону, где одна геохимическая обстановка сменяется другой. Между понятиями «геохимический барьер» и «геохимическая обстановка» имеется глубокая связь: уменьшение пространства, занимаемого обстанов-



Геохимические барьеры

1 — геохимические барьеры; 2, 3 — движение химических элементов: 2 — к барьеру, 3 — от барьера, 4 — символ барьера.

кой, приводит к переходу количества в качество, обстановка превращается в барьер (и наоборот). В методологическом отношении вопрос о геохимических барьерах тесно связан с проблемой пространственных границ, особенно привлекающей внимание географов, которые даже ставят вопрос о развитии особой отрасли науки — лимнологии (науки о географических границах) ¹.

Сначала теория геохимических барьеров разрабатывалась преимущественно при изучении ландшафтов и гидротермальных урановых месторождений. В этой области был получен большой фактический материал, сделаны теоретические обобщения и практические выводы. В последние годы геохимические барьеры привлекли внимание геологов и геохимиков, изучающих гидротермальные рудные месторождения (В. Л. Барсуков, Г. Б. Наумов, В. Н. Фомичев), гидротермалогам (А. С. Хасанов, Н. Ф. Глазовский), океанологам (Е. М. Емельянов). Физикохимик В. С. Голубев разработал количественную теорию, так называемых подвижных геохимических барьеров.

Кислородный геохимический барьер. В глубинах Земли, как правило, нет свободного кислорода, и многие эле-

¹ См.: Саушкин Ю. Г. Объективные законы диалектического взаимодействия различных форм движения материи, времени, земного пространства // Изв. ВГО. 1980. Т. 112. № 6. С. 3-16; Географические границы. М.: Изд-во МГУ, 1982; Поляков Б. В. Принципы проведения границ естественных тел на биосферном уровне организации вещества // Вестн. МГУ. Сер. 5. География. 1981. № 4. С. 33-45.

менты там находятся в восстановленном состоянии. В одних районах подземные воды содержат сероводород, в других — двухвалентные железо и марганец. Иногда такие воды встречаются и на земной поверхности — в болотах, в илах озер и морей. Теперь представим, что восстановленные воды соприкасаются с кислородными водами вблизи поверхности или же выходит на земную поверхность и встречаются с кислородом воздуха. В таких местах происходит резкая смена условий, среда становится резко окислительной, возникает кислородный барьер.

При встрече сероводородных вод с кислородными сероводород окисляется, образуется элементарная сера, которая в виде желтых крупных кристаллов заполняет трещины в горных породах. Сероводород в этом процессе окисляют особые бактерии, для которых данная реакция играет роль дыхательного акта. В некоторых районах СССР поднятие сероводородных вод к поверхности происходило в течение многих тысячелетий, и там образовались серные месторождения. Одно из них — знаменитые Серные бугры — было открыто академиком А. Е. Ферсманом в центре Каракумской пустыни в 1925 г. На кислородном барьере сформировались и серные месторождения Прикарпатья (Раздол), Ферганской долины (Шорсу), Юго-Восточной Туркмении (Гаурдак).

Значительные количества серы на кислородном барьере накапливаются только в зонах разломов, водоносных горизонтах артезианских бассейнов, однако принципиально тот же процесс протекает в почвах, илах, на выходах сероводородных источников, где бактерии также окисляют сероводород с образованием крупинок самородной серы. На этом примере мы еще раз убеждаемся в необходимости понятия о геохимическом барьере, которое охватывает обстановки, изучаемые разными науками. Существенно, что барьер в почвах, на выходах источников, легко доступен для изучения и, следовательно, может служить геохимической моделью рудообразования, протекавшего в былые геологические периоды.

В местах, где на земную поверхность выходят бескислородные воды, обогащенные железом и марганцем, тоже возникает кислородный барьер. Но здесь уже осаждаются не желтая сера, а черные, красные, бурые гидроокислы железа и марганца, образующие желваки, плиты, конкреции. Так, в озерах и болотах местами образуются «озерные» и «болотные руды». Раньше такие руды добывались у нас в Карелии. «Озерные» и «болотные руды», образо-

вавшиеся в прошлые геологические эпохи, добывают и в других частях нашей страны и в зарубежных странах. В тропиках и в настоящее время на кислородном барьере образуются «латеритные железные руды». Этот барьер можно наблюдать на любом болоте, на выходе источников, где из железистых вод осаждаются на поверхности красные, рыжие, охристые пленки гидроокислов железа. В окислении железа и марганца на кислородном барьере также принимают участие особые виды бактерий («железобактерии» и др.).

И в этом случае мы имеем дело с природной моделью — кислородный барьер современных болот является моделью более грандиозных процессов, протекающих в иной геологической обстановке, но аналогичных по геохимической сущности.

Сероводородный геохимический барьер. Кислородные воды нередко проникают с земной поверхности в глубь земной коры по трещинам в горных породах или по песчаным пластам. Такие условия создаются, например, когда происходят поднятия отдельных участков земной коры. В кислородных водах легко мигрируют многие металлы: уран, молибден и др., образующие растворимые соединения. Количество их обычно невелико — всего десятитысячные и даже сотысячные доли грамма в 1 л воды. Но литров этой воды в недрах немало, и текла она не одну тысячу лет... В результате там, где нисходящие воды встречали сероводород или сероводородные воды, возникал сероводородный геохимический барьер, на котором осаждались металлы, образуя сульфидные и другие руды.

Сероводородный барьер возникает не только в водоносных горизонтах — он характерен также и для илов многих морей и соленых озер, где работают микроорганизмы, восстанавливающие сульфаты. Если в морскую воду попадает повышенное количество металлов (с речной водой, из подводных вулканов, подземных вод и т. д.), то они осаждаются на восстановительном барьере, илы становятся металлоносными. В прошлые геологические эпохи местами осаждение металлов в илах происходило на огромных площадях, возникали глины и сланцы, обогащенные медью, свинцом, молибденом и другими металлами. Так образовались некоторые руды, пласты которых тянутся на многие километры. В Мансфельде (ГДР) уже многие десятилетия разрабатываются «медистые сланцы», содержащие, кроме меди и свинца, другие

металлы. Их осаждение происходило в пермском периоде, т. е. около 250 млн лет назад. Известны такие месторождения и в Польше. Но самое грандиозное накопление металлов происходило в морях начала палеозойской эры — в кембрии и ордовике (около 500 млн лет назад). Рудоносные отложения этого возраста широко распространены в Европе и Азии, в Северной и Южной Америке, в Австралии. В большинстве стран пока еще имеются более богатые руды и сланцы нижнего палеозоя не разрабатываются. Но общие запасы металлов в них грандиозны. Недаром академик С. С. Смирнов назвал эти сланцы рудами будущего.

Если сам факт накопления металлов в плах не возбуждает каких-либо сомнений, то причины распространения этого явления только в определенных районах и в определенные эпохи во многом загадочны. Особенно это относится к таинственным нижнепалеозойским морям. И опять обнаруживаются уже знакомые нам соотношения. Один и тот же вид геохимического барьера — сероводородный — формируется в различных системах земной коры, являющихся объектом изучения разных наук. Здесь также можно использовать природное моделирование.

Зональная концепция в географических науках. Типичное и нетипичное в географии и геологии. Открытие природной зональности сыграло огромную роль в прогрессе многих естественных наук. В начале XIX столетия А. Гумбольдт установил зональность растительного покрова и на этой основе построил здание географии растений. В конце того же столетия В. В. Докучаев доказал, что зональность характерна также для размещения почвенного покрова и природы земной поверхности в целом (зональность ландшафтов). Первая половина XX столетия — триумф зональной концепции: было доказано, что зональности подчиняется также размещение речных, грунтовых и озерных вод, озерных илов, животного мира, конкреций и т. д. Эта замечательная концепция отвечала всем требованиям закона природы — она позволяла предвидеть, интерполировать. Особенно большие успехи были достигнуты в почвоведении. Открывшиеся возможности, естественно, направили главное внимание специалистов на изучение зональных типов почв, ландшафтов, растительного покрова. Это до известной степени определяло строй мышления ученых, методологию исследования, конкретные методики (при полевых исследованиях точки

наблюдения выбирались в типичных условиях — в центре контуров, образцы почв брались из середины горизонтов и т. д.).

Итак, формирование лесной, степной, луговой, болотной растительности, образование подзолистых, черноземных, красноземных почв и многие другие зональные процессы распространяются на значительные площади. Эти процессы нередко изотропны, контуры их распространения в плане изометричны. Подобное распределение процессов в дальнейшем будет именоваться площадным.

Наряду с площадным на земной поверхности существует строго анизотропное размещение, приуроченное к определенным линиям, занимающим сравнительно малые площади. Таковы участки перегибов склонов, контактов пород различного химического состава, зоны тектонических нарушений (разломы), выходы подземных вод на поверхность и др. Если участки первого типа на картах обычно изображаются контурами, то участки второго типа на мелкомасштабных картах могут быть изображены только линиями. В связи с этим подобное размещение процессов можно назвать линейным. Нередко линейное размещение возникает на границе двух площадных, в местах резкой смены геохимических условий, и представляет собой геохимический барьер. Известный советский геохимик и минералог И. И. Гинзбург ввел представление о площадной и линейной коре выветривания. Мы считаем возможным распространить эти термины и на другие образования ландшафта: линейные растительность, почвы и т. д.

Развитие географии, почвоведения, геоботаники и других наук преимущественно было направлено на изучение площадей, доминирующих в ландшафте. Соответствующие процессы изучены хорошо и всесторонне. Значительно меньше известно о процессах на линиях, например о почвах и растительности перегибов склонов, контактов пород, разломов. Подобные явления, как «нетипичные», нередко игнорировались.

Одна из главных задач геологических наук — изучение месторождений полезных ископаемых, которые, как правило, приурочены к малораспространенным, «нетипичным» условиям, линейным образованиям земной коры: разломам, контактам горных пород и т. д., т. е. к геохимическим барьерам. Наибольший практический интерес часто представляет именно нетипичное, о чем свидетельствует и термин «уникальное месторождение» (встречаю-

щеси очень редко или в одном-единственном месте, но зато обладающее грандиозными запасами). Поэтому в геологических науках одинаковое внимание уделяется как широко распространенным образованиям и процессам (например, гранитам, базальтам, известнякам и другим породам), так и редким, «нетипичным», относительно малораспространенным, но важным в научном и практическом отношении (рудным месторождениям, зонам разломов и т. д.).

«Нетипичные» почвы, растительные сообщества, ландшафты часто не только представляют научный интерес, но и важны в практическом отношении. Поэтому при геохимической классификации ландшафтов необходимо исходить только из свойств, особенностей ландшафтов. В данном случае имеется аналогия с классификациями других естественных объектов: растений, минералов, почв и т. д. Везде основу классификации составляют свойства самого объекта, а отнюдь не его географическое распространение или численность. Поэтому к единице одного и того же таксономического значения (типу, классу и т. д.) могут быть отнесены и преобладающие ландшафты, образующие целые зоны на поверхности суши, и относительно редкие, встречающиеся в немногих районах, на небольшой площади, на барьерах. Например, с точки зрения геохимической систематики в типе таежных ландшафтов к одному таксономическому рангу относятся и кислые таежные ландшафты, занимающие большую часть площади таежной зоны, и редкие сернокислые ландшафты, развитые в зонах разломов на участках сульфидных рудных жил. До сих пор главное внимание уделялось широко распространенным, «типичным» ландшафтам. Теперь настало время изучать и редкие, «нетипичные» ландшафты, как изучают редкие минералы, виды растений и животных. Помимо большого теоретического значения, подобное изучение важно и для практики, поскольку к числу «нетипичных», редких ландшафтов относятся участки месторождений полезных ископаемых, курорты и т. д.

Принцип историзма в изучении барьеров. Особенно сильно от современной эпохи отличались геохимические барьеры докембрия (свыше 570 млн лет назад).

Современная кислородная атмосфера Земли — продукт фотосинтеза, и ранее 2 млрд лет назад свободного кислорода практически не было (имеются представления и о большей древности кислородной атмосферы — 3 и даже

4 млрд лет назад). В то время в атмосфере и водах было много углекислого газа, воды содержали также растворенные органические соединения. Геохимическая обстановка в биосфере сильно отличалась от современной. Многие элементы вели себя по-иному: железо и марганец находились в восстановленном состоянии и легко мигрировали, т. е. вели себя как кальций, магний и другие двухвалентные катионы; никель, свинец, медь, кобальт тоже легко мигрировали в подобных водах. Такая геохимическая обстановка называется восстановительной глеевой.

С появлением зеленых растений возник фотосинтез, атмосфера постепенно обогатилась свободным кислородом, который стал энергично окислять Fe^{2+} , Mn^{2+} и другие восстановленные элементы. В результате в ландшафтах появились красные и бурые гидроокислы железа, столь привычные для нас теперь красные почвы и осадочные породы. Дату наступления этой окислительной обстановки (со свободным кислородом) точно установить пока трудно, хотя ясно, что это произошло еще в докембрии. Геологические данные говорят, что примерно 1,5 млрд лет назад, в рифее, на земной поверхности уже господствовала окислительная обстановка. Преобладает она и в современную эпоху. Таким образом, кислородные барьеры широко распространились в раннем докембрии. Однако глеевая обстановка не исчезла полностью и в наши дни наблюдается в болотах тайги, в тундре, во влажных тропиках, в илах многих озер, в глубоких горизонтах подземных вод. В тех местах, где кислородные воды встречали на пути своего движения глеевую обстановку, возникал восстановительный глеевый геохимический барьер, для которого характерно накопление тех химических элементов, восстановленные формы которых обладают плохой растворимостью (например, ванадий, уран и др.). Следовательно, и кислородные и глеевые барьеры появились на Земле более 1 млрд лет назад; очень характерны они и для современной биосферы.

С накоплением свободного кислорода началось окисление сульфидов, содержавшихся в изверженных породах, и в первую очередь самого распространенного сульфида — пирита (FeS_2). В поверхностных и грунтовых водах появились продукты окисления сульфидов — сульфаты, вернее, ион SO_4^{2-} . В породах стали накапливаться гипс ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) и другие сульфатные минералы. Сульфатные воды и породы, вероятно, нередко попадали в бес-

кислородную глеевую обстановку, где сульфаты могли восстанавливаться. В этих местах стал формироваться сероводородный восстановительный барьер. В прошлые геологические эпохи на этом барьере образовались многие рудные месторождения. Следовательно, в раннем докембрии на земной поверхности господствовала глеевая обстановка, позднее — окислительная, а вскоре возникла и сероводородная. Распространялись и связанные с ними геохимические барьеры: кислородные, глеевые, сероводородные. Ныне все три типа обстановок и три класса барьеров наблюдаются в земной коре и биосфере.

Большое влияние на формирование геохимических барьеров оказывали и тектонические условия — на участках поднимающихся блоков земной коры усиливалась роль кислородных барьеров, на участках опускающихся — глеевых и сероводородных.

Наиболее изучены в геологическом и геохимическом отношении последние 570 млн лет истории земной коры (фанерозой). За это время в одних и тех же регионах неоднократно менялись климатические и тектонические условия, что приводило и к смене геохимических барьеров. Например, в ландшафтах Средней Азии в начале юрского периода (около 190 млн лет назад) широко были распространены глеевые и кислородные барьеры, а в конце этого периода (около 130 млн лет назад) — испарительные, которых не было в начале юры. Глеевые барьеры сменились сероводородными.

Классификация геохимических барьеров. Понятийный аппарат. В основу систематики барьеров автор положил типы миграции химических элементов, т. е. формы движения материи. По степени сложности выделяются четыре основных типа барьеров. Наиболее простые — механические барьеры — участки резкого уменьшения интенсивности механической миграции. К ним приурочены различные продукты механической дифференциации осадков. В местах уменьшения интенсивности физико-химической миграции в результате изменения температуры, давления, окислительно-восстановительных, щелочно-кислотных и других условий формируются физико-химические барьеры. Биогеохимические барьеры обязаны уменьшению интенсивности биогенной миграции. К ним относятся угольные залежи, торф, концентрации многих элементов в телах организмов (кальций и фосфор в скелете, йод — в водорослях и питовидной железе и т. д.). Техногенные геохими-

ческие барьеры образуются в результате техногенной миграции.

Подобно тому как каждая высшая форма движения материи содержит в себе и низшие, так и более сложные процессы образования геохимических барьеров включают в себя менее сложные. Например, в образовании техногенных барьеров могут участвовать механические, физико-химические и биогенные процессы, но сущность данных барьеров не понять без учета особенностей социальной формы движения.

Главное внимание исследователей до сих пор привлекали физико-химические барьеры. Они классифицируются по тому фактору, который обуславливает концентрацию элементов. Это позволило выделить восемь основных классов барьеров, обозначаемых буквами латинского алфавита. Три класса нам уже известны — это кислородные (А), сероводородные (В) и глеевые (С) барьеры. К ним добавляются щелочные (D) в местах резкого повышения рН вод, кислые (Е) — в местах понижения рН, испарительные (F), сорбционные (G), термодинамические (H) — в местах изменения давления и температуры.

Эти классы барьеров детально изучены в ландшафтах, слабее — в водоносных горизонтах артезианских бассейнов, глубоких частях зон разломов. В результате был расширен понятийный аппарат, характеризующий геохимические барьеры. Различаются мощность и градиент барьера, выделены инфильтрационные и диффузионные барьеры, радиальные и латеральные, комплексные, совмещенные и двусторонние, подвижные и пр.

Минералообразование на барьерах. Большая часть минералов образуется на физико-химических барьерах при осаждении элементов из природных вод. Так, на кислородных барьерах образуются гидроокислы железа и марганца (гетит, гидрогетит, псиломелан и др.), самородная сера. С сероводородными барьерами связана концентрация большой группы сульфидов, в том числе пирита, галенита, сфалерита и т. д. На глеевом барьере осаждаются сидерит, самородные медь и золото, многие другие минералы.

Очень разнообразны минералы щелочных барьеров: карбонаты, фосфаты, арсенаты, гидроокислы и т. д. На кислых барьерах накапливаются минералы кремнезема, некоторые минералы молибдена, титана. Многие минералы осаждаются на испарительных барьерах, к ним относятся легкорастворимые хлориды, сульфаты, карбонаты,

питраты и др. С термодинамическими барьерами связаны некоторые формы кальцита (травертины и др.).

На биогеохимических барьерах также происходит минералообразование, минералы при этом приобретают органическую текстуру. Такие образования именуются биолитами (опал в травах, арагонит в раковинах и т. д.).

Минералообразование на техногенных барьерах еще слабо изучено.

Рудные месторождения образуются на барьерах. От чего же зависит накопление химических элементов на барьере, и в частности образование руд? Таких условий несколько. Необходимо, чтобы содержание рудного элемента в водах перед барьером значительно превышало его содержание после барьера. Иначе говоря, на барьере должен осаждаться почти весь рудный элемент, содержащийся в воде. С другой стороны, не должны осаждаться макроэлементы, составляющие большую часть растворенного вещества. Если на барьере наряду с рудными элементами осаждаются сопутствующие (перудные), то они своей большой массой подавляют рудообразование или вообще исключают накопление рудных элементов. Следовательно, осаждение на барьере перудных минералов (кальцита, гипса, опала и др.) не должно происходить. Если оба условия соблюдены, то даже из вод с кларковым количеством рудных элементов (в геохимии такие воды именуются фоновыми) возможно рудообразование. Этот вопрос заслуживает специального внимания. Дело в том, что в науке о рудных месторождениях большое значение приобрела проблема источника металлов, происхождения рудоносных растворов, т. е. вод, обогащенных рудными элементами. Однако теоретический анализ позволяет предполагать, что особые рудоносные растворы, обогащенные металлами, не обязательны для рудообразования. Оно может происходить и из небогатых вод при наличии геохимического барьера с благоприятными параметрами. Этот вывод основан на опыте изучения гидротермальных урановых месторождений.

Отметим еще один фактор рудообразования — длительность процесса, который, возможно, при образовании некоторых месторождений приобретает решающее значение. Геологическая практика давно установила, что при поисках на открытие одного крупного месторождения приходится десятки открытий мелких, малоперспективных месторождений, сотни и тысячи рудопроявлений, т. е. скоплений руды, не образующих рудных тел, кото-

рые выгодно отрабатывать. При этом геохимические условия нахождения руд существенно не меняются или даже оказываются идентичными. Так, в нашей стране и за рубежом известны тысячи рудопроявлений и непромышленных месторождений типа медистых песчаников. Промышленные же месторождения единичны. То же можно сказать и о месторождениях цинка, свинца, никеля, кобальта, молибдена, железа и т. д. Весьма вероятно, что в этих случаях нередко решающее значение имела длительность рудообразования — длительность работы геохимического барьера. Поэтому при изучении месторождений необходимо обращать внимание на продолжительность развития блоков земной коры, к которым приурочены рудные месторождения.

Понятие о геохимических барьерах является одной из методологических основ изучения процессов образования руд, а следовательно, и решения такого важного практического вопроса, как прогнозирование месторождений полезных ископаемых, т. е. выделения района для поисков данного типа руд. На этой основе намечается возможность прогнозирования новых генетических типов рудных месторождений, еще неизвестных в природе.

Автор предложил классифицировать рудообразование в биосфере по типам миграции и геохимическим барьерам. Выделяются четыре группы рудообразования, обязанные механической, физико-химической, биогенной, техногенной миграции.

I. Механические процессы рудообразования. На различных таксономических уровнях эта группа выделяется в классификациях многих исследователей. Сюда относятся россыпные месторождения золота, платины, алмазов, циркония, тория, титана, отчасти урана, а из неметаллических полезных ископаемых — многочисленные месторождения гравия, песков, глин и других строительных материалов. Геохимические принципы расчленения этой группы на более мелкие таксоны не разработаны.

II. Физико-химические процессы рудообразования. Эти процессы в биосфере связаны с деятельностью природных вод, состав которых преимущественно обусловлен работой живого вещества. Однако непосредственный механизм рудообразования в основном подчиняется физико-химическим закономерностям — законам осаждения нерастворимых соединений, сорбции, испарительной концентрации и т. д. Данная группа на геохимической основе разделяется на типы, классы и виды рудообразования.

Выделяются два типа: остаточное рудообразование; рудообразование, обязанное отложению элементов из вод на геохимических барьерах.

К первому типу относятся алювиальные бокситы, железные и марганцевые руды коры выветривания, руды редких земель в коре выветривания щелочных пород, гипс в «гипсовой шляпе» и др. Этот тип на классы и виды пока не расчленяется.

Второй тип включает в себя множество процессов рудообразования, с которыми связана концентрация многих химических элементов. Этот тип расчленяется на классы по характеру геохимических барьеров, с которыми связана концентрация рудных элементов: А — рудообразование на кислородных барьерах (железо, марганец, сера и др.); В — рудообразование на сероводородных и сульфидных барьерах (железо, медь, свинец и др.); С — рудообразование на глеевых барьерах (уран, молибден, селен и др.); D — рудообразование на щелочных барьерах (медь, цинк, магний и др.); Е — рудообразование на кислых барьерах (молибден, уран, селен и др.); F — рудообразование на испарительных барьерах (легкорастворимые соли); G — рудообразование на сорбционных барьерах; H — рудообразование на термодинамических барьерах.

III. Биогенные процессы рудообразования. Эти процессы играют ведущую роль в формировании месторождений угля, торфа, горючих сланцев и, возможно, нефти. Их роль в рудообразовании менее значительна, причем к биогенным следует относить только такие руды, которые непосредственно образовались из остатков живых организмов. Концентрация элементов в этом случае происходила в телах организмов в процессе их жизнедеятельности. Биогенными являются многие агрономические руды, например гуано (азот и фосфор) на островах у побережья Перу и в других местах, некоторые фосфориты, месторождения серы.

IV. Техногенные процессы рудообразования. Вопрос о создании искусственных месторождений полезных ископаемых обсуждается уже давно, с этой целью необходимо создавать техногенные геохимические барьеры. Они относятся к различным классам — от А до H.

Систематика рудообразования на основе понятия о геохимических барьерах представляется рациональной, возможности научного анализа и синтеза здесь далеко не исчерпаны. Они могут быть использованы и при система-

тике гидротермального и прочего рудообразования. Общий вывод: рудообразование необходимо изучать с позиций понятия о геохимическом барьере, в рудах видеть проявление определенного барьера, прогнозировать на этой основе новые генетические типы рудообразования. Теория геохимических барьеров — составная часть общей теории рудообразования.

Прикладное значение теории геохимических барьеров. Эта теория используется при прогнозировании и поисках рудных месторождений, в строительстве, в борьбе с загрязнением окружающей среды.

Один из главных практических вопросов, на который должна ответить геология, — где искать месторождения полезных ископаемых? Для ответа на него надо знать, как образуются месторождения, т. е. необходима теория рудообразования. Важную роль в ее построении, как мы убедились, играет понятие о геохимических барьерах. Благодаря изучению барьеров в водоносных горизонтах в СССР в 60-х годах была разработана энигенетическая теория образования гидrogenных урановых месторождений, на основе которой были открыты месторождения, не имеющие выходов на земной поверхности (так называемые «слепые»).

Техногенные геохимические барьеры можно использовать для создания искусственных месторождений полезных ископаемых. Человечество в этом отношении имеет некоторый опыт, так как уже в древности с помощью дамб отгораживали небольшие участки моря, где происходило усиленное испарение морской воды и осаждеение поваренной соли (этот барьер относится к испарительному классу). Следует рассмотреть возможность образования искусственных месторождений полезных ископаемых и на других классах техногенных барьеров.

Большинство геохимических аномалий образуется на геохимических барьерах, откуда ясна роль барьеров и в теории геохимических поисков месторождений полезных ископаемых. Например, геохимик Т. Т. Тайсаев показал, что в Бурятии вблизи рудных месторождений гидроокислы железа нередко обогащены многими металлами. Это объясняется тем, что гидроокислы являются коллоидными минералами и легко сорбируют металлы из воды. Поэтому, анализируя гидроокислы железа на участках кислородных барьеров, можно искать месторождения.

При строительстве различных сооружений важное значение приобрело инъекционное закрепление (цемент-

ция) пород, в результате которого рыхлая масса превращается в твердый монолит. Исследования геолога С. Д. Воронкевича показали, что с этой целью необходимо создавать искусственные (техногенные) щелочные и другие барьеры.

Техногенные барьеры могут помочь и в решении проблем окружающей среды. Например, если на пути миграции сернокислых шахтных вод поместить карбонатные породы, то на этом техногенном щелочном геохимическом барьере будут задерживаться вредные соединения кислот природы, образуется искусственная геохимическая аномалия. Многие металлургические и химические комбинаты, тепловые электростанции также имеют вредные отходы, которые могут быть локализованы на техногенных барьерах. Поэтому техногенные барьеры необходимо создавать вокруг промышленных предприятий, особенно с вредными выбросами, и таким путем локализовать загрязнение, не дать ему распространиться на значительную площадь.

Техногенные барьеры возникают и при подземном выщелачивании руд, при закачке вод в скважины на нефтяных и газовых промыслах с целью поддержки пластового давления (при этом происходит смешение вод, осаждаются кальцит и другие минералы).

Матричный принцип систематики информации

Один из распространенных и простейших способов систематики информации состоит в компоновке сведений в таблицах, построенных по двум координатам: горизонтальной (строчки) и вертикальной (столбцы). Этот способ широко применяется как в естественных, так и в общественных науках; без таблиц практически не обходится ни один научный труд, учебное или справочное руководство. Многие справочники представляют собой собрание многочисленных таблиц. В математике прямоугольные таблицы чисел, состоящие из строк и столбцов, именуются матрицами. Анализ этих таблиц привел к созданию особого раздела алгебры -- теории матриц, которая приобрела важное значение как в математике, так и в технических науках (электротехнике и др.). Общенаучное значение табличного, или матричного, способа системати-

	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	I	II	III	IV	V	VI	VII	0
1	H															He
2	Li	Be	B									C	N	O	F	Ne
3	Na	Mg	Al									Si	P	S	Cl	Ar
4	K	Ca	Sc	Ti	V	Cr	Mn	Fe	Co	Ni	Cu	Zn	As	Se	Br	Kr
5	Rb	Sr	Y	Zr	Nb	Mo	Tc	Ru	Rh	Pd	Ag	Cd	Sb	Te	I	Xe
6	Cs	Ba	TR	Hf	Ta	W	Re	Os	Ir	Pt	Au	Hg	Pb	Bi	Po	At
7	Fr	Ra	Ac	Th	Pa	U										

Периодическая система элементов Д. И. Менделеева с указанием элементов, предсказанных ее автором

ки информации позволяет анализировать этот способ с методологических позиций, что мы и попытаемся сделать на примере периодической системы Менделеева и некоторых наук о Земле.

Таблица Менделеева — классический образец матричного принципа систематики. В ее основе, как известно, лежат представления об электронной структуре атомов, причем строки характеризуют электронные слои атомов (K, L, M, N и др.), а столбцы — число электронов в слоях. Во второй половине XIX столетия этих представлений еще не было, и надо отдать должное интуиции Д. И. Менделеева, который столь удачно построил свою таблицу. Напомним, что подобная систематика на основе интерполяции позволила открыть новые элементы: скандий, галлий, германий. Важная особенность таблицы Менделеева состоит в том, что и столбцы и строки в ней строго закономерны, отвечают определенной природной последовательности.

Рассмотрим некоторые примеры применения матричного принципа систематики информации в науках о Земле.

Аналогичные ряды почвообразования Д. Г. Виленского. Значение периодического закона Менделеева было столь велико, что многие ученые старались установить периодичность в развитии явлений природы. Один из интересных опытов в этой области принадлежал советскому почвоведу Д. Г. Виленскому, который в 1924 г. установил периодичность зонального распространения почв, по существу систематику типов почв на матричном принципе. Автор неоднократно модернизировал свои построения, в окончательной редакции они показаны в табл. 1 (с небольшими сокращениями). В качестве одной координаты автор выбрал типы растительного покрова, а в качестве другой — термический режим. Несомненно, таблица Д. Г. Виленского отражает важные особенности почвенного покрова, установленная им аналогичность (подзолы, желтоземы, латериты; черноземы, коричневые почвы, красно-коричневые почвы и т. д.) реально существует в природе. Однако ясно видны и слабые места его построений — термический режим и отвечающие ему зональные типы коры выветривания не являются особенностями почв, так же как не относятся к почвам типы растительных формаций. Для систематики выбраны внешние факторы почвообразования, а не свойства самих почв, которые предпочтительны в методологическом отношении.

Т а б л и ц а 1. Периодичность зональности почвенного покрова [по: Валенский, 1961; сокращено]

Зоны и зональные типы коры вывет- ривания	Типы растительных формаций и почв					сухостепные полу- пустынные и пустынные
	моховые ли- шайниковые	деревянистые	травянистые луговые	травянистые степные		
Арктическая (об- ломочная)	Торфянисто- глебовые почвы тундр и лесо- тундры	Подзолисто-гис- евые почвы лесо- тундры	Дерново-глебовые почвы тундр и ле- сотундры	-	-	
Умеренно холод- ная (насыщенная свалитная)	Болотные почвы	Подзолы и дерно- во-подзолистые почвы	Дерново-луговые почвы таежной зоны	-	-	
Умеренно теплая (ненасыщенная свалитная)	-	Серые и бурые лесные почвы	Черноземновид- ные почвы пре- рий	Черноземы	Каптановые, бу- рые и серо-бу- рые почвы	
Субтропическая (ферритно-свал- итная)	-	Желтоземы и красноземы влажных субтро- пиков	Красновато-чер- ные почвы суб- тропических пре- рий	Коричневые поч- вы субтропиче- ских степей, ксе- рофитных лесов и кустарников	Серо-коричневые почвы субтропи- ческих полупу- стынь, сероземы	
Тропическая (ферритно-аллит- ная)	-	Латериты и лате- ритные почвы тропических дож- девых лесов	Красноземы вы- сокотравных саванн	Красно-бурые почвы низко- травных саванн, черные почвы тропиков	Красно-бурые почвы тропиче- ских полупу- стынь, почвы тропических пу- стынь	

Матричная систематика типов геохимических ландшафтов. В разработанной автором геохимической классификации ландшафтов в основу выделения крупных таксономических единиц положены особенности биологического круговорота атомов. При этом учитывается закон В. И. Вернадского, согласно которому живое вещество является главной химической силой, действующей на земной поверхности. Естественно, что ведущая роль живого вещества проявляется только в биогенных ландшафтах. Абиогенные и культурные (техногенные) ландшафты подчиняются иным закономерностям. Нетрудно убедиться, что различия между этими рядами ландшафтов (наиболее крупными таксонами классификации) связаны с формой движения материи, определяющей миграцию атомов.

Биогенный ряд делится на пять групп ландшафтов: лесные, степные и луговые, тундровые, пустынные, примитивно-пустынные. Каждая группа характеризуется определенной величиной биомассы (B) и отношением биомассы к ежегодной продукции живого вещества (Π).

Так, в лесной группе B велика, намного превышает Π ($B/\Pi = n \cdot 10$). В степной и луговой группе B значительно меньше, а Π относительно больше, в связи с чем B/Π много меньше (n). Тундровая группа по величине B ближе к степям, а по величине B/Π — к лесам.

Группы геохимических ландшафтов расчленяются на типы, выделяемые по скорости биологического круговорота — ежегодной продукции живого вещества (Π). Например, в лесной группе в порядке уменьшения ежегодной продукции живого вещества установлены следующие типы: влажные тропические леса, субтропические лиственные леса, широколиственные леса, тайга. Этот перечень относится лишь к одной термосерии и не исчерпывает всех типов ландшафтов лесной группы. В лугово-степной группе по величине Π также резко различаются типы черноземных степей, сухих каштановых степей, лугов, саванн.

Для системы типов ландшафта характерно квантование, т. е. существование строго определенных уровней ежегодной продукции живого вещества. Выход за пределы этих уровней означает переход к другому типу ландшафта. Границы между типами резкие. Вместе с тем хорошо известно, что изменение факторов формирования ландшафтов (тепла, влаги) происходит постепенно. Следовательно, несмотря на то что факторы формирования ландшафтов изменяются постепенно и могут принимать

любые значения (непрерывное распределение), возможны лишь вполне определенные, четко отграниченные друг от друга (квантованные) состояния ландшафта — типы ландшафта.

Типы ландшафтов в общем отвечают типам растительного покрова, выделенным в геоботанике. И это естественно, так как в обоих случаях классифицируется биологический круговорот атомов. Только в геоботанике в основу классификации положена структура биоценоза, а в геохимии ландшафта — ежегодная продукция живого вещества в нем.

В течение длительной эволюции живые организмы хорошо приспособились к условиям окружающей среды, научились использовать ресурсы тепла и влаги. Это определяет, по В. И. Вернадскому, «давление жизни», ее «растекание» в пространстве, зависимость биологического круговорота и типа ландшафта от режима тепла и влаги. Тепло и влага редко находятся в соответствии с потребностями организмов, чаще один из этих факторов лимитирует биологический круговорот. Так, в пустыне не хватает влаги и большие ресурсы тепла и света используются не полностью. В тундре, напротив, не хватает тепла и много избыточной влаги (при таком же увлажнении в тайге биологический круговорот протекает значительно энергичнее). Поэтому невозможно установить единую функциональную зависимость между типом ландшафта и ресурсами тепла и влаги. Дефицитность одного из факторов (тепла или влаги) приводит к тому, что изменение другого в определенных пределах не оказывает существенного влияния на биологический круговорот, т. е. на тип ландшафта. (В агрономии сходное положение было сформулировано свыше 150 лет назад Ю. Либихом в форме так называемого «закона минимума».) Например, в тропическом и экваториальном поясах 5000 мм годовых осадков (при их равномерном распределении в течение года) обеспечивают влагой биологический круговорот (влажный тропический лес). Увеличение количества осадков до 6000 мм и выше не имеет большого таксономического значения, тип ландшафта не изменяется. Конечно, некоторые различия возникают, но они не столь существенны, чтобы изменить тип ландшафта.

Наоборот, если количество осадков понизится до 1000 мм в год, то при имеющихся ресурсах тепла осадки не обеспечат биологический круговорот влажных тропиков, тип ландшафта станет иным (листопадно-вечнозеле-

ные леса и т. д.). Это позволяет ввести понятие о критическом значении данного фактора, которое необходимо для формирования определенного типа геохимического ландшафта. Всякое значение фактора, превышающее критическое, не влияет существенно на биологический круговорот, и именно поэтому не может быть всегда точного соответствия между типом ландшафта и физическими показателями, например радиационным индексом сухости.

Благодаря относительной самостоятельности ландшафта, способности к саморегулированию, некоторые вариации тепла и увлажнения в пределах типа не влияют на характер биологического круговорота, на тип растительного покрова. Попытки представить все типы растительного покрова и ландшафта как функцию физического состояния системы, игнорируя природу биологического круговорота, методологически несостоятельны. Напротив, в отдельных случаях подобное соответствие возможно.

Последовательность типов ландшафтов, формирующихся в условиях полного обеспечения влагой и различного обеспечения теплом, автор назвал термосерией ландшафтов. Под полным обеспечением влагой подразумевается не какой-либо физический показатель (например, радиационный индекс сухости), а полное обеспечение организмов водой, т. е. степень увлажнения выше критической. Физические показатели увлажнения при этом могут быть различными.

При движении от экватора к полюсу термосерия типов ландшафтов имеет следующий вид: влажные экваториальные и тропические леса, влажные субтропические леса, влажные широколиственные леса, приокеаническая тайга, океаническая тундра. Абсолютное количество осадков в этих ландшафтах различно, различны радиационный индекс сухости и другие показатели увлажнения. Однако во всех случаях биологический круговорот полностью обеспечен водой. Мы говорим о термосериях и в том случае, когда последовательность типов ландшафта характеризуется хотя и не оптимальной, но сходной обеспеченностью организмов водой. Например: влажные высокотравные саванны, субтропические прерии, луговые степи, альпийские луга или сухие саванны, сухие субтропические степи, сухие степи умеренного пояса (каштановые), сухие высокогорные степи.

В тропическом поясе отчетливо выделяется последовательность типов ландшафтов, биологический круговорот

которых лимитируется увлажнением. Это гидросерия типов ландшафтов. Особенно четко в пространстве такая гидросерия выражена в Африке, где к северу от экватора в направлении Сахары в условиях равнинного рельефа последовательно сменяют друг друга следующие ландшафтные зоны и подзоны, отвечающие типам ландшафта в нашем понимании (по данным «Физико-географического атласа мира», 1964): влажные тропические дождевые леса, парковые леса, высокотравная саванна, типичная саванна (суданского типа), опустыненная саванна, тропическая пустыня. В размещении почв на этой территории также наблюдается гидросерия: латеритные красно-желтые почвы, красные латеритные почвы сезонновлажных тропических лесов и высокотравных саванн, коричнево-красные латеризованные почвы ксерофитных тропических лесов, красно-бурые почвы сухих саванн, красновато-бурые почвы опустыненных саванн, почвы тропических пустынь. Гидросерии ландшафтов устанавливаются и в других термических поясах. Не совсем ясно, всегда ли каждый член гидросерии представляет собой именно тип ландшафта, а не следующую таксономическую единицу — семейство. Этот вопрос нуждается в дальнейшем анализе, тем более что тропические ландшафты изучены еще плохо. Мы условно принимаем, что все указанные выше единицы являются типами.

Сочетание гидросерий и термосерий позволило выделить основные типы ландшафтов (тропического и умеренного поясов) (табл. 2). Среди лесных ландшафтов по степени обеспеченности влагой ориентировочно устанавливаются три квантованных состояния от полного (1) до наименьшего (3) увлажнения, при котором еще может существовать лесной ландшафт. В группе степных, луговых, саванновых ландшафтов также устанавливается несколько квантованных состояний от наивысшего увлажнения до минимального. В вертикальных колонках — квантованные состояния теплового режима ландшафта от тропиков до умеренного пояса.

В этой системе ландшафтных типов каждый горизонтальный ряд начинается с типа полного обеспечения организмов влагой и заканчивается ландшафтом «максимального иссушения» — пустыней. Ландшафты, попадающие в одну вертикальную колонку, могут рассматриваться как ландшафты-аналоги. Это понятие было введено географом Ф. Н. Мильковым. Аналогия состоит в близости ряда показателей биологического круговорота, стока

Таблица 2. Основные типы геохимических ландшафтов в умеренном

Термические пояса (термосерии)	Гидросерии		
	1	2	3
Тропический	Лесные влажные тропики	Листопадно-вечнозеленые тропические леса	Листопадно-тропические леса
Субтропический	Лесные влажные субтропики	Средиземноморские лесные ландшафты	
Умеренно теплый	Влажные широколиственные леса	Умеренно влажные широколиственные леса	

и др. Особенно хорошо периодичность и аналогичность выявляются в тропическом, субтропическом и умеренно теплом поясах, так как именно там наблюдаются все степени иссушения. По степени увлажнения первые члены лугово-степной группы превосходят последний член лесной группы. Например, сухие редколесья суше, чем субтропические прерии. Это объясняется тем, что деревянистые формации в процессе эволюции в одних районах приспособились к таким засушливым условиям, которые в других районах заняты травянистыми формациями.

Возможно, дальнейшие исследования вынесут коррективы в предложенную схему. Однако сам принцип выделения типов с позиций биологического круговорота, понятий о квантованных уровнях этого круговорота, о ежегодной продукции живого вещества (П), о термосериях и гидросериях ландшафтов представляется более отвечающим существу проблем, чем многочисленные попытки положить в основу выделения крупных таксономических единиц ландшафтов те или иные геофизические характеристики климата.

Матричная систематика геохимических классов природных вод и выделение классов геохимических ландшафтов. Среди геохимических параметров природных вод, а следовательно, и большинства систем биосферы давно уже в качестве главнейших выделяют окислительно-восстановительные и щелочно-кислотные характеристики вод. О важной роли этих характеристик в минералообразовании писали В. М. Гольдшмидт, А. Е. Ферсман, В. В. Щербина и другие геохимики. Большую роль окислительно-

4	5	6	7
Влажные высоко- травные саванны	Типичные са- ванны	Сухие саванны	Тропические пустыни
Субтропические прерии	Типичные суб- тропические степи	Сухие тропи- ческие степи	Субтропиче- ские пустыни
Луговые степи	Черпоземные степи	Сухие кашта- новые степи	Пустыни уме- ренного пояса

восстановительных условий в почвообразовании, выветривании, осадкообразовании, минералообразовании и рудообразовании можно считать доказанной. Автор показал, что в биосфере существуют три основных типа вод, различающихся по окислительно-восстановительным условиям: кислородные, глеевые и сероводородные (и сульфидные) воды. Хотя восстановительная сероводородная и бессероводородная (глеевая) среды не содержат свободного кислорода и являются восстановительными в геохимическом отношении, они противоположны друг другу — глеевая среда благоприятна для миграции большинства металлов, а сероводородная — неблагоприятна (в связи с образованием нерастворимых сульфидов).

Щелочно-кислотные условия природных вод характеризуются показателем pH. Многие химические элементы, образующие катионы (катионогенные), легко мигрируют в кислых водах и хуже — в щелочных. К этой группе относятся преимущественно металлы: железо, медь, никель и др. Химические элементы, образующие анионы (анионогенные), напротив, лучше мигрируют в щелочных водах, чем в кислых. Это неметаллы и часть металлов. Некоторые элементы в зависимости от степени окисления и pH могут быть и в катионной и в анионной форме (например, цинк, алюминий, уран, молибден). Наконец, миграция части элементов практически не зависит от pH, так как они образуют очень легко растворимые соединения, подвижные в водах любого состава (натрий, хлор и др.).

По кислотно-щелочным условиям все воды биосферы

разделяются на сильнокислые, кислые и слабокислые, нейтральные, слабощелочные и сильнощелочные. Сочетание окислительно-восстановительных и щелочно-кислотных условий позволило выделить 12 основных классов вод, которым соответствуют геохимические классы ландшафтов, почв, водоносных горизонтов, илов, кор выветривания и других систем биосферы (табл. 3).

Таблица 3. Основные геохимические классы вод биосферы

Щелочно-кислотные условия вод	Окислительно-восстановительные условия вод		
	Кислородные воды	Глеевые воды	Сероводородные воды
Сильнокислые (pH < 3)	1. Сильнокислые кислородные	5. Сильнокислые глеевые	9. Сильнокислые сероводородные
Кислые и слабокислые (pH = 3-6,5)	2. Кислые кислородные	6. Кислые глеевые	10. Кислые сероводородные
Нейтральные и щелочные (pH = 6,5-8,5)	3. Нейтральные и щелочные кислородные	7. Нейтральные и щелочные глеевые	11. Нейтральные и щелочные сероводородные
Сильнощелочные (содовые pH > 8,5)	4. Содовые кислородные	8. Содовые глеевые	12. Содовые сероводородные

Для каждого класса характерна, с одной стороны, определенная ассоциация элементов, а с другой — «запрещенная ассоциация элементов», малоподвижная в данных условиях. Например, в содовых кислородных водах легко мигрируют натрий, литий, фтор, молибден, уран, ванадий и другие элементы, но эти воды «запрещены» для железа, кальция, магния, бария, стронция.

На этой основе можно систематизировать и классы ландшафтов в пределах типов или семейств ландшафтов (на которые расчленяются некоторые типы также по характеру биологического круговорота). Классы выделяются по особенностям вод в верхней части почвы, так как там наиболее напряжены геохимические процессы (а следовательно, эти горизонты и наиболее информативны). Верхний горизонт почвы — это центр всей литогенной основы ландшафта. В зависимости от состава вод ландшафты значительно отличаются друг от друга. Например, в таежном типе резко различаются ландшафты кислого

(H^+), нейтрального и слабощелочного (Ca^{2+}), кислого глеевого ($H^+ - Fe^{2+}$) классов. Воды в ландшафтах второго класса кислые (H^+ — типоморфный ион), в них активно мигрируют кальций, магний, кобальт, медь, фосфор и другие элементы. Поэтому почвы обеднены ими, плодородие их низкое. Домашние животные в таких ландшафтах страдают от недостатка кальция и болеют рахитом, растениям не хватает многих питательных веществ. В ландшафтах нейтрального и слабощелочного класса, образующихся обычно на карбонатных породах или базальтах, воды богаты кальцием, реакция их нейтральная или слабощелочная, плодородие почв выше, домашние животные не страдают от недостатка кальция и обладают прочным скелетом. В ландшафтах кислого глеевого класса почвенные и грунтовые воды имеют кислую реакцию, в них преобладает восстановительная среда, активно мигрируют железо и марганец, в водах много органических коллоидов. Недостаток свободного кислорода в водах приводит к накоплению в ландшафте полуразложившихся остатков организмов в виде торфа. В результате биологический круговорот сильно замедляется, продуктивность ландшафта особенно низкая. К этому классу относится заболоченная тайга.

В каждом типе есть несколько классов, но преобладает какой-нибудь один. Так, в тасжонном типе преобладает кислый (H^+) класс, в тундровом — кислый глеевый ($H^+ - Fe^{2+}$), в черноземных степях — кальциевый и т. д. Но в том же тундровом типе, помимо преобладающего 6-го класса, имеются ландшафты 3-го класса (на известняках), 11-го класса (тундровые солончаки побережий). В типе влажных тропиков, помимо преобладающего 2-го класса, есть ландшафты 6-го класса (заболоченные леса), 11-го класса (мангры побережий), 3-го класса (на известняках) и т. д.

Число геохимических классов ландшафтов невелико, наиболее распространенные ландшафты относятся всего к 6—7 основным классам (табл. 4).

Матричная систематика в условиях незакономерного изменения величины факторов. Выше были рассмотрены примеры, когда величины факторов, характеризующих формирование классифицируемых объектов (атомов, почв, ландшафтов), изменялись закономерно. Например, в столбцах таблицы Менделеева увеличивалось число электропных слоев (K, L, M, N и т. д.), в таблице Вилленского — количество тепла, в систематике ландшафтов

Таблица 4. Геохимические классы ландшафтов на основе классов вод в верхнем горизонте почв

Тип ландшафтов	Классы вод				
	1. Сильнокислый ($H^+ - SO_4^{2-}$)	2. Кислый (H^+)	3. Нейтральный и слабощелочной (Ca^{2+})	6. Кислый глеевый ($H^+ - Fe^{2+}$)	11. Нейтральный и слабощелочной сероводородный
Тундровый	Тундра на сульфидных породах	«Сухая» горная тундра	Тундра на известняках	Равнинная тундра на бескарбонатных породах	Тундровый приморский солончак
Таежный	Тайга на сульфидных породах	Тайга на бескарбонатных породах	Тайга на карбонатных породах	Заболоченная тайга	Таежный приморский солончак
Степной	Степи на сульфидных породах	Отсутствует	Степной ландшафт на незасоленных породах	Отсутствует	Степной солончак

Примечание: Полужирным выделены преобладающие классы, номера классов даны согласно табл. 3.

автора — уменьшение емкости биологического круговорота в результате похолодания. Для строк также характерно закономерное изменение определенных параметров — числа электронов в слое, обеспеченности биологического круговорота водой. Только в схеме Виленского по горизонтальной оси строгая закономерность в расположении растительных формаций не выдержана. Низшие растения — травянистые луговые как будто бы соответствуют эволюционному ряду развития растительного покрова, т. е. его усложнению. Травянистые луговые — пустынные отражают ухудшение водоснабжения. Но так или иначе во всех рассмотренных случаях матричной систематики величины выбранных параметров изменялись закономерно, что, несомненно, повышает логическую обоснованность систематики. Однако матричная систематика может быть полезна и в случае незакономерного изменения величин параметров в столбцах и строках матрицы. Покажем это на нескольких примерах.

Таблица геохимических ландшафтов европейской части СССР. Она была составлена автором под редакцией

Б. Б. Полынова и А. А. Саукова в 1951 г. Наиболее общей закономерностью размещения ландшафтов является, как известно, зональность, установленная В. В. Докучаевым. На территории европейской части СССР с северо-запада на юго-восток в связи с изменением климатических условий последовательно сменяют друг друга зоны тундры и лесотундры, тайги, смешанных лесов, лесостепей, степей и пустынь. В пределах зон выделяются подзоны. Каждая природная зона или подзона имеет определенные геохимические особенности — типоморфные элементы, кислотность вод и т. д., на что особое внимание обращал А. Е. Ферсман. Поэтому основой для выделения геохимических ландшафтов европейской части СССР служат ландшафтные зоны и подзоны. Однако зональность не единственная закономерность в размещении природных ландшафтов. Имеет значение и характер геологического строения. В пределах одной и той же зоны и подзоны природные условия будут резко различными в зависимости от состава горных пород и рельефа.

При составлении таблицы на территории европейской части СССР выделен ряд комплексов горных пород. Геохимические ландшафты представляют собой сочетания зональных биоклиматических условий с определенным типом геологического строения и рельефа. Это иллюстрирует табл. 5, построенная по матричному принципу.

Для каждого геохимического ландшафта и группы ландшафтов отводится особая клетка таблицы. Многие клетки пустые, так как соответствующие сочетания природных условий не встречаются на рассматриваемой территории. Геохимические ландшафты названы по имени той местности, где они наиболее распространены или характерно выражены (например, андомские, тихвинские и т. д.), т. е. в таблице использован географический принцип.

Нетрудно убедиться, что последовательность горных пород и рельефа не отражает строгой закономерности. Их можно было расположить и по-иному, причем характеристика выделенного ландшафта, прогностические возможности матричного принципа систематики от этого не изменились бы (пустые клетки характеризовали бы те же сочетания зональных и незональных условий, давали бы материал для размышлений о существовании новых видов ландшафтов, еще не обнаруженных в природе, но теоретически возможных). Таким образом, хотя при незакономерном изменении величин факторов матричная систематика теряет в своей логической обоснованности,

Таблица 5. Геохимические ландшафты тайги и смешанных лесов

Ландшафтная подзона	Горные породы, на которых сформировались ландшафты			
	Изверженные и метаморфические	Силурийские известняки	Пермские красноцветы	
Северная тайга Средняя тайга Южная тайга Смешанные леса	Карельские Олонецкие Буоксинские	Ижорские	Чепцовские Вятские	
Ландшафтная подзона	Горные породы, на которых сформировались ландшафты			
	Четвертичные отложения			
	Суглинистые и глинистые моренные и водно-ледниковые		Суглинки, пески, глинны, супеси холмисто-озерного ледникового рельефа	Пески и супеси аккумулятивных равнин
	возвышенностей	равнин		
Северная тайга Средняя тайга Южная тайга Смешанные леса	Верхнекамские Чухломские Смоленские	Беломорские Северодвинские Костромские	Андомские Тихвинские Валдайские	Мезенские Вычегодские Сухонские Полесские

она все же сохраняет главное преимущество — возможность наглядной систематики информации и прогнозирования новых явлений.

Районирование территории по условиям ведения геохимических поисков рудных месторождений. Вблизи рудных месторождений наблюдается обогащение ландшафта полезными элементами или их спутниками — так называемые ореолы рассеяния. На обнаружении этих, обычно невидимых ореолов основаны геохимические методы поисков месторождений, получившие в нашей стране широкое распространение. Хотя содержание индикаторных

элементов в ореолах часто невелико, все же оно хорошо улавливается современными аналитическими методами. Работа геохимика-поисковика состоит в отборе проб горных пород, почв, вод, растений, воздуха и в определении в них индикаторных элементов. Повышенное (против среднего) количество того или иного элемента во многих случаях и указывает на месторождение. На основе этих прогрессивных методов были обнаружены новые месторождения меди, свинца, цинка, молибдена, олова и других металлов.

В различных ландшафтных условиях ореолы рассеяния образуются по особым законам, и поэтому методика поисков там должна быть различной. В одном районе пробу почв, например, надо брать почти с поверхности (с глубины 10--20 см), а в другом — с глубины около 0,5 м; в одних местах особенно эффективно опробование поверхностных вод, в других оно не дает положительных результатов.

В связи с этим по условиям ведения геохимических поисков проводится районирование территории. В 1961 г. автор совместно с Ю. В. Шарковым составили Карту условий геохимических поисков месторождений полезных ископаемых (под редакцией члена-корреспондента АН СССР А. А. Саукова) в масштабе 1:4 000 000. В основу ее была положена геохимия ландшафта, современные представления о методах поисков полезных ископаемых и об условиях образования месторождений. Территория СССР была разделена на три типа областей по степени выраженности ореолов рассеяния. Первый — хорошо обнаженные местности с расчлененным, обычно горным рельефом и широким развитием ореолов на поверхности. Таковы Кавказ, Карпаты, горы Средней Азии, Южной Сибири и Дальнего Востока, сильно расчлененные районы Центрального Казахстана, Карелии, Кольского полуострова. Руды здесь местами залегают почти с поверхности, и эти районы наиболее благоприятны для поисков. Второй тип областей характеризуется плохой обнаженностью рудоносных толщ, преобладанием ослабленных и неглубоко погребенных ореолов рассеяния. Это большая часть Центрального Казахстана, Карелии и Кольского полуострова, Восточной Сибири и другие районы. Рудные тела здесь нередко перекрыты слоем песков, суглинков, глин небольшой мощности. Искать месторождения в этих областях значительно труднее. Есть еще много перспективных площадей и поэтому геохимические методы могут

оказаться особенно эффективными. Наконец, к третьему типу областей отнесены равнинные районы с ореолами, погребенными очень глубоко. Таковы Западно-Сибирская, Прикаспийская, Кубанская, Полесская и другие низменности, сложенные мощной толщей четвертичных отложений. Геохимические поиски рудных месторождений здесь в большинстве случаев малоэффективны, а возможные рудоносные толщи залегают столь глубоко, что их эксплуатация пока невыгодна. Здесь возможны поиски нефти, газа, солей и других нерудных ископаемых.

В пределах первых двух областей на карте показаны основные тектонические структуры, определяющие типы месторождений. Так, к глубоко эродированным щитам (Карелия, Кольский полуостров и др.) приурочены главным образом редкометалльные месторождения, частично железные и другие руды; к областям палеозойской и более молодой складчатости — многочисленные металлические месторождения, образование которых связано с магматизмом и деятельностью гидротермальных растворов (месторождения меди, свинца, цинка, золота, серебра, ртути, платины, хрома, никеля и других металлов). Здесь же есть и месторождения железа, алюминия, углей, фосфора и иных ископаемых, образовавшихся в прибрежных участках морей и на континенте.

Другой комплекс ископаемых свойствен платформам, характеризующимся спокойным залеганием слоев (угли, соли, фосфориты, железные руды и т. д.). На карте показаны также основные типы ландшафтов: тундра, тайга, степи, пустыни и т. д.

Сочетание определенных ландшафтных и геолого-тектонических условий представляет геохимический ландшафт или комплекс ландшафтов, выделенных по условиям поисков (табл. 6). Всего на территории СССР выделены десятки геохимических ландшафтов, каждый из них характеризуется особыми условиями поисков. Систематика ландшафтов и в данном случае построена по матричному принципу, который позволил «организовать информацию», а также поставить вопрос о прогнозировании новых типов условий поисков (пустые клетки). Последовательность информации в строках, как и в ранее рассмотренном случае, не подчиняется строгой закономерности, отдельные условия можно было бы переставить, но характеристика условий поисков в этом случае не изменилась бы, возможности прогнозирования остались бы прежними.

Таблица 6. Районирование таежной зоны (числа — номера районов)

Тип ландшафтов	Геолого-геоморфологические условия			
	Области, хорошо обнаженные, с преимущественным развитием открытых ореолов рассеяния			
	Глубоко эродированные щиты	Эродированные области		Платформы и краевые прогибы
		рифейской складчатости	фанерозойской складчатости	
Без мерзлоты	1		2	
С островной мерзлотой	6	7	8	9
Со сплошной мерзлотой	13	14	15	16

Тип ландшафтов	Геолого-геоморфологические условия			
	Области, плохо обнаженные, с преобладанием ослабленных и неглубоко погребенных ореолов рассеяния (частичное развитие открытых ореолов)			
	Глубоко эродированные щиты	Эродированные области		Платформы и краевые прогибы
		рифейской складчатости	фанерозойской складчатости	
Без мерзлоты	3		4	5
С островной мерзлотой		10	11	12
Со сплошной мерзлотой	17	18	19	20

Типы концентрации элементов на геохимических барьерах. Автор показал, что концентрация химических элементов на барьерах зависит, с одной стороны, от класса барьера (А, В, С и т. д.), а с другой — от состава вод, поступающих к барьеру. На сочетании этих двух факторов построена систематика типов концентрации элементов (табл. 7). Каждый тип обозначается индексом, включающим символ барьера и класс вод (например, А5, В1). Некоторые сочетания (Е1, Е5) в природе не встречаются (при встрече сильноокислых вод с кислым барьером элементы не концентрируются).

Как видим, и предлагаемая систематика построена по матричному принципу, который позволяет выделять но-

Т а б л и ц а 7. Типы концентрации элементов на геохимических барьерах

Классе геохимического барьера	Состав вод, поступающих к геохимическому барьеру											
	Кислородные воды				Глиевые воды				Сероводородные воды			
	1. Сильно-кислые	2. Кислые и слабокислые	3. Нейтральные и слабощелочные	4. Сильно-щелочные	5. Сильно-кислые	6. Кислые и слабощелочные	7. Нейтральные и слабощелочные	8. Сильно-щелочные (содовые)	9. Сильно-кислые	10. Кислые и слабощелочные	11. Нейтральные и слабощелочные	12. Сильно-щелочные (содовые)
Кислородный - А	A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7	A8	A9	A10	A11	A12
Сульфидный (сероводородный и др.) - В	B1	B2	B3	B4	B5	B6	B7	B8	-	-	-	-
Глиевый - С	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10	C11	C12
Щелочной - Д	D1	D2	D3	-	D5	D6	D7	-	D9	D10	D11	-
Глистый - Е	-	E2	E3	E4	-	E6	E7	E8	-	E10	E11	E12
Испарительный - F	F1	F2	F3	F4	F5	F6	F7	F8	F9	F10	F11	F12
Сорбиционный - С	G1	G2	G3	G4	G5	G6	G7	G8	G9	G10	G11	G12
Термодинамический - Н	H1	H2	H3	H4	H5	H6	H7	H8	H9	H10	H11	H12

вые типы концентраций, еще не установленные в природе. В табл. 7 выделены десятки типов концентраций элементов, однако не все они известны в природе (С4, Е6, Е7 и др.). Пользуясь таблицей-матрицей, можно наметить условия их образования и сказать, где их (в каких условиях) искать. Каждый тип концентрации может реализоваться в различных геологических условиях: в почвах, плах, корах выветривания, водоносных горизонтах артезианских бассейнов, зонах разломов и т. д. Масштабы концентраций также могут резко различаться — от геохимических аномалий до рудных тел месторождений. Наконец, и форма аккумуляций разнообразна: минеральная и минеральная. Не строго закономерна последовательность величин параметров в строках и столбцах: можно поменять местами классы барьеров, классы вод, по возможности матричной систематики от этого не изменились бы.

Приведем примеры некоторых типов концентраций. Тип концентрации А6 встречается почти повсеместно в лесных ландшафтах влажного климата. Большое количество разлагающихся органических веществ приводит здесь к широкому распространению оглеения в почвах, илах, грунтовых водах. Кислые глеевые воды обогащены Fe^{2+} , Mn^{2+} , органическими кислотами, придающими воде цвет крепкого чая. Там, где такие воды выходят на земную поверхность, например у основания склона, возникает кислородный барьер А6, осаждаются гидроокислы железа и марганца в виде конкреций и пластов бурых железняков. Глеевые грунтовые воды часто разгружаются на дне рек и озер, где также возникает кислородный барьер с железомарганцевыми аккумуляциями. По зонам разломов также нередко поднимаются глубинные глеевые воды. В месте их контакта с кислородными водами образуется кислородный барьер А6.

Аномалия типа D2 образуется в районах влажного климата на контакте ультраосновных пород с известняками. Разложение органических остатков приводит здесь к образованию кислых вод, в которых легко растворяются магний, никель, кобальт, содержащиеся в ультраосновных породах (никель и кобальт образуют органические комплексы с органическими кислотами). На контакте с известняками возникает щелочной барьер D2, на котором осаждаются эти металлы.

На участках распространения водопроницаемых известняков и песчаников, заключенных в толще водоупор-

ных глин, в прошлые геологические эпохи на кислородном барьере в местах длительной разгрузки сероводородных вод возникали месторождения самородной серы. Образование сероводородных вод особенно энергично идет на участках нефтяных месторождений (углеводороды — пища для бактерий), где развиты гипсы — источник сульфатов. Поэтому к таким местам и приурочены серные месторождения.

Методологическая сущность матричной систематики информации и правила систематики. Рассмотрено достаточно примеров, чтобы сформулировать сущность матричной систематики и правила ее применения. Главное здесь — правильный выбор координат, т. е. двух факторов, или параметров, определяющих сущность классифицируемого явления. Если параметры выбраны неудачно и характеризуют второстепенные особенности предмета или явления, то понятно, что и систематика окажется неудачной. Но почему речь идет именно о двух факторах, не связано ли это с чисто формальным моментом — существованием двух координат на плоскости (листе бумаги)? Представляется, что подобный ответ был бы поверхностным, ошибочным. Использование двух основных координат, т. е. двух факторов, мы связываем с раздвоением единого — с законом единства и борьбы противоположностей. Иначе говоря, несмотря на существование множества факторов, от которых зависит развитие тех или иных процессов или явлений, необходимо выявлять два основных противоположных фактора (причины), определяющих сущность изучаемого процесса или явления. В ходе исследований это действительно удастся установить. Напомним примеры раздвоения единого на противоположные факторы: миграция химических элементов — концентрация и рассеяние; биологический круговорот атомов — образование живого вещества и минерализация органических веществ.

Из сказанного вытекает правило применения матричного принципа систематики информации: необходимо познать сущность классифицируемого объекта, вскрыть характерные для него внутренние противоречия, выделить два основных противоположных фактора. Матричный принцип позволяет не только систематизировать имеющуюся информацию, но и прогнозировать новую.

О значении научных школ

Прослеживая эволюцию геохимии да и других наук о Земле, убеждаешься, какую большую роль в этом процессе играют научные школы. Основателями крупных научных школ в нашей стране были В. В. Докучаев, В. И. Вернадский, А. Е. Ферсман, Ф. Ю. Левинсон-Лессинг, Б. Б. Поlying, А. Д. Архангельский, Н. М. Страхов, Н. С. Шатский, Ю. А. Билибин, С. С. Смирнов, Н. В. Белов, Д. С. Коржинский, Ф. Н. Саваренский, М. М. Филатов, А. М. Овчинников, П. А. Удодов, Ф. Н. Шахов, Д. Н. Анучин, Л. С. Берг, Н. Н. Баранский и другие выдающиеся представители наук о Земле.

От чего же зависит возникновение научной школы, почему вокруг одних ученых она формируется, а вокруг других нет? Чтобы ответить на эти вопросы, надо выявить факторы, обеспечивающие успех работы научных коллективов, выяснить, что надо предпринять для создания и развития научной школы. Несомненно, здесь важны и внешне условия работы ученого, и его талант, и черты личности, причем не только как исследователя, но и как человека.

Одной из самых крупных научных школ в отечественном естествознании является школа В. И. Вернадского. Вернее сказать, ученый был основателем многих научных школ. Во-первых, он дал новое направление одной из старейших геологических наук — минералогии, и среди представителей минералогической школы В. И. Вернадского мы находим такие крупные имена, как В. В. Аршинов, П. П. Пилипенко, С. П. Попов и др., которые создали собственные научные школы. Еще более велика роль В. И. Вернадского как создателя науки XX столетия — геохимии. Уже в первое десятилетие XX в. в геохимической школе В. И. Вернадского начал свою научную деятельность А. Е. Ферсман, внесший огромный вклад в эту науку. Вместе со своим великим учителем он строил здание современной геохимии и разработал ряд ее новых разделов. Полное значение некоторых из них (например, учение о техногенезе) пачинает выявляться только в наши дни. Из научной школы А. Е. Ферсмана вышло почти все первое поколение советских геохимиков, в том числе такие крупные ученые, как Д. И. Щербаков, А. А. Сауков, К. А. Власов, В. В. Щербина. Минералогия и геохимия главные, но далеко не единственные разделы знания, в ко-

торых развивалась научная школа В. И. Вернадского. Он также был одним из основоположников радиогеологии, много нового внес в решение общих вопросов геологии, в течение всей жизни ученого привлекала история естествознания, значителен его вклад в кристаллографию и гидрогеологию. И во всех этих областях у ученого были и есть последователи.

В чем же причина столь плодотворного развития научной школы В. И. Вернадского? Не претендуя на полное решение вопроса, которое составляет задачу историков науки и науковедов, хочется высказать несколько соображений. Главная причина — в глубине научных идей В. И. Вернадского. Прежде всего это был ученый-мыслитель, он видел то, чего не замечали многие его современники, обладал даром заглянуть в далекое будущее. Гениальность мысли В. И. Вернадского сказалась в подходе ко многим проблемам. Напомним лишь об одной, которой сам ученый придавал исключительно важное значение, — геологической роли организмов. 70 лет назад путем логического анализа, используя уже хорошо известные факты, он заложил фундамент биогеохимии. Возникла биогеохимическая школа В. И. Вернадского, наиболее яркими представителями которой были его ученики А. П. Виноградов и Я. В. Самойлов.

Сила воздействия идей В. И. Вернадского была столь велика, что последователями его становились даже ученые из других наук. Они шли по его пути и создавали свои научные школы. Так, Б. Б. Полынов, еще будучи студентом Петербургского лесного института, увлекся докучаевским почвоведением и, став почвоведом, внес выдающийся вклад во многие разделы данной науки. В последние 20 лет жизни его особенно привлекали биогеохимические идеи В. И. Вернадского. Соединив их с учением В. В. Докучаева о зонах природы, Б. Б. Полынов заложил основы научного направления — геохимии ландшафта, которое успешно развивается в наши дни. К полиновской ландшафтно-геохимической школе относятся его ученики: М. А. Глазовская, К. И. Лукашев, автор этих строк и многие их ученики и, наконец, многие последователи Б. Б. Полинова: М. М. Ермолаев, В. В. Добровольский и др.

Итак, первая и главная причина возникновения и успешного развития крупной научной школы — новизна, глубина и практическое значение научных идей ее основателя. Но как говорят математики, это условие необходимое, но не достаточное. Важны еще и другие условия,

в частности: энтузиазм ученого, его целеустремленность, трудоспособность и трудолюбие, вера в свои идеи. И в этом замечательным образцом был В. И. Вернадский. Даже в последние годы жизни, несмотря на преклонный возраст, ученый переживал большой творческий подъем.

Основатель научной школы должен быть борцом за свои идеи. И этому также учит жизнь В. И. Вернадского. Напомним, что с 1916 г. идеи биогеохимии составляли главное содержание его творчества. Но они далеко не сразу завладели умами ученых. Еще долгие годы после опубликования трудов В. И. Вернадского в науках о Земле господствовали старые представления. Его мысль намного опередила свое время. Поэтому создание биогеохимии служит примером не только взлета гениальной мысли, но и замечательным образцом силы духа ученого, веры в свои идеи и борьбы за них. Развитие естествознания подтвердило огромное значение биогеохимии.

Для создания научной школы необходима подготовка кадров. А это требует от основателя школы особых педагогических способностей. В. И. Вернадский, А. Е. Ферсман, Б. Б. Полюнов, А. А. Сауков были блестящими лекторами, профессорами университетов и других вузов, организаторами экспедиций, в которых принимали участие их ученики. Так, заведывая кафедрой минералогии Московского университета, В. И. Вернадский для изучения рудных месторождений и пополнения коллекций ежегодно отправлялся с учениками в различные районы нашей страны, за границу. Минералогическая и геохимическая школа А. Е. Ферсмана формировалась в значительной степени во время его экспедиций в Хибины, Среднюю Азию, на Урал. Полюновская школа тоже во многом создавалась во время исследований ученого в Грузии, Прикаспии, Монголии и других регионах. Постоянное общение с крупным ученым, сильное воздействие его личности, постоянный научный поиск и творческое горение — все это и создавало ту атмосферу, в которой рождалась научная школа.

В небольшом разделе удалось осветить лишь некоторые стороны затронутой проблемы. И все же на примере одной только геохимии можно сделать вывод о том, какую огромную роль в развитии науки играет научная школа. Несомненно, это одна из форм существования науки, залог ее успешного развития, а в наши дни и успешной перестройки с целью повышения эффективности как теоретических исследований, так и приложения их результатов к практике народного хозяйства.

Литература

- Груза В. В. Методологические проблемы геологии. Л.: Недра, 1977.
- Диалектика развития и теория познания в геологии. Киев: Наук. думка, 1970.
- Исаченко А. Г. Развитие географических идей. М.: Мысль, 1971.
- Кедров В. М. О геологической форме движения в связи с другими его формами // Взаимодействие наук при изучении Земли. М.: Наука, 1964.
- Кедров В. М. Предмет и взаимосвязь естественных наук. 2-е изд. М.: Наука, 1967.
- Косыгин Ю. А. О структуре геологической науки // Вопр. философии. 1981. № 8.
- Круть И. В. Введение в общую теорию Земли. М.: Мысль, 1978.
- Куражковская Е. А. Диалектическая концепция развития в геологии: Философский аспект. М., 1970.
- Лось В. А. Человек и природа. М.: Политиздат, 1978.
- Материалистическая диалектика: В 5 т. Т. 3. Диалектика природы и естествознания. М.: Мысль, 1983.
- Методологические проблемы геологической науки. Минск: Наука и техника, 1976.
- Методология геологических исследований. Владивосток, 1976.
- Перельман А. И. Геохимические принципы классификации ландшафтов // Вестн. МГУ. Сер. 5, География. 1960. № 4.
- Перельман А. И. Внутренние противоречия науки // Природа. 1962. № 8.
- Перельман А. И. Диалектика развития природного ландшафта // Природа. 1965. № 3.
- Перельман А. И. Грозит ли человечеству перепроизводство информации? // Наука и жизнь. 1969. № 7.
- Перельман А. И. Очерки философии наук о Земле. М.: Знание, 1972.
- Перельман А. И. О методологии и структуре геохимии // Геохимическое изучение гидросферы. Минск: Наука и техника, 1977.
- Перельман А. И. Геохимия. М.: Высш. шк., 1979.
- Перельман А. И. Матричный принцип систематики геохимической информации и пути его использования для прогнозирования процессов рудообразования // Геохимические методы при поисках скрытого оруденения. М.: Наука, 1984.
- Природа и общество. М.: Наука, 1968.
- Проблемы развития советской геологии. Л.: Недра, 1971.
- Пути познания Земли. М.: Наука, 1971.
- Рачков П. А. Науковедение. М.: Изд-во МГУ, 1974.
- Сауков А. А. Историзм в геохимии // Взаимодействие наук при изучении Земли. М.: Наука, 1964.
- Саушкин Ю. Г. Географическая наука в прошлом, настоящем, будущем. М., 1980.

- Современные идеи теоретической геологии. Л.: Недра, 1984.
- Теоретическая география. М.: Мысль, 1971.
- Фурман А. Е. О соотношении прогресса и круговоротов в процессе развития // Проблема развития в современном естествознании. М., 1968.
- Хсин В. Е. Диалектическое взаимодействие эндогенных и экзогенных процессов как основа развития земной коры // Жизнь Земли: Сб. музея землеведения МГУ. М.: Изд-во МГУ, 1961. № 1.
- Шелищ П. Б. Диалектика науки. Л.: Наука, 1981.
- Янин А. Л. Развитие геологии и ее современные особенности // Методологические и философские проблемы геологии. Новосибирск: Наука, 1979.

Содержание

Предисловие	3
Введение	5
Перепроизводство информации, соотношение фактов и теории в работе геохимика	11
О внутренних противоречиях творчества	22
Важно не только сделать открытие, но и понять его значение	27
О научной терминологии	35
Теоретические и прикладные науки о Земле	40
Вещество, энергия, информация в геохимии	49
Системный подход в науках о Земле	56
Техногенез	99
Геохимические барьеры	111
Матричный принцип систематики информации	126
О значении научных школ	147
Литература	150

Александр Ильич Перельман

ИЗУЧАЯ ГЕОХИМИЮ . . .

(О методологии науки)

Утверждено к печати Редакцией серии «Научно-популярная литература» Академии наук СССР

Редактор издательства Л. И. Приходько

Художник Б. И. Котов. Художественный редактор В. Ю. Кученков

Технический редактор М. Ю. Соловьева

Корректоры В. А. Бобров, В. Г. Петрова

ИБ № 35426

Сдано в набор 23.09.88. Подписано к печати 12.12.88. Т-15197.

Формат 84×108 1/32. Бумага типографская № 1. Гарнитура обыкновенная

Печать высокая. Усл. печ. л. 7,98. Усл. кр. отт. 8,58. Уч.-изд. л. 8,9.

Тираж 10 500 экз. Тип. зак. 3001. Цена 55 коп.

Ордена Трудового Красного Знамени издательство «Наука»

117864, ГСП-7, Москва, В-485 Профсоюзная ул., 90

2-я типография издательства «Наука»

121099, Москва, Г-99, Шубинский пер., 6

Содержание

Предисловие	3
Введение	5
Перепроизводство информации, соотношение фактов и теории в работе геохимика	11
О внутренних противоречиях творчества . . .	22
Важно не только сделать открытие, но и понять его значение	27
О научной терминологии	35
Теоретические и прикладные науки о Земле	40
Вещество, энергия, информация в геохимии . .	49
Системный подход в науках о Земле	56
Техногенез	99
Геохимические барьеры	111
Матричный принцип систематики информации	126
О значении научных школ	147
Литература	150

Александр Ильич Перельман
ИЗУЧАЯ ГЕОХИМИЮ . . .
(О методологии науки)

Утверждено к печати Редакцией серии «Научно-популярная литература» Академии наук СССР

Редактор издательства Л. И. Приходько
Художник Б. И. Котов. Художественный редактор В. Ю. Кученков
Технический редактор М. Ю. Соловьева
Корректоры В. А. Бобров, В. Г. Петрова
ИБ № 35426

Сдано в набор 23.09.86. Подписано к печати 12.12.86. Т-15197.
Формат 84×108 1/32. Бумага типографская № 1. Гарнитура обыкновенная.
Печать высокая. Усл. печ. л. 7,98. Усл. кр. отт. 8,58. Уч.-изд. л. 8,9.
Тираж 10 500 экз. Тип. экз. 3001. Цена 55 коп.

Ордена Трудового Красного Знамени издательство «Наука»
117864, ГСП-7, Москва, В-485 Профсоюзная ул., 90
2-я типография издательства «Наука»
121099, Москва, Г-99, Шубинский пер., 6



С каждым годом все большую актуальность приобретает проблема эффективности научных исследований и правильной их организации. В связи с этим возрастает значение вопросов методологии и философии науки, к которым и обращается автор настоящей книги.

